



Secretaría de Educación Pública

Tecnológico Nacional De México Instituto Tecnológico de Veracruz

Título del Proyecto de Grado

"REDUCCIÓN DEL ALTO CONSUMO ENERGÉTICO
POR CLIMATIZACIÓN DE UNA RESIDENCIA EN
VERACRUZ MEDIANTE EL CONTROL PASIVO DE
LA TEMPERATURA DE CONFORT"

Tesis de Grado

Qué para Obtener el Grado de Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables

Presenta:
Ing. Jorge Yabet Cordero Bendímez

Asesor: Dr. Guillermo Efrén Ovando Chacón

Co-Asesor: Dr. Abelardo Rodríguez León

H. Veracruz. Ver. Febrero 6, 2023.





H. Veracruz, Veracruz, <mark>I/Febrero/2023</mark> OFICIO: ITV/DEPI/No.234/2023 Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. JORGE YABET CORDERO BENDIMEZ

Por este conducto se le comunica que su tesis de Maestría en Eficiencia Energética y Energías Renovables titulada:

"Reducción del alto consumo energético por climatización de una residencia en Veracruz mediante el control pasivo de la temperatura de confort".

Fue aprobada en su totalidad en cuanto a formato y calidad del contenido a satisfacción del H. Jurado del examen, por lo que está Usted autorizado a editar la presentación definitiva del trabajo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica Antorcha y Luz de Fuego Permanente

OLAYA PIRENE CASTELLANOS ONORIO JEFA DE LA DIV. EST. POSG. E INVEST

SEP SECRETABION NACIONAL DE MEXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VERACRUZ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN EL. H. JURADO

GUILLERMO EFRÉN OVANDO CHACÓN PRESIDENTE

ABELARDO RODRÍGUEZ LEÓN. SECRETARIO

JAVIER GOMEZ RODRÍGUEZ VOCAL

MARIO DÍAZ GONZÁLEZ SUPLENTE

CC.P Archivo OPCO/SMMC











Calz. Miguel Ángel de Quevedo 2779, Col. Formando Hogar C.P. 91897, Veracruz, Ver. Tel. (229) 934 1500 tecnm.mx | veracruz.tecnm.mx







El presente trabajo de tesis titulado **"Reducción del alto consumo energético por climatización de una residencia en Veracruz mediante el control pasivo de la temperatura de confort".** presentado por el (la) C. **Jorge Yabet Cordero Bendimez**, ha sido aprobado por su comité tutorial como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES

DIRECTOR

DR. GUILLERMO EFRÉN OVANDO CHACÓN

CODIRECTOR

DR. ABELARDO RODRÍGUEZ LEÓN

REVISOR

DR. JAVIER GÓMEZ RODRÍGUEZ

REVISOR

DR. MARIO DÍAZ GONZÁLEZ

CC.P Archivo OPCO/SMMC















Dedicatoria

A **Dios** por guiarme siempre en mi camino, por darme la sabiduría de corregir mis errores y estar siempre a mi lado en todo momento, que por más difícil la experiencia que he vivido, ha estado ahí siempre conmigo. Gracias por ayudarme a cumplir este deseo que es el terminar la maestría.

"Señor, sustenta mi camino para que mis pies no resbalen" Salma 17:5

A mi esposa **Nuvia**, le agradezco por estar siempre apoyándome en todos y cada uno de los proyectos tanto personales como profesionales y en especial por ayudarme a terminar esta tesis. Gracias por todo tu tiempo que dedicaste para poder culminar este proyecto. Eres uno de mis motivos por lo cual sigo superándome y esforzándome cada día.

A mis **hijos**, les agradezco su paciencia, espacio y tiempo para poder terminar este trabajo de investigación. El compartir momentos con ustedes tomando el papel de estudiante y sentarnos los tres juntos realizando cada quien su tarea y su madre acompañándonos y apoyándonos en todo momento, recuerdo que me comentaban nos vemos bien haciendo la tarea. Ustedes son y serán siempre mi motivo por el cual seguiré superando y esforzando. Estoy orgulloso de ustedes, los amo.

A mis **padres**, agradezco todo el apoyo que me han brindado durante toda mi vida, agradezco sus consejos, sus observaciones, herramientas y motivaciones que siempre me han dado, el estar presente y participativos en cada uno de los proyectos. Su participación y opiniones fueron importantes para la culminación de esta tesis.

Agradecimientos

Al **Tecnológico Nacional de México Campus Veracruz**, por haberme permitido formar parte de ella, al personal que de manera directa e indirectamente apoyaron y guiaron durante todo el proceso, gracias a todos y a cada uno de ustedes por su aporte, que este día se ve reflejado en la culminación de esta etapa de mi vida, en esta institución.

A mi director de tesis el **Dr. Guillermo Efrén Ovando Chacón**, por haberme guiado en este proyecto, sus conocimientos, dedicación, experiencia y profesionalismo que me guiaron durante todo el proceso de la presente.

A mi honorable jurado, por haberme apoyado en la realización de este proyecto y que colaboraron directamente en esta investigación

Dr. Guillermo Efrén Ovando Chacón

Dr. Abelardo Rodriguez León

Dr. Javier Gómez Rodriguez

Dr. Mario Díaz González

A mis Profesores y Compañeros por haberme compartido sus conocimientos y tiempo. El haberme apoyado cuando tenía alguna duda y resolverla de tal manera que comprendiera. Gracias a todos y cada uno de ustedes.

Al **CONACyT**, por haberme otorgado la beca para la realización de este trabajo de tesis.

Resumen

Este trabajo presenta la simulación termo-energética de una vivienda de alto consumo en la ciudad de Veracruz, México, la cual es una vivienda de tres plantas, que no cuenta con ningún tipo de envolvente térmico, en el estudio se consideraron las cargas eléctricas generadas por los aparatos eléctricos. Se presentan dos enfoques, consumo durante el año 2022 y consumos para los próximos diez años del 2022 al 2032. Para el análisis se realizaron simulaciones con el software EnergyPlus a fin de obtener los consumos eléctricos anuales y mensuales teóricos. Se realizaron simulaciones considerando los equipos actuales de aire acondicionado que tiene la vivienda, además se realizaron las mismas simulaciones configurando EnergyPlus para que proporcionara la capacidad de los equipos. El mayor ahorro energético se obtuvo con la técnica pasiva de techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda, obteniéndose un ahorro teórico de 10.32%. Las técnicas pasivas apoyan el ahorro de consumo energético.

Abstract

This paper presents the thermo-energetic simulation of a high consumption house in the city of Veracruz, Mexico, it is a three floor house, which does not have any type of thermal envelope; in the study the electrical loads generated by electrical devices were considered. Two approaches are presented, consumption during the year 2022 and consumption for the next ten years from 2022 to 2032. For the analysis, simulations were carried out with the EnergyPlus software in order to obtain the theoretical annual and monthly electrical consumption. Simulations were carried out considering the current air conditioning equipment that the house has, in addition, the same simulations were carried out configuring EnergyPlus to provide the capacity of the equipment. The greatest energy savings were obtained with the passive technique of a green roof, double glazing and exterior lighting with a photocell, obtaining a theoretical saving of 10.32%. Passive techniques support saving energy consumption.

Contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	iv
Introducción	xi
1. Generalidades	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivo Específicos	3
1.3 Justificación	3
1.4 Hipótesis	4
2. Marco Teórico	6
2.1 Revisión de Antecedentes (Estado del Arte)	6
2.2 Características climatológicas de Veracruz, México	8
3. Estrategia metodológica	11
3.1 Metodología	11
3.2 Identificación técnicas pasivas aplicables a la vivienda en estudio	11
3.3 Diseño del espacio con diferentes técnicas	13
3.4 Software de modelado	14
3.5 Open Studio	19
3.6 EnergyPlus	25
3.7 Depuración de las simulaciones	49
4. Resultados	55
4.1 Caso de estudio	55
4.2 Análisis de resultados	56
4.3 Costo de consumo energético	62
4.4 Costo de instalación de techo verde	63
Conclusiones	64
Recomendaciones	65
Bibliografía	67

Anexo A	69
A1. Publicación derivada de esta investigación	70

Índice de Figuras

Figura 3.1 Diagrama de bloques	11
Figura 3.2 Construcción de un techo verde	12
Figura 3.3 Ejemplo de sombreado de un edificio	13
Figura 3.4 Software de modelado	13
Figura 3.5 Open Studio	14
Figura 3.6 EnergyPlus	14
Figura 3.7 Herramienta	15
Figura 3.8 Herramienta Medir	15
Figura 3.9 Herramienta Line	16
Figura 3.10 Herramienta Create Space From Diagram	16
Figura 3.11 Llenado cuadro herramienta Create Space From Diagram	17
Figura 3.12 Modelado de la vivienda	17
Figura 3.13 Selección del espacio	18
Figura 3.14 Herramienta Rectángulo	18
Figura 3.15 Modelado Finalizado	19
Figura 3.16 Add New Thermal Zone for Spaces with Not Therma Zone	20
Figura 3.17 Rename Thermal Zones Based on Space Names	20
Figura 3.18 Space Type and Construction Set Wizard	21
Figura 3.19 User input	21
Figura 3.20 Definición de los espacios	21
Figura 3.21 Herramienta Inspector	22
Figura 3.22 Herramienta Inspector Abierta	22
Figura 3.23 Herramienta Surface Matching	23
Figura 3.24 Herramienta Render by Boundary Condition	23
Figura 3.25 View Model in X-Ray Mode	24
Figura 3.26 Export EnergyPlus Idf	24
Figura 3.27 Guardar archivo exportado en Idf	25
Figura 3.28 Pantalla principal de EnergyPlus	25
Figura 3.29 Seleccionar el archivo exportado en IDF	26
Figura 3.30 Página principal Weather Data	26
Figura 3.31 Seleccionar North and Central America	27
Figura 3.32 Seleccionar MEX – Mexico	27

Figura 3.33 Seleccionar Veracruz 766910 (IWEC)	28
Figura 3.34 Pagina descargar Weater Data by Location	28
Figura 3.35 Seleccionar el archivo Weather Data	29
Figura 3.36 Edit – IDF Editor	29
Figura 3.37 Edit – IDF Editor	30
Figura 3.38 Schedule Day Interval	31
Figura 3.39 Schedule Week Interval	31
Figura 3.40 Schedule Year	32
Figura 3.41 Material	33
Figura 3.42 Construction	33
Figura 3.43 Zone	34
Figura 3.44 ZoneList	35
Figura 3.45 BuildingSurface Detailed	36
Figura 3.46 FrenestrationSurface Detailed	37
Figura 3.47 People	37
Figura 3.48 Light	38
Figura 3.49 ElectricEquipment	39
Figura 3.50 GasEquipment	40
Figura 3.51 GasEquipment	40
Figura 3.52 SteamEquipment	41
Figura 3.53 Zone Ventilation Design Flow Rate	42
Figura 3.54 Zone Ventilation Design Flow Rate	43
Figura 3.55 Exterior Light	44
Figura 3.56 Exterior FuelEquipment	44
Figura 3.57 Exterior WaterEquipment	45
Figura 3.58 HVACTemplate Thermostat	45
Figura 3.59 HVACTemplate Zone VRF	46
Figura 3.60 HVACTemplate Thermostat	47
Figura 3.61 Guarda información	48
Figura 3.62 Simulate	48
Figura 4.1 Recibo de luz de CFE de la vivienda a simular	55
Figura 4.2 Temperatura promedio ciudad de Veracruz durante el 2021	56
Figura 4.3 Resultados de las simulaciones de consumo energético	58

Figura 4.4 Sección recibo de luz de CFE del bimestre agosto – octubre del 2022	. 62
Figura A1. Portada de artículo publicado	. 70
Figura A2. Carta de aceptación de la publicación en el XXVIII Congreso Internacional Anual de la	
SOMIM	. 71

Índice de Tablas

Tabla 3.1 Error en falta de asignación del tipo de cristal de la ventana, ver incisos del "f" al "k"	49
Tabla 3.2 Error en programación de equipos eléctricos, ver incisos del "u" al "hh"	50
Tabla 3.3 Error al no encontrar el piso del baño1, ver el inciso "f"	52
Tabla 3.4 Error al no asignar zonas térmicas, ver el inciso "b"	52
Tabla 4.1 Equipos eléctricos dentro de la vivienda y ubicación	56
Tabla 4.2 Resultado de simulación anual y promedio bimestral en el 2022 y a diez años del 2022 2032 con todos los equipos	
Tabla 4.3 Resultado consumo energía eléctrica de simulaciones para el 2022 y 2022 al 2032 con equipos de aire acondicionado	
Tabla 4.4 Resultado de las simulaciones para el 2022 del consumo del aire acondicionado considerando equipos actuales y equipos sugeridos	61
Tabla 4.5 Resultado de simulaciones para el 2022 consumo de iluminación exterior	61
Tabla 4.6 Costo excedente en kWh en el 2022, obtenido mediante las simulaciones	62
Tabla 4.7 Costos de algunos materiales para la instalación del techo verde	. 63

Introducción

Las condiciones climatológicas hoy en día tienen un rol bastante importante en la sociedad, el crecimiento constante de la población ha impactado directamente al crecimiento de la industria. Al momento de diseñar una vivienda se busca eficientizar los recursos energéticos por medio de simulaciones. La simulación desempeña un papel importante al momento de diseñar una vivienda, ya que se pueden realizar simulaciones para obtener datos del comportamiento de la instalación eléctrica, sanitaria, estructural, del aire acondicionado por mencionar algunas.

Para el desarrollo de esta investigación se tomará una vivienda con historial de alto consumo energético, la cual se encuentra ubicada en la ciudad de Veracruz, el clima la mayor parte del tiempo el caluroso y con mucha humedad en el ambiente. Se harán simulaciones de algunas técnicas pasivas de climatización con el programa EnergyPlus. El objetivo de este trabajo de simulación es determinar que técnica pasiva representa un ahorro de consumo energético a la vivienda con alto consumo el cual representara un ahorro monetario para el usuario.

En el capítulo 1 se presentan las generalidades, objetivos y justificación de este trabajo. El capítulo 2, presenta marco teórico de algunas técnicas pasivas de climatización y simulación aplicada. El capítulo 3, presenta la metodología en el desarrollo de este trabajo de investigación. El capítulo 4, presenta los resultados de las simulaciones, se realiza un análisis de los mismos y se presentan las conclusiones obtenidas durante la investigación.

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1. Generalidades

La Organización de las Naciones Unidas adopto un proyecto de Desarrollo Sostenible al cual llamaron Agenda 2030, esta conformada por 17 objetivos que abarca aspectos económicos, sociales y ambientales. Cada país tiene retos específicos en el tema de desarrollo sostenible incluyendo a México.

1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día, para satisfacer la alta demanda de la población humana se han creado nuevas industrias, la operación de ellas ha tenido un fuerte impacto en el cambio climatológico, debido a los gases que ellas expulsan en sus procesos los cuales se concentran y generan el efecto invernadero. De acuerdo a la Convención Marco del Cambio Climático de las Naciones Unidas (CMCCNU), el cambio climático se debe entender como un cambio de clima atribuido directamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables de tiempo; se manifiesta en un aumento de la temperatura promedio del planeta, directamente vinculado con el incremento en la concentración de los Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI) [1].

Debido a la pandemia del COVID-19 se ha cambiado la forma de trabajar y de estudiar en la sociedad, antes de la pandemia los trabajadores y estudiantes se trasladaban de su hogar a su lugar de trabajo y a la escuela respectivamente; de ahí que, al momento de iniciar sus labores o clases, se encendían los equipos de aire acondicionado para empezar sus actividades. Estas jornadas duraban mientras realizaban la actividad de trabajo o de clases, las cuales podían durar desde de 12 horas o hasta 20 horas, dependiendo de las actividades y giro de la empresa y/o escuela (excepto en lugares donde el uso del aire acondicionado es prioritario y tengan que estar funcionando las 24 horas).

México no es la excepción a la regla, tenía un comportamiento similar como en otros países antes de la pandemia del Covid-19. En algunas empresas en México ya existía el Home Office solo para ciertos puestos, pero debido a la pandemia se buscó la forma de trabajar desde casa, y lo mismo paso con las escuelas, si bien ya existía en México la educación a distancia (por mencionar la Tele-Secundaria y Tele-Bachillerato), hoy en día emigro a todos los niveles educativos; por tal motivo, al estar laborando o estudiando desde el hogar, las personas han usado sus equipos de aire acondicionado de su casa para trabajar y estudiar, esto ocasionó que aumentara el consumo de energía eléctrica en sus hogares.

En el puerto de Veracruz la temperatura promedio oscila entre 21°C y 32°C con sensaciones térmicas que van desde los 35°C hasta los 40°C (en verano las sensaciones térmicas pueden ser mayor a los 40°C), debido a esto, si anteriormente los equipos de aire acondicionado solo se usaban en los hogares de 6 a 10 horas diarias en promedio, hoy en día debido a la pandemia se utiliza de 16 hasta 20 horas diariamente.

Este proyecto de simulación tiene la finalidad de presentar el análisis termoenergético de una vivienda alto consumo de energía eléctrica en Veracruz. En este estudio se van a utilizar técnicas de simulación para validar cual ayudara a la disminución del alto consumo de electricidad.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar la técnica pasiva que permita mantener la temperatura de confort en una residencia de Veracruz, reduciendo el consumo energético por el uso de aire acondicionado en épocas de calor.

1.2.2 Objetivo Específicos

- 1. Identificar y validar las técnicas pasivas que sean aplicables en la simulación (identificar, seleccionar y evaluar)
- 2. Diseñar conceptualmente el espacio con diferentes técnicas
- Evaluar con el software EnergyPlus las técnicas pasivas en la vivienda de estudio
- 4. Determinar cuál es la mejor técnica pasiva para mantener la temperatura de confort y disminuir el consumo energético

1.3 Justificación

México ha tenido un crecimiento constante en el consumo de electricidad en los últimos 10 años, la Secretaría de Energía (SENER) muestra resultados por medio del Balance Nacional de Energía (Gobierno de México, 2021) [2]; donde expone de forma general y desagregada los principales indicadores de producción, comercio y consumo de la energía de México y sus comparativos en el contexto internacional. El consumo de electricidad total en 2009 fue de 257.88 Petajoules y en 2019 fue de 357.77 Petajoules, del cual el consumo de electricidad residencial en 2009 fue de 177.17 Petajoules y en 2019 de 232.15 Petajoules, es decir un crecimiento de 31.03% que equivale a 54.98 Petajoules.

Actualmente se desarrollan viviendas que utilizan técnicas de mitigación para contra restar el calor [3] mediante el uso de espacios verdes (EV), aplicación de materiales con resistividad térmica alta, control solar en espacios abiertos, mejorar el flujo del viento, por mencionar algunas técnicas. La realización de simulaciones de una vivienda con alto consumo energético, donde se apliquen algunas técnicas pasivas de control de temperatura, ayudara a determinar cuál es la que aporta más ahorro energético y económico a la vez que contribuye a mejorar el medio ambiente.

1.4 Hipótesis

La simulación computacional de alguna técnica pasiva permitirá obtener un ahorro teórico del 10% para reducir el consumo eléctrico en una residencia del puerto de Veracruz

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2. Marco Teórico

2.1 Revisión de Antecedentes (Estado del Arte)

El cambio climático es un tema muy importante hoy en día, es un proceso complicado que están enfrentando los gobiernos, esto va más allá de un tema ambiental, de interés político o económico.

Uno de los factores principales que están afectando al cambio climático son los efectos de los Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, ya que la temperatura ha ido en aumento cada año. Los modelos climáticos pronostican que probablemente se alcance entre 2030 y 2060 una elevación de 5°C en una escala global [1].

El aumento de temperatura tiene como efecto secundario que se incremente el uso de los equipos de aire acondicionado para poder mantener una temperatura de confort en la habitación.

La pandemia de COVID-19 [4] trajo un cambio en la forma de vivir y trabajar hoy en día, las personas se tuvieron que resguardar en sus hogares para mitigar la propagación del virus, y los trabajos tuvieron que cambiar a una forma hibrida, días en la oficina y días en casa. Esto ocasiono que hubiera aumento de consumo de electricidad en sus hogares.

En los hogares los sistemas de climatización, ventilación y aire acondicionado juegan un papel importante para mantener temperatura y condiciones de confort.

El análisis de consumo energético es una actividad complicada, ya que requiere saber las condiciones con las que interactúa la vivienda o edificio, conocer el sistema de climatización que utiliza y que rodea a la vivienda.

La simulación ayuda a conocer el desempeño ambiental y energético de la vivienda o edificio, así como calcular la demanda y consumo energético, evaluar las diversas técnicas de climatización pasiva, la ventilación, la iluminación entre otros [5].

Durante el desarrollo de este proyecto se evaluará las condiciones actuales de la vivienda y posteriormente se simularán algunas técnicas pasivas para validar cual es la que representa un ahorro termo-energético.

Vorster y Dobson [6] analizaron energéticamente bajo condiciones de un día típico de verano en Stellenbosch, la influencia de cuatro técnicas pasivas de enfriamiento: techo rociado, techo cubierto de agua, enfriamiento de masa inercia térmica y la ventilación nocturna en una edificación. La reducción de las cargas de enfriamiento de cada una, analizadas de forma individual son, 59.36%, 51.07% 51.39% y 5.5% respectivamente. Pero si se combinan estas alternativas se logran mejores resultados. Al integrar el techo rociado con la ventilación nocturna se logra reducir el 65.08 % de las cargas de climatización. El techo cubierto de agua con la ventilación nocturna 56.33 %. El enfriamiento de la masa térmica mediante tubos de agua incrustados en la pared, con la ventilación nocturna

56.87%. Por último, el enfriamiento de la masa térmica, con el techo inundado y la ventilación nocturna obtuvo un máximo del 69.52% de la reducción de la carga.

Castelloti, F. Lazzarin, M. Busato, F. [7] analizaron techo cubierto con vegetación que limita la transferencia de calor a través del techo y reduce las cargas térmicas en el edificio. Los datos experimentales y numéricos corridos mediante modelos matemáticos en TRNSYS estuvieron en concordancia y mostraron que el techo verde permitió una reducción del 60% de las ganancias de calor. La evaluación experimental y el análisis matemático en una escuela de enfermería en Atenas, Grecia, mostraron una reducción significativa de las cargas de enfriamiento del edificio en el rango del 6-49% luego de la instalación de un techo verde.

Zhang, Y. Lin, K. Zhang, Q. Di, H. [8] analizaron la influencia de las propiedades termo-física de los materiales de construcción de una edificación con el uso del free-cooling teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas. Compararon diversos materiales y determinaron que deben utilizarse como envolventes de un edificio, materiales con bajos valores de k preferentemente k≤0.1 W/m°C y para paredes interiores, techo y suelo, materiales con altos valores de k> 0.5. El valor critico ideal de propiedades termo-física que garantizan la temperatura de confort deberá ser $C_p^*\rho \ge 50$ MJ/m³ °C

Otanicar, T, Taylor, R. A, and Phelan, P. E [9] realizaron un análisis comparativo desde el punto de vista energético y ambiental de los esquemas climatización solar térmico y fotovoltaico. Expresa primeramente que el obstáculo principal son los altos costos iniciales, en el caso de la climatización térmica aún no se comprueba que llegue a ser más competitiva en los próximos 20 años, como es el caso de la climatización fotovoltaica (FV) por el desarrollo de los paneles fotovoltaicos y los depósitos de almacenamiento. La climatización FV es un sistema de climatización solar fotovoltaico que consta de cuatro componentes fundamentales: módulos fotovoltaicos. batería, inversores y el sistema de climatización por compresión y proyecta tener menos impacto en la reducción de gases de efecto invernadero que la climatización térmica debido a los refrigerantes que utilizan las máquinas de compresión de vapor. No obstante, la misma disminuirá su huella ecológica debido a la reducción de área utilizada en el campo de colectores.

Gallegos [10] analiza varias configuraciones de enfriamiento evaporativo para viviendas en Mexicali. Considerando que hay épocas en que el aire del ambiente sea muy húmedo, y la eficacia del enfriamiento evaporativo disminuye por haber una menor posibilidad de abatimiento de temperatura. Se incluyó como una propuesta, un sistema previo de desecante sólido (también puede ser líquido). La regeneración del desecante se lleva a cabo mediante un calentador de aire del ambiente que utiliza agua proveniente de un sistema solar de calentamiento. En simulaciones previas se observó que para el clima de Mexicali esta configuración es mejor ya que el aire llega menos húmedo.

2.2 Características climatológicas de Veracruz, México

En la ciudad de Veracruz, México a temporada calurosa dura 5.0 meses, del 24 de abril al 23 de septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 31°C. El mes más cálido del año en Veracruz es junio, con una temperatura máxima promedio de 32°C y mínima de 25°C. La temporada fresca dura 2.4 meses, del 10 de diciembre al 22 de febrero, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 27°C. El mes más frío del año en Veracruz es enero, con una temperatura mínima promedio de 18°C y máxima de 26°C [11].

En Veracruz, México el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año. La parte más despejada del año en Veracruz comienza aproximadamente el 26 de octubre; dura 7.1 meses y se termina aproximadamente el 29 de mayo. El mes más despejado del año en Veracruz es marzo, durante el cual en promedio el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 71% del tiempo. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 29 de mayo; dura 4.9 meses y se termina aproximadamente el 26 de octubre. El mes más nublado del año en Veracruz es septiembre, durante el cual en promedio el cielo está nublado o mayormente nublado el 82% del tiempo.

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días lluviosos en Veracruz varía muy considerablemente durante el año. La temporada de lluvia dura 4.5 meses aproximadamente, del 1 de junio al 17 de octubre, con una probabilidad de más del 44% de que cierto día será un día lluvioso. El mes con más días lluviosos en Veracruz es en agosto, con un promedio de 22.9 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. La temporada más seca dura 7.5 meses, del 17 de octubre al 1 de junio. El mes con menos días de lluvia en Veracruz es febrero, con un promedio de 2.9 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación. Entre los días lluviosos, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Veracruz es agosto, con un promedio de 22.9 días. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 78% el 2 de septiembre.

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrado alrededor de cada día del año. Veracruz tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación. Llueve durante el año en Veracruz. El mes con más lluvia en Veracruz es septiembre, con un promedio de 266 milímetros de lluvia. El mes con menos lluvia en Veracruz es marzo, con un promedio de 14 milímetros de lluvia.

El nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío, ya que éste determina si el sudor se evaporará de la piel enfriando así el cuerpo. Cuando los puntos de rocío son más bajos se siente más seco y cuando son altos se siente más húmedo. A diferencia de la temperatura, que generalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto

de rocío tiende a cambiar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje en la noche, en un día húmedo generalmente la noche es húmeda. En Veracruz la humedad percibida varía extremadamente.

El período más húmedo del año dura 9.9 meses, del 22 de febrero al 19 de diciembre, y durante ese tiempo el nivel de comodidad es bochornoso, opresivo o insoportable por lo menos durante el 58% del tiempo. El mes con más días bochornosos en Veracruz es julio, con 31.0 días bochornosos o peor. El mes con menos días bochornosos en Veracruz es enero, con 14.1 días bochornosos o peor.

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora. La velocidad promedio del viento por hora en Veracruz tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura 8.2 meses, del 17 de septiembre al 24 de mayo, con velocidades promedio del viento de más de 12.6 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Veracruz es noviembre, con vientos a una velocidad promedio de 15.6 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año dura 3.8 meses, del 24 de mayo al 17 de septiembre. El mes más calmado del año en Veracruz es julio, con vientos a una velocidad promedio de 9.6 kilómetros por hora.

La topografía en un radio de 3 kilómetros de Veracruz contiene solamente variaciones modestas de altitud, con un cambio máximo de altitud de 49 metros y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 16 metros. En un radio de 16 kilómetros también tiene solo variaciones modestas de altitud (135 metros). En un radio de 80 kilómetros contiene solamente variaciones modestas de altitud (1,986 metros).

El área en un radio de 3 kilómetros de Veracruz está cubierta de superficies artificiales (75%), agua (13%) y tierra rasa (10%), en un radio de 16 kilómetros de agua (50%) y tierra de cultivo (39%) y en un radio de 80 kilómetros de tierra de cultivo (49%) y agua (47%).

CAPITULO 3 ESTRATEGIA METODOLÓGICA

3. Estrategia metodológica

3.1 Metodología

Para el análisis de esta vivienda de alto consumo se buscará software de licencia libre y que cumpla con el propósito de la investigación y se puedan realizar simulaciones de equipos de aire acondicionado y aplicando las técnicas pasivas. En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques.

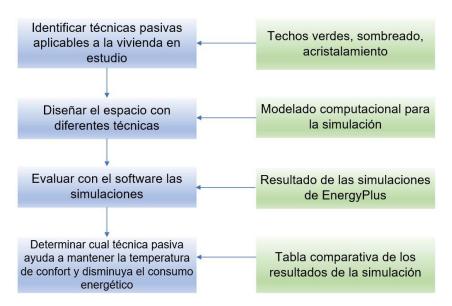


Figura 3.1 Diagrama de bloques

El desarrollo de la simulación de esta vivienda de alto consumo se utilizará el software EnergyPlus, es un programa completo para realizar modelaciones y simulaciones de consumos energéticos (aire acondicionado, calefacción, iluminación, ventilación). Ocupará archivos de clima de la zona a simular, incluyendo cambios de horario que tenemos aquí en México. Este programa es de licencia libre.

3.2 Identificación técnicas pasivas aplicables a la vivienda en estudio

Las técnicas pasivas que se ocupan para el desarrollo de esta investigación son: techos verdes, sombreado y acristalamiento

Techos verdes

Durante las últimas dos décadas, se han realizado importantes investigaciones sobre los techos verdes, su desempeño y el beneficio a la mejora del aire. Los techos verdes se han propuesto como una herramienta eficaz y práctica para combatir la urbanización en muchos países [3]. Las cubiertas verdes presentan numerosos beneficios económicos y sociales en además de ventajas medioambientales más obvias como gestión de aguas pluviales, disminución del consumo de energía de edificios, mejor calidad del agua y del aire, disminución de la contaminación acústica, mayor vida útil del techo, reducción del efecto de isla de calor y aumento espacio verde en entornos urbanos [12]. En la Figura 3.2 se muestra una forma en que podemos encontrar el techo verde.



Figura 3.2 Construcción de un techo verde

Sombreado

Los sistemas de sombreado tienen como propósito controlar la radiación solar que eventualmente terminan como ganancia de calor. El uso de sistemas de sombreado depende de la posición del sol, latitud, claridad que deben de tener en cuenta para que su uso sea eficiente [13]. Este método ayuda a reducir el calor generado dentro del edificio. Por lo tanto, la técnica de sombreado se considera un aspecto importante en diseñar edificios energéticamente eficientes; particularmente para reducir la carga de refrigeración en zonas climáticas cálidas.

El sombreado pasivo no requiere ningún tipo de fuente de energía y se clasifica además como dispositivos de sombreado fijo y dispositivos de sombreado ajustables [14]. En la Figura 3.3 se muestra un ejemplo de sombreado.



Figura 3.3 Ejemplo de sombreado de un edificio

Acristalamiento

Las técnicas de acristalamiento se pueden diferenciar en acristalamientos estáticos y acristalamiento dinámico. En acristalamientos estáticos, propiedades térmicas y ópticas. permanecen fijos mientras que, en acristalamiento dinámico, las propiedades ópticas y térmicas para el espesor fijo del acristalamiento varían en un cierto rango. El acristalamiento dinámico muestra ventajas como la orientación flexible, el tamaño de la ventana y las opciones conmutables disponibles para los cambios climáticos estacionales.

3.3 Diseño del espacio con diferentes técnicas

Proceso para realizar la simulación de la vivienda de alto consumo y cualquier vivienda a la cual se requiera realizar una simulación.

Para realizar este proceso se requiere tener instalado algún software de modelado (ver Figura 3.4).

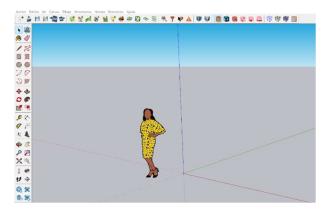


Figura 3.4 Software de modelado



Figura 3.5 Open Studio



Figura 3.6 EnergyPlus

El software de modelado nos permite dibujar la vivienda, con el plugin de Open Studio (ver Figura 3.5), el cual al terminar el diseño se exportará a formato para que pueda ser simulado por el EnergyPlus (ver Figura 3.6).

Estos dos softwares son necesarios para la realización del modelado y simulación

3.4 Software de modelado

❖ Al iniciar el software del modelado se visualizará 3 ejes, con el comando *línea* realizar los trazos de largo y ancho de la vivienda. Ver Figura 3.7.

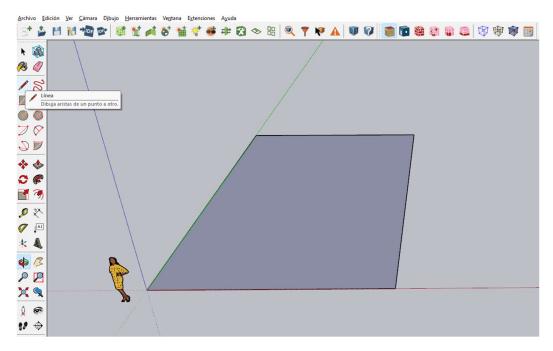


Figura 3.7 Herramienta

Con la herramienta de *medir*, se dibujan líneas de las áreas de la vivienda. Ver Figura 3.8.

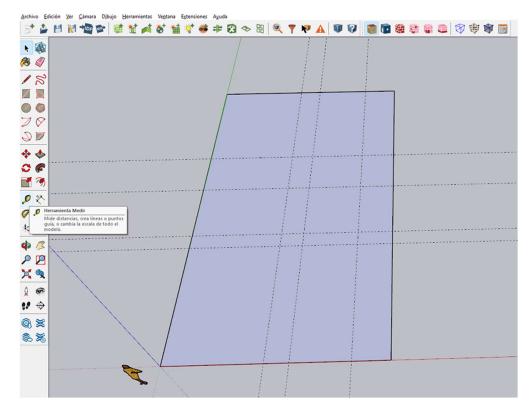


Figura 3.8 Herramienta Medir

❖ Con herramienta línea se definen las áreas. Ver Figura 3.9.

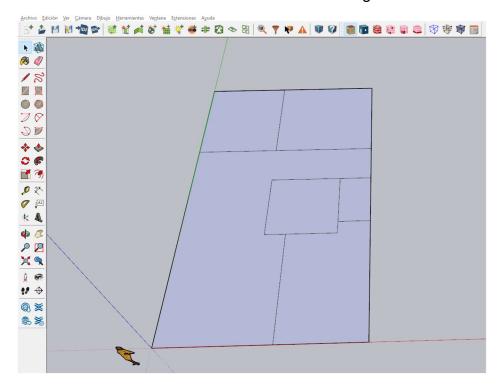


Figura 3.9 Herramienta Line

❖ Seleccionar todas las áreas y seleccionamos la herramienta *Create Space From Diagram*. Ver Figura 3.10.

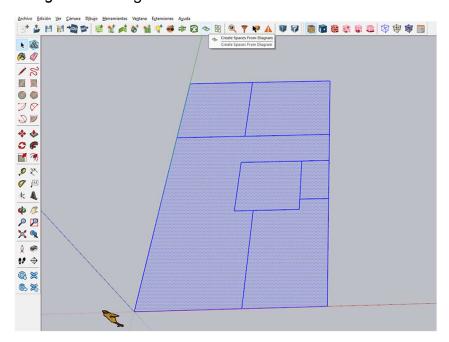


Figura 3.10 Herramienta Create Space From Diagram

❖ Abrirá la ventana siguiente en el cual en los conceptos *Floor Height* se colocará la altura de la vivienda y en concepto *Number of floor* la cantidad de pisos de la vivienda. Ver Figura 3.11.

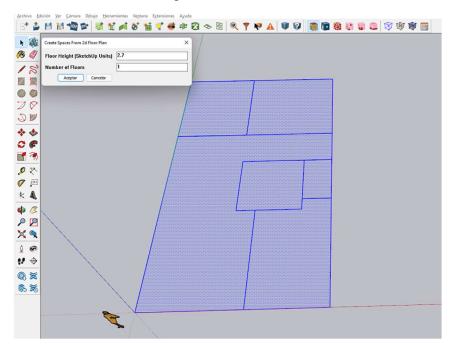


Figura 3.11 Llenado cuadro herramienta Create Space From Diagram

❖ Se realizará el modelado de la vivienda. Ver Figura 3.12.

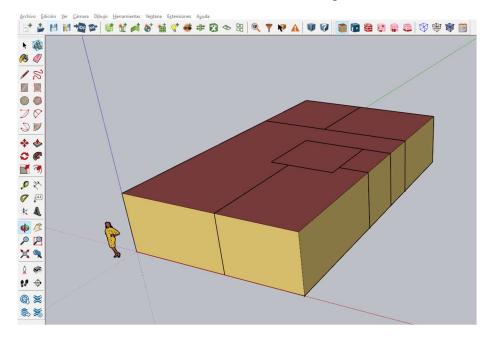


Figura 3.12 Modelado de la vivienda

❖ Ahora se diseñará las ventanas y puertas de la vivienda, dando doble clic al espacio al cual se le quiera agregar. Ver Figura 3.13.

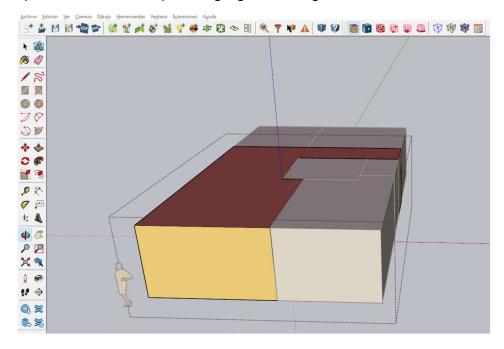


Figura 3.13 Selección del espacio

Con la herramienta medir se colocan las líneas de referencia para crear puertas y ventanas y con la herramienta Rectángulo se crean. Ver Figura 3.14.

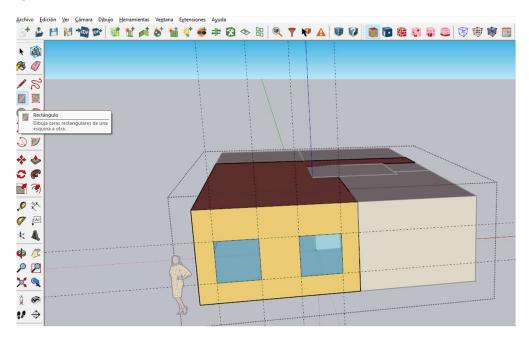


Figura 3.14 Herramienta Rectángulo

❖ Modelo finalizado. Ver Figura 3.15.

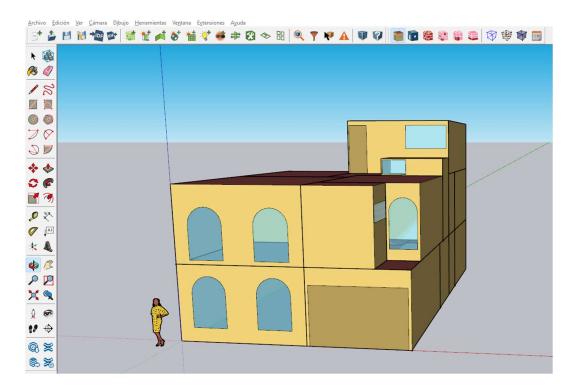


Figura 3.15 Modelado Finalizado

3.5 Open Studio

Con el plugin Open Studio se identificará la zona de la vivienda, así como cada pared, piso, techo, ventana y puerta de la vivienda, para cuando se exporte al formato *idf* y lo pueda ejecutar el programa EnergyPlus.

❖ Al termino de colocar puertas y ventanas se procede a definir las zonas térmicas del modelado, Extensions > OpenStudio User Scripts > Alter or Add Model Elements > Add New Thermal Zone for Spaces with Not Therma Zone. Ver Figura 3.16.

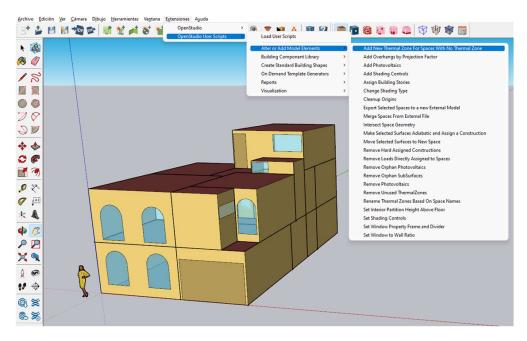


Figura 3.16 Add New Thermal Zone for Spaces with Not Therma Zone

❖ Realizar la siguiente configuración, Extensions > Openstudio User Scripts > Alter or Add Model elements > Rename Thermal Zones Based on Space Names. Ver Figura 3.17.

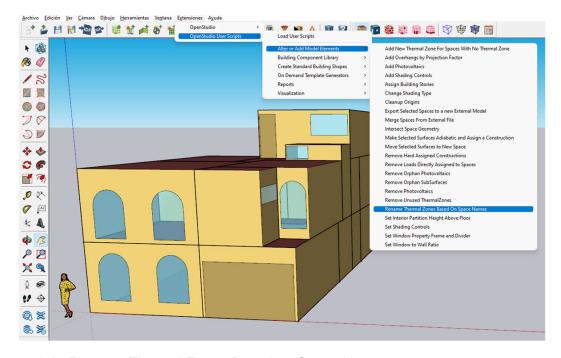


Figura 3.17 Rename Thermal Zones Based on Space Names

❖ Definir los espacios Space Type and Construction Set Wizard y tipo de construcción de acuerdo a las especificaciones ASHRAE, ver Figuras 3.18, 3.19 y 3.20.

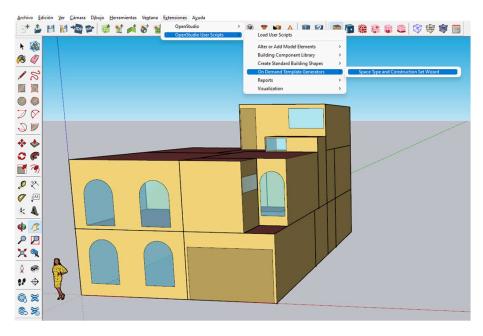


Figura 3.18 Space Type and Construction Set Wizard

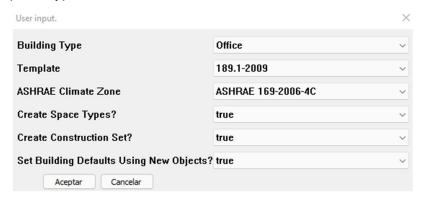


Figura 3.19 User input

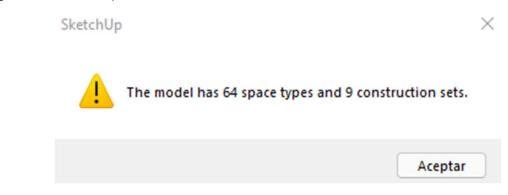


Figura 3.20 Definición de los espacios

Con la herramienta Inspector se nombrarán cada espacio del modelado. Ver Figura 3.21.

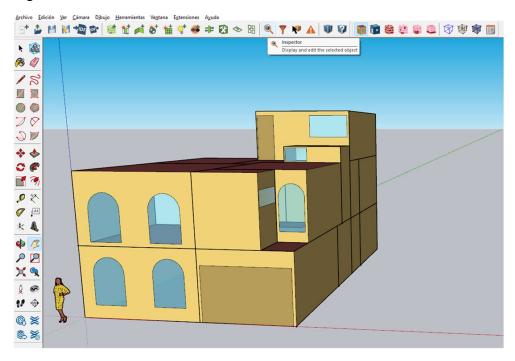


Figura 3.21 Herramienta Inspector

❖ En las secciones *OS:Space* se nombran los cuartos del modelo, *OS:Surface* se nombran las paredes de cada modelo, *OS:SubSurface* se nombran las puertas y ventanas del modelo. Recomendación, no usar la letra "ñ" para no generar nombres extraños al exportar el EnergyPlus. Ver Figura 3.22.

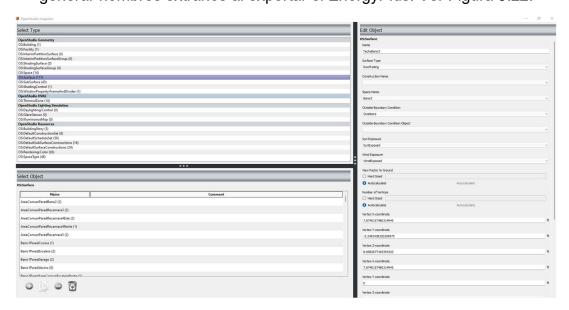


Figura 3.22 Herramienta Inspector Abierta

Se selecciona el modelo en su totalidad y se utiliza la herramienta llamada: Surface Matching, se abrirá la siguiente ventana y seleccionamos Intersect in Selection y Match in Selection. Ver Figura 3.23.

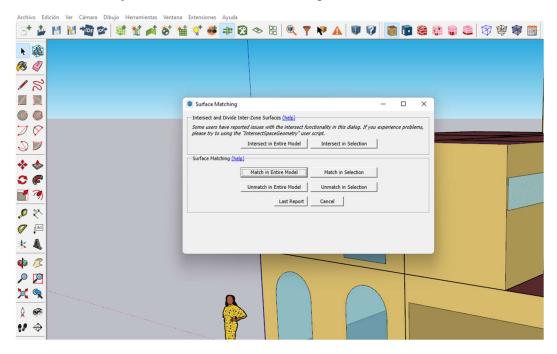


Figura 3.23 Herramienta Surface Matching

❖ Se validan que las zonas térmicas queden activas *Render by Boundary Condition*. Ver Figura 3.24.

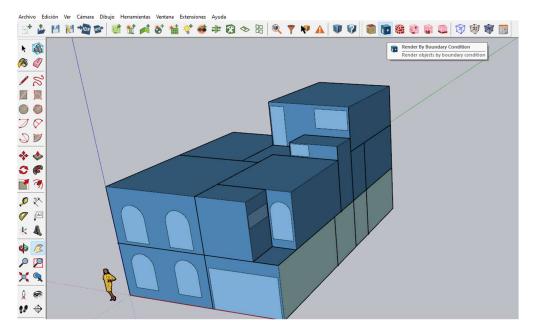


Figura 3.24 Herramienta Render by Boundary Condition

Con View Model in X-Ray Mode se validan que las zonas térmicas interiores queden activas, si está correcto se pondrá de color verde las paredes, puertas y ventanas. Ver Figura 3.25.

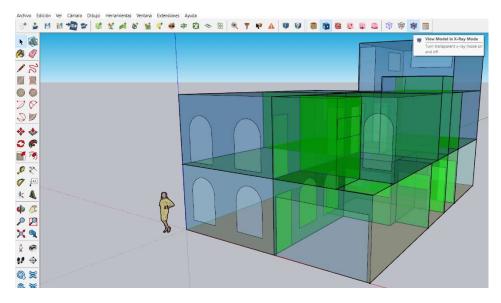


Figura 3.25 View Model in X-Ray Mode

Si todo está correcto se exportará el modelo 3D a EnergyPlus

❖ Se exporta en formato IDF para que pueda configurar en EnergyPlus, seguimos la siguiente indicación, Extensiones > OpenStudio > Export > Export EnergyPlus Idf. Ver Figura 3.26.

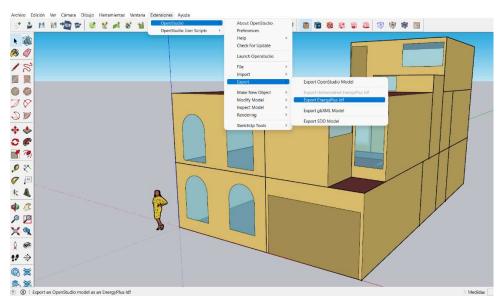


Figura 3.26 Export EnergyPlus Idf

Se proporciona nombre y ubicación del archivo y se le da clic en guardar. Ver Figura 3.27.

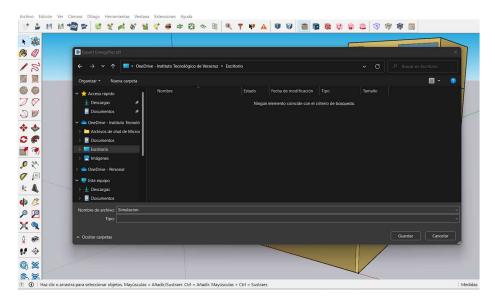


Figura 3.27 Guardar archivo exportado en Idf

3.6 EnergyPlus

A continuación, se abre la aplicación EnergyPlus y se carga el archivo exportado

❖ Pantalla principal de EnergyPlus. Ver Figura 3.28.

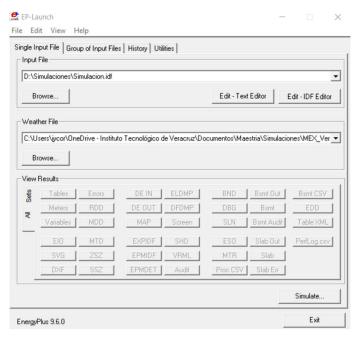


Figura 3.28 Pantalla principal de EnergyPlus

Se carga el archivo exportado IDF dando clic en *Browse* que está en color rojo. Ver Figura 3.29.

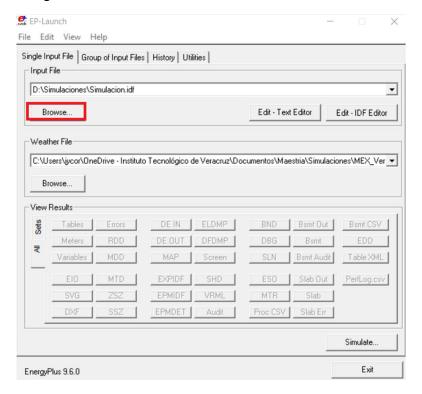


Figura 3.29 Seleccionar el archivo exportado en IDF

Se descarga el archivo *Weather Data* para realizar el proceso de simulación en la siguiente página https://energyplus.net/weather. Ver Figura 3.30.

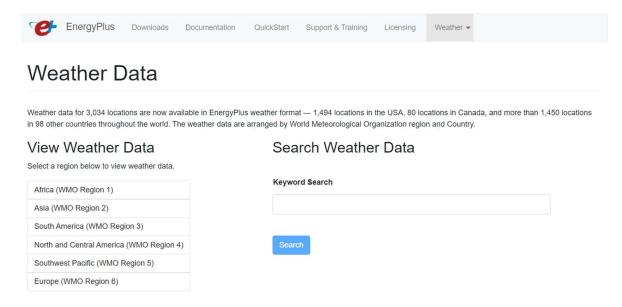


Figura 3.30 Página principal Weather Data

❖ Seleccionar North and Central America (WMO Region 4). Ver Figura 3.31.

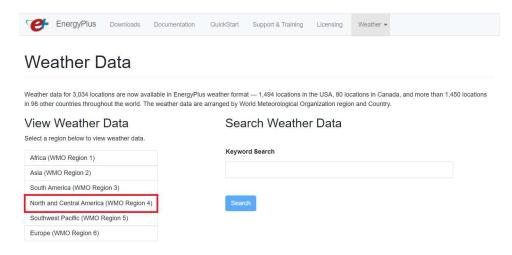


Figura 3.31 Seleccionar North and Central America

Seleccionar MEX – Mexico. Ver Figura 3.32.

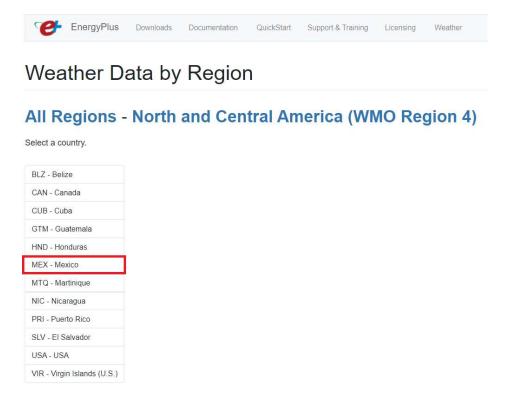


Figura 3.32 Seleccionar MEX – Mexico

❖ Seleccionar Veracruz 766910 (IWEC). Ver Figura 3.7



Weather Data by Country

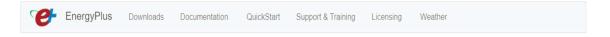
All Regions - North and Central America (WMO Region 4) - Mexico



Learn more about Weather Data Sources

Figura 3.33 Seleccionar Veracruz 766910 (IWEC)

❖ Descargar archivo, se le da clic en donde dice Download All. Ver Figura 3.34.



Weather Data by Location

All Regions - North and Central America (WMO Region 4) - Mexico

Weather Data Download - Veracruz 766910 (IWEC)



Figura 3.34 Pagina descargar Weater Data by Location

Se carga el archivo descargado Weather Data dando clic en Browse que está en color rojo. Ver Figura 3.35.

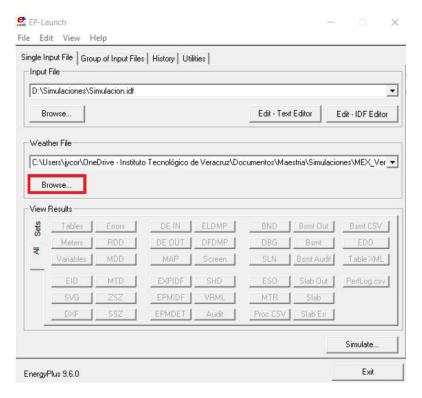


Figura 3.35 Seleccionar el archivo Weather Data

❖ Editar archivo IDF dando clic en el botón *Edit – IDF Editor*. Ver Figura 3.36.

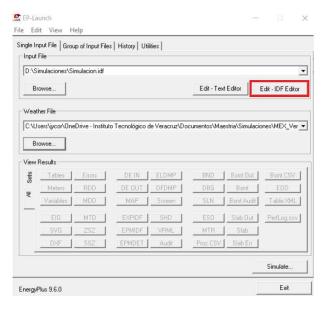


Figura 3.36 Edit – IDF Editor

Se edita la sección RunPeriod, Name se coloca el nombre, Begin Month el mes en que inicia la simulación, Begin Day of Month la fecha en que inicia la simulación, Begin Year el año en que comienza la simulación, End Month el mes en que termina la simulación, End Day of Month la fecha en que termina la simulación, End Year el año en que termina la simulación, Day of Week for Start Day se coloca el día en que inicia la simulación, se le da enter después de capturar cada dato. Ver Figura 3.37.

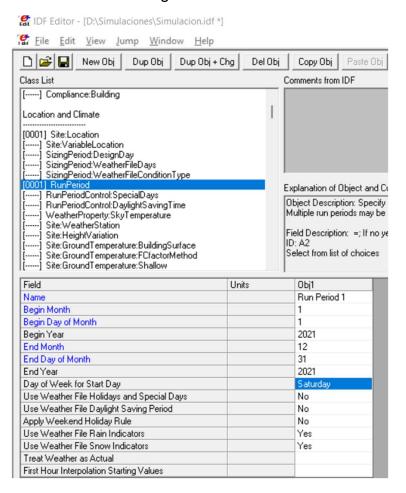


Figura 3.37 Edit – IDF Editor

❖ Se edita la sección Schedule Day Interval, se programa los tiempos de uso de cada objeto que consuma energía eléctrica, en Name se le asigna nombre de la variable, Schedule Type Limits Name seleccionamos si es una fracción, temperatura, Interpolate to Timestep se colocó No, Time1 se coloca la hora del inicio que empieza usarse el objeto, Value Until Time 1 se coloca valor de su uso, se coloca 1 si esta encendido todo el tiempo programado o 0.9 al 0.1 si solo es una fracción de ese tiempo. Para finalizar la programación se

coloca en *Time 2* la hora final y en *Value Until Time 2* el valor de cero. Ver Figura 3.38.

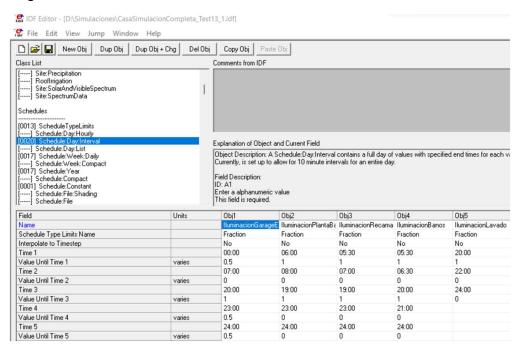


Figura 3.38 Schedule Day Interval

Se edita la sección Schedule Week Interval, en Name se le coloca el nombre que va a tener designado el consumo de energía eléctrica en la semana, se selecciona lo programado en Shedule Day Interval para el uso en la semana, días festivos, horarios de verano y días personalizado. Ver Figura 3.39.

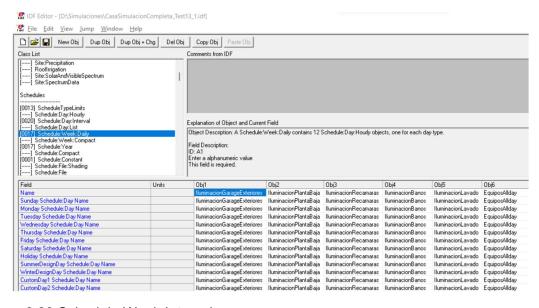


Figura 3.39 Schedule Week Interval

❖ Se edita la sección Schedule Year, en Name se le coloca el nombre que va a tener asignado, Schedule Type Limits Name se coloca si es fracción o temperatura, Schedule Week Name 1 Seleccionamos de lo capturado en Schedule Day List, Star Month 1 se coloca el mes que inicia la simulación, Star Day 1 se coloca en que día del mes quiere que inicie la simulación, End Month 12 se coloca el mes que termina la simulación, End Day 31 se coloca el día en que termina la simulación, todos los valores que se tienen que capturar son numéricos. Ver Figura 3.40.

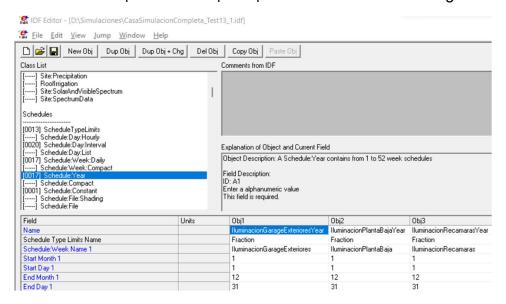


Figura 3.40 Schedule Year

- ❖ Se edita la sección *Material*, algunos materiales vienen precargados, si los que vamos a utilizar no están, se dan de alta los valores, en *Name* se coloca el nombre del material, *Roughness* se selecciona si es áspero, liso, según el material, *Thickness* se coloca el grosor del material en metros, *Conductivity* el valor de conductividad del material expresado en *W/m-K*, *Density* se coloca el valor de la densidad del material en expresado en *kg/m³*, *Specific Heat* se coloca el valor del calor específico del material expresado en *J/kg-K*, los últimos tres datos se dejan como están en Default. Ver Figura 3.41.
- Se edita la sección Construction, en la sección Name se coloca el nombre que se le va a asignar, Outside Layer se coloca el material que va a estar en el exterior y dicho material se escoge de lo que se cargó previamente en la sección de Material, Layer 2 en adelante, los demás componentes de material, estos también se escogen de los que se cargaron previamente en Material. Ver Figura 3.42.

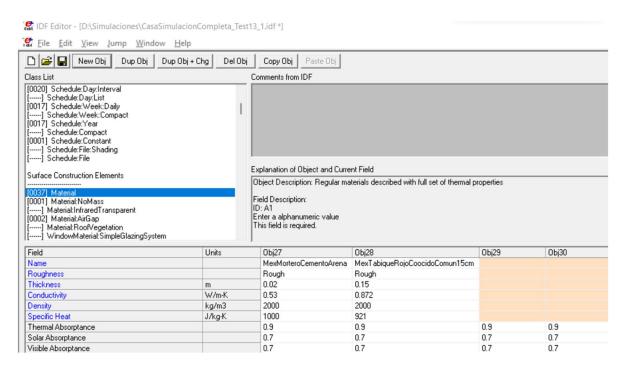


Figura 3.41 Material

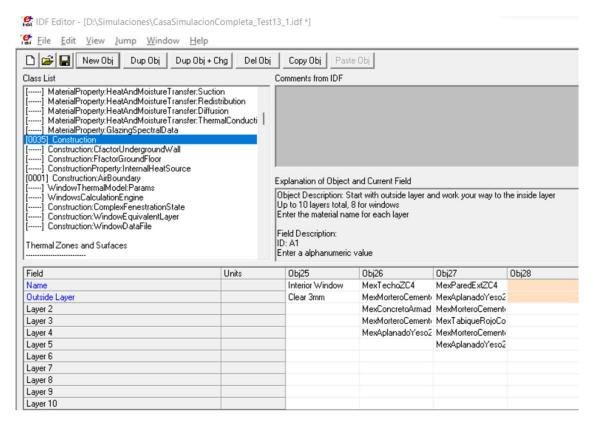


Figura 3.42 Construction

En la sección Zone, se valida que estén cargadas todas las áreas que se dibujaron previamente en el software de modelación 3D de la vivienda. Ver Figura 3.43.

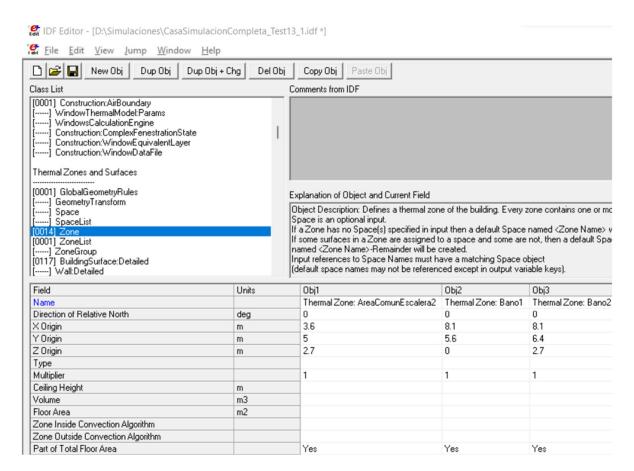


Figura 3.43 Zone

- ❖ En la sección *ZoneList*, se valida que estén cargadas todas las áreas que se dibujaron previamente en el software de modelación 3D de la vivienda, en donde dice *Name* se le asigna un nombre. Ver Figura 3.44.
- En la sección BuildingSurface Detailed, se valida que estén cargadas todas las superficies que se dibujaron previamente en el software de modelado 3D de la vivienda, en el apartado Name se validara los valores asignados previamente en el software de modelado 3D, Surface Type se valida si el dato cargado es correcto, si es Piso, Techo Interior, Techo Exterior, Pared, Construction Name se valida si el dato cargado es correcto en Surface Type, Zone Name se valida que estén cargados correctamente a la zona termal, Outside Boundary Condition, se valida que la información sea correcta si es

superficie o exterior, *Outside Boundary Condition Object* se valida si es correcta la colindancia y en caso de no tener debe de estar en blanco, *Sun Exposure* se valida si esa sección está expuesta al sol, *Wind Exposure* se valida si esa sección está expuesta al viento, el resto de valores son las coordenadas de la ubicación de los objetos en el software de modelado. Si algún dato es incorrecto en esta sección se puede corregir para que la simulación se ejecute de manera correcta. Ver Figura 3.45.

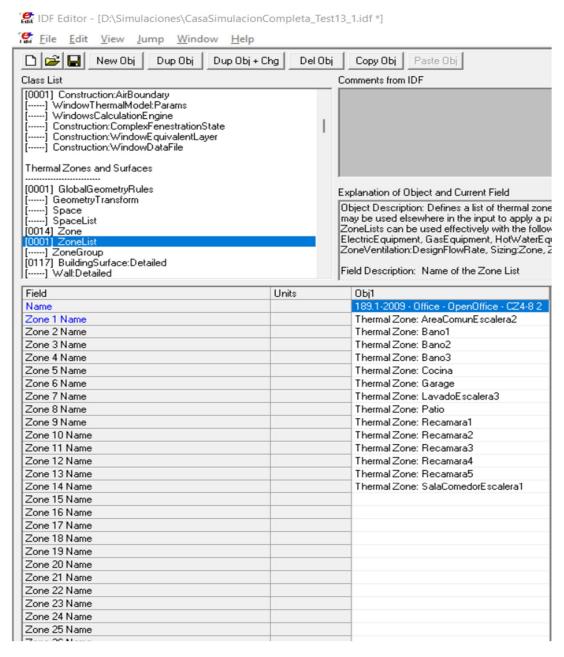


Figura 3.44 ZoneList

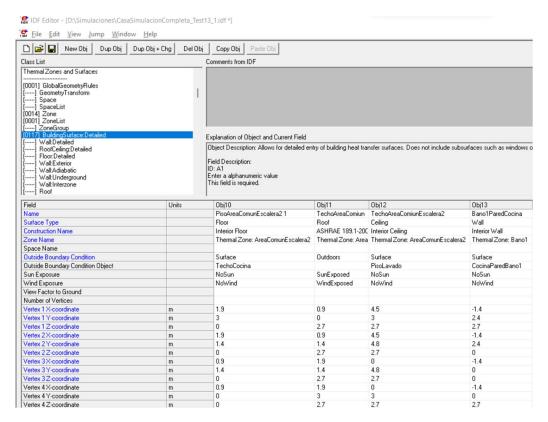


Figura 3.45 BuildingSurface Detailed

- En la sección FrenestrationSurface Detailed se validan que estén cargados correctamente todas las puertas y ventanas de la vivienda, Name mostrara el nombre asignado previamente en el software de modelado, Surface Type mostrara si es puerta o ventana, Contruction Name mostrara si es interior o exterior, Building Surface Name mostrara a que parte de la vivienda pertenece, Outside Boundary Condition Object mostrara la colindancia del objeto. Si algún dato es incorrecto se puede corregir para que la simulación se ejecute de manera correcta. Ver Figura 3.46.
- ❖ En la sección People se cargaran la cantidad de personas que van a estar en las áreas, Name se le asigna un nombre a la variable para identificarla en el proceso de simulación, Zone or ZoneList se valida que este cargado correctamente la zona climática donde se ubica la vivienda, Number of People Schedule Name se selecciona la programación cargada previamente en Schedule Year, Number of People Calculation Method se valida que este cargado People/Area, Number of People se coloca la cantidad de personas que van a estar en el área, el resto de datos están cargado por default. Ver Figura 3.47.

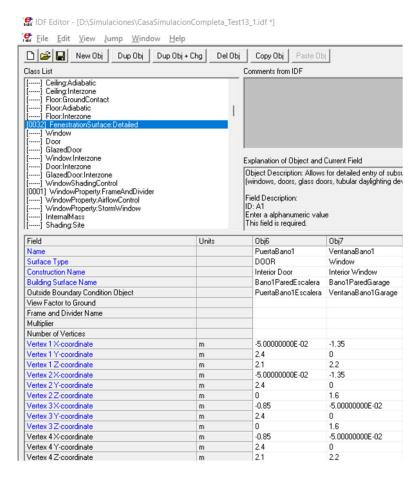


Figura 3.46 FrenestrationSurface Detailed

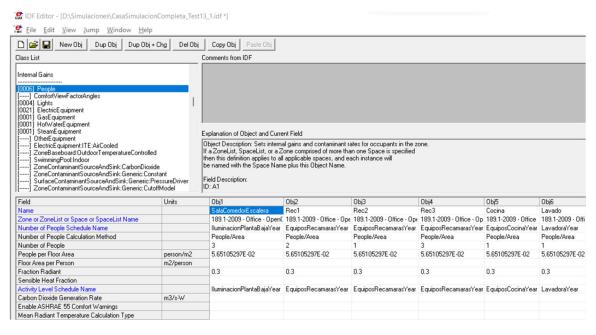


Figura 3.47 People

❖ En la sección Light se configurara la iluminación de la vivienda a simular, Name se le asigna nombre a la variable a simular, Zone or ZoneList aparecerá la asignada previamente, Schedule Name se agregará la programación cargada previamente en Schedule Year, Design Level Calculation Method se coloca Watts/Area, Lighthing Level se coloca la cantidad en Watts que consumirá la iluminación, si hay más de un foco en el área se suman todos los watts que consumirá y se coloca el resultado de dicha suma, el resto de valores no se modifican. Ver Figura 3.48.

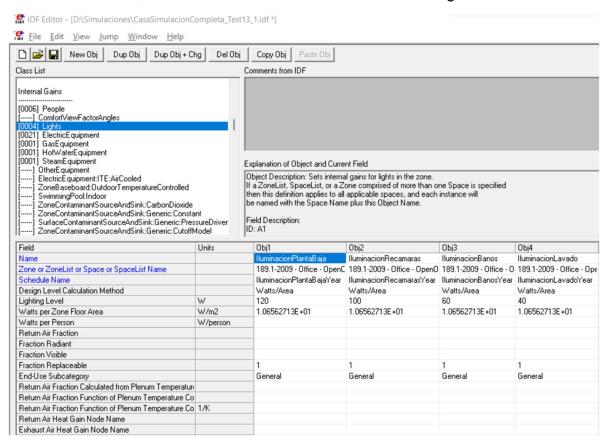


Figura 3.48 Light

En la sección ElectricEquipment se configurará el consumo de los aparatos que se conectan al sistema eléctrico de la vivienda, Name se le asigna el nombre de la variable, Zone or ZoneList se le asigna la ubicación del aparato eléctrico, Schedule Name se escoge la programación cargada previamente en Schedule Year, Design Level Calculation Method se escoge el método de cálculo, Design Level el consumo en watts del aparato eléctrico, el resto de valores no se modifican. Ver Figura 3.49.

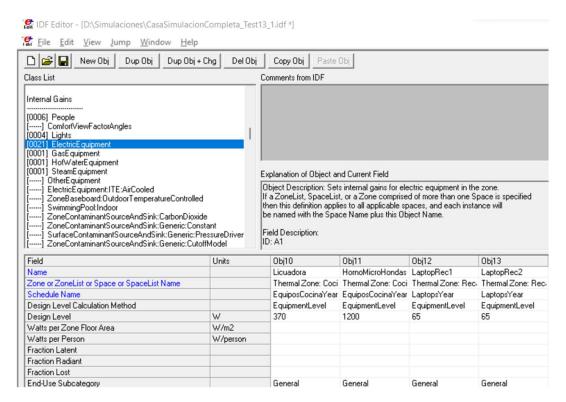


Figura 3.49 Electric Equipment

- En la sección GasEquipment se configurará el consumo del uso de la estufa, calentador o secadora, o cualquier aparato que consuma gas, Name se le asigna un nombre a la variable a simular, Zone or ZoneList la ubicación del aparato, Schedule Name se coloca la programación cargada previamente en Schedule Year, Design Level Calculation Method se coloca EquipmentLevel, Design Level el consumo en watts. Ver Figura 3.50.
- ❖ En la sección HotWaterEquipment se configurará los aparatos que consumirán agua caliente, Name se le asigna nombre a la variable, Zone or ZoneList se agrega la ubicación donde se va a utilizar, Schedule Name se escoge de lo cargado previamente en Schedule Year, Design Level Calculation Method se selecciona EquipmentLevel, Design Level se coloca la cantidad de watts, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.51.
- ❖ 43. En la sección SteamEquipment se configurará los aparatos para planchado de ropa o de cabello, Name se le asigna nombre a la variable, Zone or ZoneList se agrega la ubicación donde se va a utilizar, Schedule Name se escoge de lo cargado previamente en Schedule Year, Design Level Calculation Method se selecciona EquipmentLevel, Design Level se coloca la cantidad de watts, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.52.

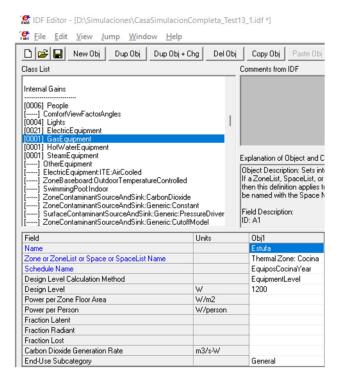


Figura 3.50 GasEquipment

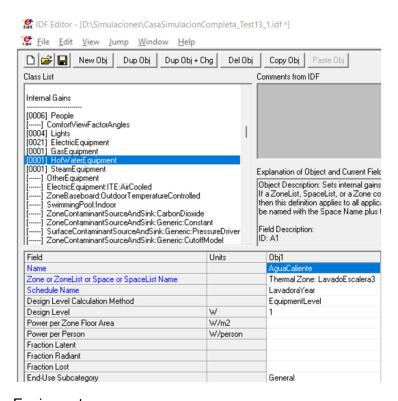


Figura 3.51 GasEquipment

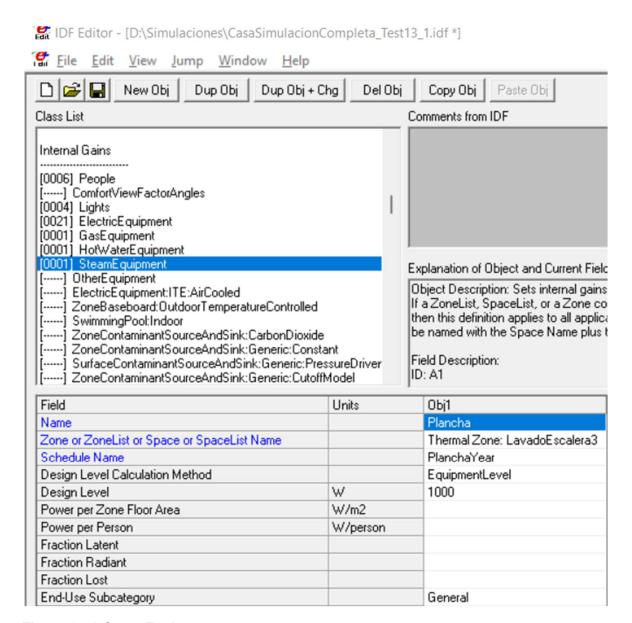


Figura 3.52 SteamEquipment

❖ En la sección Zone Ventilation Design Flow Rate se configurará los ventiladores que tiene la vivienda, Name se le asigna nombre a la variable, Zone or ZoneList se agrega la ubicación donde se va a utilizar, Schedule Name se escoge de lo cargado previamente en Schedule Year, Design Flow Rate Calculation Method se selecciona Flow/Zone, Design Flow Rate se coloca el flujo en m³/s, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.53.

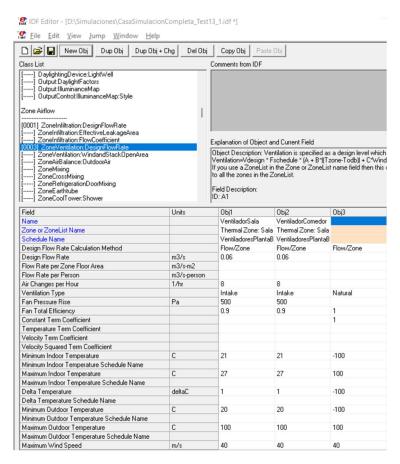


Figura 3.53 Zone Ventilation Design Flow Rate

- ❖ En la sección Zone Ventilation Design Flow Rate se configurará los ventiladores que tiene la vivienda, Name se le asigna nombre a la variable, Zone or ZoneList se agrega la ubicación donde se va a utilizar, Schedule Name se escoge de lo cargado previamente en Schedule Year, Design Flow Rate Calculation Method se selecciona Flow/Zone, Design Flow Rate se coloca el flujo en m³/s, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.54.
- En la sección Exterior Light se configurará la iluminación exterior de la vivienda, incluyendo patios o jardines, Name se le asigna nombre a la variable, Schedule Name se escoge de lo cargado previamente en Schedule Year, Design Level se coloca el total de watts que consume la iluminación exterior, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.55.
- En la sección Exterior FuelEquipment se configurará los aparatos que consuman gas o algún otro tipo de combustible, Name se le asigna nombre a la variable, Fuel Use Type se escoge el combustible que utiliza el aparato, Schedule Name se escoge de lo cargado previamente en Schedule Year,

Design Level se coloca el consumo en watts de cada aparato capturado, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.56.

❖ En la sección Exterior WaterEquipment se configurará los aparatos que consuman agua caliente, Name se le asigna nombre a la variable, Fuel Use Type se escoge water, Schedule Name se escoge de lo cargado previamente en Schedule Year, Design Level se coloca el consumo en m³/s, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.57.

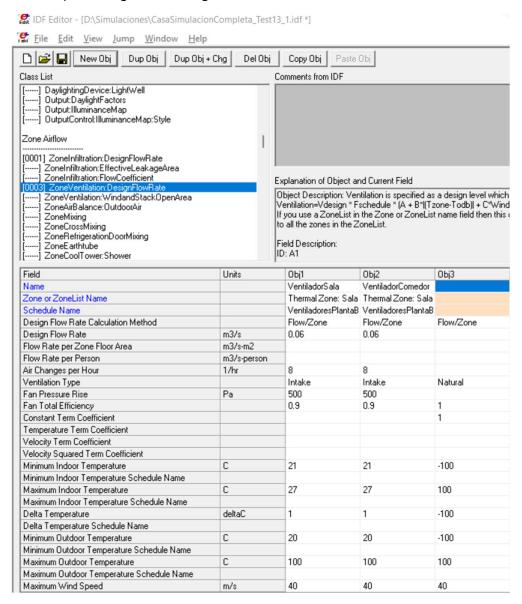


Figura 3.54 Zone Ventilation Design Flow Rate

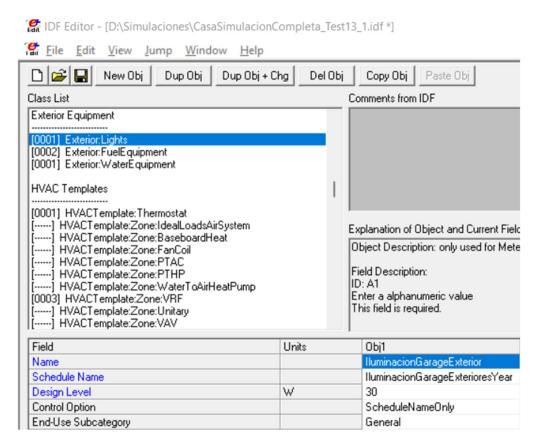


Figura 3.55 Exterior Light

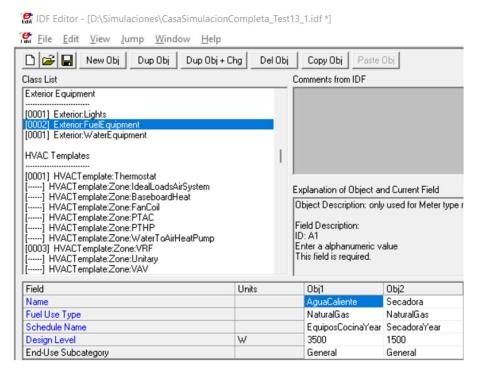


Figura 3.56 Exterior FuelEquipment

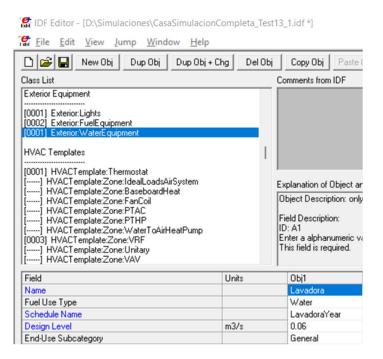


Figura 3.57 Exterior WaterEquipment

En la sección HVACTemplate Thermostat se configurarán los equipos de aire acondicionado, Name se le asignara nombre a la variable para la simulación, Se configura Constant Heating Setpoint si el equipo tiene calefacción y se coloca la temperatura en °C, Constant Cooling Setpoint se configura la temperatura de confort para el diseño de la vivienda. Ver Figura 3.58.

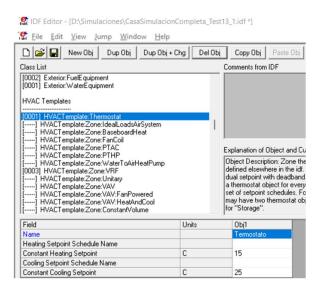


Figura 3.58 HVACTemplate Thermostat

En la sección HVACTemplate Zone VRF se configurarán los equipos de aire acondicionado, Zone Name se le asignara nombre a la variable para la simulación, Template VRF System Name se selecciona de la configuración HVACTemplate System VRF, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.59.

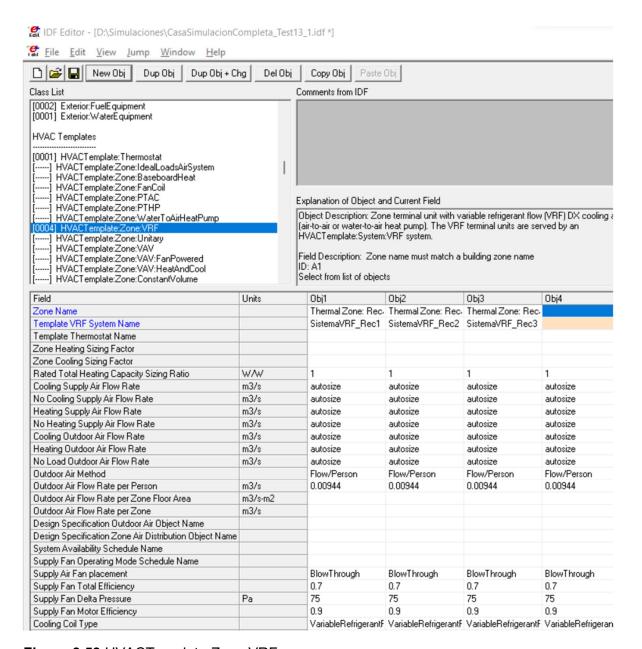


Figura 3.59 HVACTemplate Zone VRF

En la sección En la sección HVACTemplate System VRF se configurarán los equipos de aire acondicionado, Name se le asignara nombre a la variable para la simulación, Zone Name for Master Thermostat Location se asigna la zona térmica de la ubicación del equipo de aire acondicionado, los demás datos quedan igual. Ver Figura 3.60.

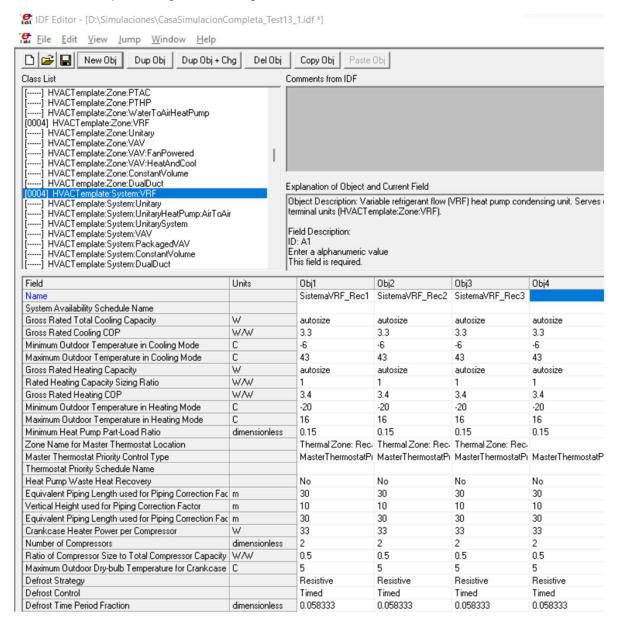


Figura 3.60 HVACTemplate Thermostat

❖ Terminado de configurar todos los campos pertinentes para la simulación se le da un clic en el icono del diskette resaltado en color rojo y se guardan todos los cambios. Ver Figura 3.61.

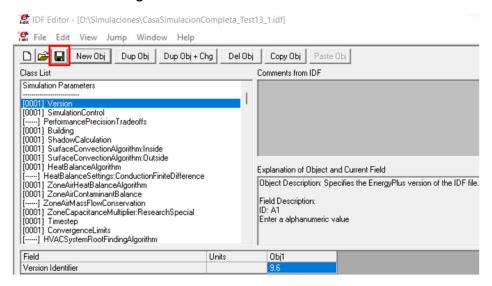


Figura 3.61 Guarda información

Se procede a correr la simulación preliminar, se le da clic en el botón *Simulate* que está encerrado en un cuadro rojo. Ver Figura 3.62.

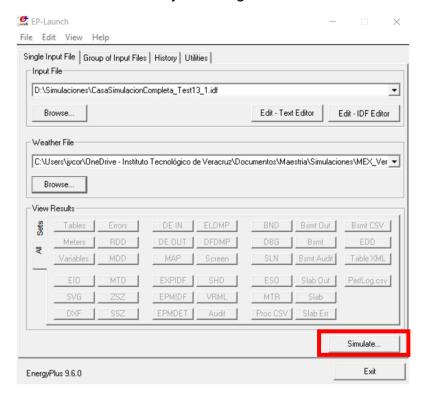


Figura 3.62 Simulate

Si la simulación es correcta creara una carpeta que contendrá un archivo HTML donde se guardan los resultados de la simulación, en caso contrario arrojara errores, se mostraran algunos ejemplos de errores en varias de las simulaciones.

3.7 Depuración de las simulaciones

Al no realizar una correcta configuración y programación se generan errores. En las Tablas 3.1 a la 3.4 se mostrarán ejemplos de errores en la simulación.

En la Tabla 3.1 se muestra un error debido a que no se programó en el software el tipo de cristal de la ventana, el error se solucionó agregando las características del tipo de cristal. En la Tabla 3.2 se muestra un error en la programación de equipos eléctricos, el error se solucionó configurando de manera correcta la programación de todos los aparatos eléctricos. En la Tabla 3.3 se muestra un error en donde falta piso en el baño, el error se solucionó revisando el modelo de la vivienda y agregando el piso del baño, se volvió a capturar toda la programación de la vivienda. En la Tabla 3.4 se muestra error por falta de asignación de zonas térmicas en el modelado de la vivienda, se solucionó agregando las zonas térmicas en el modelado, después se capturo toda la programación.

Tabla 3.1 Error en falta de asignación del tipo de cristal de la ventana, ver incisos del "f" al "k".

a)	Program Version, Energy Plus, Version 9.6.0-f420c06a69, YMD=2021.11.30 10:35,
b)	** Warning ** CheckEnvironmentSpecifications: SimulationControl specified doing design day simulations, but no design
	environments specified.
c)	** ~~ **No design environment results produced. For these results, add appropriate SizingPeriod:* objects for you
	simulation.
d)	** Warning ** ManageSizing: For a zone sizing run, there must be at least 1 Sizing: Zone input object. SimulationControl
	Zone Sizing option ignored.
e)	** Warning ** RunPeriod: object=RUN PERIOD 1, start weekday (SUNDAY) does not match the start year (2022), corrected
	to SATURDAY.
f)	** Severe ** Did not find matching material for Construction ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 1, missing
	material = THEORETICAL GLASS [167]
g)	** Severe ** Did not find matching material for Construction ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 2, missing
	material = THEORETICAL GLASS [197]
h)	** Severe ** Did not find matching material for Construction ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 3, missing
	material = THEORETICAL GLASS [202]
i)	** Severe ** Did not find matching material for Construction ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 4-5, missin
	material = THEORETICAL GLASS [207]
j)	** Severe ** Did not find matching material for Construction ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 6, missin
	material = THEORETICAL GLASS [216]
k)	** Severe ** Did not find matching material for Construction ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 7-8, missin
	material = THEORETICAL GLASS [221]
I)	** Severe ** Errors found in creating the constructions defined with Construction: AirBoundary.
m)	** Severe ** Nominal U is zero, for construction=ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 1

n)	** Severe ** Nominal U is zero, for construction=ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 2
o)	** Severe ** Nominal U is zero, for construction=ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 3
p)	** Severe ** Nominal U is zero, for construction=ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 4-5
q)	** Severe ** Nominal U is zero, for construction=ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 6
r)	** Severe ** Nominal U is zero, for construction=ASHRAE 189.1-2009 EXTWINDOW CLIMATEZONE 7-8
s)	** Warning ** GetHTSurfaceData: Surfaces with interface to Ground found but no "Ground Temperatures" were input.
t)	** ~~~ ** Found first in surface=PISOBANO1
u)	** ~~~ ** Defaults, constant throughout the year of (18.0) will be used.
v)	** Severe ** FenestrationSurface:Detailed="VENTANABANO2" has an opaque surface construction; it should have a window construction.
w)	** Severe ** FenestrationSurface:Detailed="VENTANABANO3" has an opaque surface construction; it should have a window construction.
x)	** Warning ** FenestrationSurface:Detailed="GARAGEPORTON", invalid field Outside Boundary Condition Object
у)	** ~~ **when Base surface uses "Outdoors" as Outside Boundary Condition Object, subsurfaces need to be blank to inherit the outdoor characteristics.
z)	** ~~~ **Surface external characteristics changed to reflect base surface.
aa)	** Severe ** FenestrationSurface:Detailed="VENTANALAVADO" has an opaque surface construction; it should have a window construction.
bb)	** Severe ** FenestrationSurface:Detailed="VENTANALAVADOPAREDPATIO" has an opaque surface construction; it should have a window construction.
cc)	** Severe ** FenestrationSurface:Detailed="VENTANARECAMARA3" has an opaque surface construction; it should have a window construction.
dd)	** Severe ** FenestrationSurface:Detailed="VENTANACOMEDOR" has an opaque surface construction; it should have a window construction.
ee)	** Fatal ** GetSurfaceData: Errors discovered, program terminates.
ff)	Summary of Errors that led to program termination:
gg)	Reference severe error count=19
hh)	Last severe error=FenestrationSurface:Detailed="VENTANACOMEDOR" has an opaque surface construction; it should have a window construction.
ii)	******* Warning: Node connection errors not checked - most system input has not been read (see previous warning).
jj)	******* Fatal error final processing. Program exited before simulations began. See previous error messages.
kk)	****** EnergyPlus Warmup Error Summary. During Warmup: 0 Warning; 0 Severe Errors.
II)	****** EnergyPlus Sizing Error Summary. During Sizing: 1 Warning; 0 Severe Errors.
	******* EnergyPlus TerminatedFatal Error Detected. 5 Warning; 19 Severe Errors; Elapsed Time=00hr 00min

Tabla 3.2 Error en programación de equipos eléctricos, ver incisos del "u" al "hh".

a)	Program Version, EnergyPlus, Version 9.6.0-f420c06a69, YMD=2021.11.30 19:53,			
b)	** Warning ** CheckEnvironmentSpecifications: SimulationControl specified doing design day simulations, but no design			
	environments specified.			
c)	** ~~~ **No design environment results produced. For these results, add appropriate SizingPeriod:* objects for your			
	simulation.			
d)	** Warning ** ManageSizing: For a zone sizing run, there must be at least 1 Sizing: Zone input object. SimulationControl Zone			
	Sizing option ignored.			
e)	** Warning ** GetHTSurfaceData: Surfaces with interface to Ground found but no "Ground Temperatures" were input.			
f)	** ~~~ ** Found first in surface=PISOBANO1			
g)	** ~~~ ** Defaults, constant throughout the year of (18.0) will be used.			

h)	** Warning ** FenestrationSurface:Detailed="GARAGEPORTON", invalid field Outside Boundary Condition Object
i)	** ~~~ **when Base surface uses "Outdoors" as Outside Boundary Condition Object, subsurfaces need to be blan
	inherit the outdoor characteristics.
j)	** ~~ **Surface external characteristics changed to reflect base surface.
k)	** Warning ** GetSurfaceData: Construction INTERIOR WINDOW of interzone surface VENTANABANO1 does not have
K)	same materials in the reverse order as the construction INTERIOR WINDOW of adjacent surface VENTANABANO1GARAG
1)	** ^~~ ** or the properties of the reversed layers are not correct due to differing layer front and back side values
m)	** ~~~ **but Nominal U values are similar, diff=[0.0000] simulation proceeds.
n)	** ~~ **if the two zones are expected to have significantly different temperatures, the proper "reverse" construct
	should be created.
0)	** ~~~ **this problem for this pair will not be reported again.
p)	** Warning ** CalculateZoneVolume: 1 zone is not fully enclosed. For more details
	Output:Diagnostics,DisplayExtrawarnings;
q)	** Warning ** CheckUsedConstructions: There are 16 nominally unused constructions in input.
r)	** ~~ ** For explicit details on each unused construction, use Output:Diagnostics,DisplayExtraWarnings;
s)	** Severe ** GetInternalHeatGains: People="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 PEOPLE 2", invalid Number of Per
٦)	Schedule Name entered=OFFICE WORK OCC
t)	** Severe ** GetInternalHeatGains: People="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 PEOPLE 2", invalid Activity L
-1	Schedule Name entered=OFFICE ACTIVITY
u)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
,	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
v)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
- /	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
w)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
,	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
x)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
,	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
y)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
z)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
aa)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
bb)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
cc)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
dd)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
ee)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
ff)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
gg)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
hh)	** Severe ** GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELECTRIC EQUIPM
	2", invalid Schedule Name entered=OFFICE BLDG EQUIP
ii)	** Fatal ** GetInternalHeatGains: Errors found in Getting Internal Gains Input, Program Stopped
jj)	Summary of Errors that led to program termination:
	Reference severe error count=16
kk)	
kk)	Last severe error=GetInternalHeatGains: ElectricEquipment="189.1-2009 - OFFICE - OPENOFFICE - CZ4-8 ELEC

nn)	******* Fatal error final processing. Program exited before simulations began. See previous error messages.					
00)	*******					
pp)	******* ==== Final Error Summary =====					
qq)	******* The following error categories occurred. Consider correcting or noting.					
rr)	************* Nominally Unused Constructions					
ss)	******** The nominally unused constructions warning is provided to alert you to potential conditions that can cause					
tt)	*********extra time during simulation. Each construction is calculated by the algorithm indicated in the					
	HeatBalanceAlgorithm					
uu)	******** object. You may remove the constructions indicated (when you use the DisplayExtraWarnings option).					
vv)	*******					
ww)	****** EnergyPlus Warmup Error Summary. During Warmup: 0 Warning; 0 Severe Errors.					
xx)	****** EnergyPlus Sizing Error Summary. During Sizing: 1 Warning; 0 Severe Errors.					
уу)	****** EnergyPlus TerminatedFatal Error Detected. 7 Warning; 16 Severe Errors; Elapsed Time=00hr 00min					
	0.17sec					

Tabla 3.3 Error al no encontrar el piso del baño1, ver el inciso "f"

a)	Program Version, Energy Plus, Version 9.6.0-f420c06a69, YMD=2021.12.01 08:43,
b)	** Warning ** CheckEnvironmentSpecifications: SimulationControl specified doing design day simulations, but no desig
	environments specified.
c)	** ~~~ **No design environment results produced. For these results, add appropriate SizingPeriod:* objects for you
	simulation.
d)	** Warning ** ManageSizing: For a zone sizing run, there must be at least 1 Sizing:Zone input object. SimulationControl Zon
	Sizing option ignored.
e)	** Warning ** GetHTSurfaceData: Surfaces with interface to Ground found but no "Ground Temperatures" were input.
f)	** ~~~ ** Found first in surface=PISOBANO1
g)	** ~~~ ** Defaults, constant throughout the year of (18.0) will be used.
h)	** Severe ** FenestrationSurface:Detailed="GARAGEPORTON", invalid Construction Name="ASHRAE 189.1-200
	EXTWINDOW CLIMATEZONE 3" - has Window materials.
i)	** ~~~ **because Surface Type=DOOR
j)	** Fatal ** GetSurfaceData: Errors discovered, program terminates.
k)	Summary of Errors that led to program termination:
I)	Reference severe error count=1
m)	Last severe error=FenestrationSurface:Detailed="GARAGEPORTON", invalid Construction Name="ASHRAE 189.1-200
	EXTWINDOW CLIMATEZONE 3" - has Window materials.
n)	******** Warning: Node connection errors not checked - most system input has not been read (see previous warning
0)	******* Fatal error final processing. Program exited before simulations began. See previous error messages.
p)	******* EnergyPlus Warmup Error Summary. During Warmup: 0 Warning; 0 Severe Errors.
q)	******* EnergyPlus Sizing Error Summary. During Sizing: 1 Warning; 0 Severe Errors.
r)	****** EnergyPlus TerminatedFatal Error Detected. 3 Warning; 1 Severe Errors; Elapsed Time=00hr 00min 0.19si

Tabla 3.4 Error al no asignar zonas térmicas, ver el inciso "b"

a)	Program Version, EnergyPlus, Version 9.6.0-f420c06a69, YMD=2021.12.02 13:30,
b)	** Severe ** CheckEnvironmentSpecifications: Sizing for Zones has been requested but there are no design environments specified.
c)	** ~~~ **Add appropriate SizingPeriod:* objects for your simulation.

d)	** Warning ** CheckEnvironmentSpecifications: SimulationControl specified doing design day simulations, but no design				
	environments specified.				
e)	** ~~~ **No design environment results produced. For these results, add appropriate SizingPeriod:* objects for your				
	simulation.				
f)	** Fatal ** Program terminates due to preceding conditions.				
g)	Summary of Errors that led to program termination:				
h)	Reference severe error count=1				
i)	Last severe error=CheckEnvironmentSpecifications: Sizing for Zones has been requested but there are no design				
	environments specified.				
j)	******* Warning: Node connection errors not checked - most system input has not been read (see previous warning).				
k)	****** Fatal error final processing. Program exited before simulations began. See previous error messages.				
I)	******* EnergyPlus Warmup Error Summary. During Warmup: 0 Warning; 0 Severe Errors.				
m)	******* EnergyPlus Sizing Error Summary. During Sizing: 0 Warning; 0 Severe Errors.				
n)	******* EnergyPlus TerminatedFatal Error Detected. 1 Warning; 1 Severe Errors; Elapsed Time=00hr 00min 0.32sec				

CAPITULO 4 RESULTADOS

4. Resultados

4.1 Caso de estudio

En esta tesis de investigación, la vivienda en estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Veracruz, México; consta de 3 niveles, a excepción de la fachada, las paredes de la planta baja colindan con otras viviendas. En la planta baja están ubicados el garage, sala, comedor, cocina, recamara 1 con equipo de aire acondicionado de 12,000 Btu, patio, baño 1 y escaleras. En la planta uno se encuentra recamara 2 con equipo de aire acondicionado de 12,000 Btu, recamara 3 con equipo de aire acondicionado de 18,000 Btu, baño 2, recamara 4, recamara 5, baño 3 y escaleras. En la planta 2 se encuentra cuarto de lavado. En la Figura 4.1 se muestra el recibo de Comisión Federal de Electricidad de la vivienda con alto consumo energético, el consumo bimestral es de 2,371 kWh en promedio anual varia de 9,500 a 13,000 kWh.



Figura 4.1 Recibo de luz de CFE de la vivienda a simular

El techo de la recamara 1 no recibe luz de sol ya que forma parte del piso de la recamara 2, de la misma manera el techo de la recamara 2 no recibe luz del sol ya que es parte del piso del cuarto de lavandería. En la recamara 3, el techo tiene contacto con la luz de sol y adicionalmente tiene una ventana de cristal claro de 3 mm de espesor, la cual es de 2.1 m de largo por 1m de alto.

Para fines de este informe, las coordenadas geográficas de Veracruz son latitud: 19.181°, longitud: -96.143°, y elevación: 15 m. La temperatura en la ciudad de Veracruz, México en el 2021 fluctuó entre 21.6 y 27.9, de acuerdo a la Figura 4.2. La Tabla 4.1 muestra los equipos que se utilizaron para la simulación y la ubicación dentro de la vivienda.

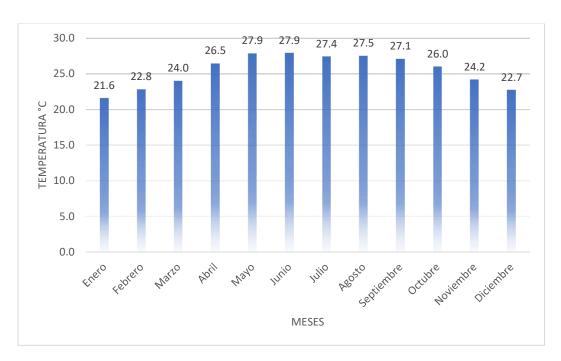


Figura 4.2 Temperatura promedio ciudad de Veracruz durante el 2021

Tabla 4.1 Equipos eléctricos dentro de la vivienda y ubicación

Objeto	Cantidad	Ubicación	Consumo (W)
Router	1	Comedor	30
Refrigerador	1	Cocina	500
Nevera	1	Sala	200
Horno Microondas	1	Cocina	1200
Licuadora	1	Cocina	370
Estufa	1	Cocina	1000
Plancha	1	Recámara	700
Televisión	4	Recámara	120
Laptop	5	Recámara	65
Ventilador	2	Sala – Comedor	120
Lavadora	1	Cuarto lavado	1000
Secadora	1	Cuarto lavado	1000
Bomba de agua	1	Garage	250
Iluminación exterior	1	Exterior	200

4.2 Análisis de resultados

En el software de simulación EnergyPlus se realizaron simulaciones para el año 2022 y además se proyectó un consumo para los próximos 10 años del 2022 al 2032,

proporcionando los consumos anuales en promedio. La simulación incluye el caso actual de la vivienda, con impermeabilizante, doble cristal en las ventanas, aislacreto, techo verde, techo verde con doble cristal y techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda.

En la Figura 4.3 se muestra el resultado de 28 simulaciones divididas en 4 segmentos, de 7 simulaciones, a los cuales se identifican como "equipos sugeridos" y "equipos actuales". En las simulaciones de equipos sugeridos, el programa EnergyPlus determina de que capacidad deben de ser los HVAC en las recamaras. En las simulaciones denominadas con equipos actuales el usuario asigna la capacidad del HVAC real en cada recamara.

Todas las simulaciones de la Figura 4.3 que tienen en su base la palabra 2022 equipos sugeridos y equipos actuales, son simulaciones que corresponden a la fecha del 1 de enero del 2022 al 31 de diciembre del 2022, las siguientes dos columnas que tienen en su base la palabra 2032 equipos sugeridos y equipos actuales corresponden a simulaciones anuales promedio con fecha 1 de enero del 2022 al 31 de diciembre del 2032.

Se puede ver que al aplicar diferentes técnicas pasivas el consumo disminuye gradualmente. En las últimas dos simulaciones de techo verde con doble cristal y techo verde con doble cristal e iluminación exterior con fotocelda disminuye significativamente el ahorro de consumo energético de la vivienda, maximizándose en cada enfoque, tanto con equipos sugeridos y equipos actuales. El máximo ahorro obtenido en la simulación es de 1,456.48 kWh que es la diferencia entre las condiciones con equipos actuales y techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda con equipos sugeridos por EnergyPlus.

La Figura 4.3 muestra el resultado de las simulaciones en el 2022, considerando todos los equipos eléctricos que están conectados en la red de suministro eléctrico. La Tabla 4.3 muestra comportamiento del consumo de todas las simulaciones realizadas en EnergyPlus para el año 2022 y simulación del 2022 al 2032. También muestra el promedio bimestral por año realizando la simulación del 2022 y del 2022 al 2032.

La combinación de 2 técnicas pasivas y fotocelda en la iluminación exterior que se muestra en la Tabla 4.2 es el resultado de menor consumo de todas las técnicas pasivas obtenidas mediante la simulación. Las simulaciones muestran que cuando el software EnergyPlus sugiere la capacidad de los equipos que deben instalarse en la vivienda el consumo de energía es menor contra los equipos que ya tiene instalada la misma. Se puede observar que las simulaciones con equipo sugerido son menores que con los equipos actuales, el programa EnergyPlus determina la capacidad de los HVAC adecuados para mantener la temperatura de confort en las habitaciones con el mismo valor que con los equipos que tiene actualmente instalados en la vivienda. Los consumos con los equipos sugeridos son 5.3% menor en comparación con los equipos actuales sin aplicar técnicas pasivas (caso actual) para el año 2022.

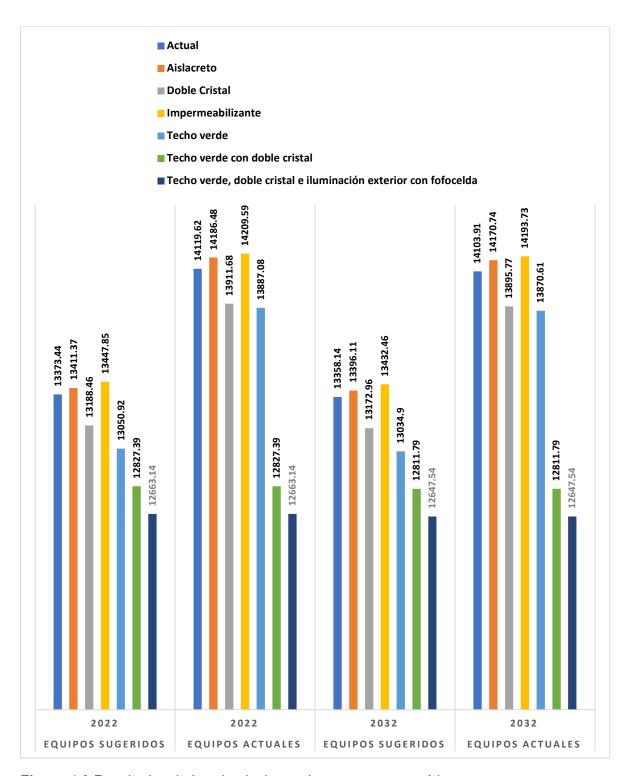


Figura 4.3 Resultados de las simulaciones de consumo energético

Tabla 4.2 Resultado de simulación anual y promedio bimestral en el 2022 y a diez años del 2022 al 2032 con todos los equipos

Técnicas pasivas	2022	2032	Promedio Bimestre 2022	Promedio Bimestre 2022 - 2032		
Actual sin técnica pasiva						
Equipo Actual	14119	14104	2353	2351		
Equipo Sugerido	13373	13358	2229	2226		
Aislacreto						
Equipo Actual	14186	14170	2364	2362		
Equipo Sugerido	13411	13396	2235	2233		
Doble cristal						
Equipo Actual	13911	13895	2319	2316		
Equipo Sugerido	13188	13173	2198	2196		
Impermeabilizante						
Equipo Actual	14209	14193	2368	2366		
Equipo Sugerido	13447	13432	2241	2239		
Techo verde	Techo verde					
Equipo Actual	13887	13870	2315	2312		
Equipo Sugerido	13050	13034	2175	2172		
Techo verde y doble cristal						
Equipo Actual	12827	12811	2138	2135		
Equipo Sugerido	12827	12811	2138	2135		
Techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda						
Equipo Actual	12663	12647	2111	2108		
Equipo Sugerido	12663	12647	2111	2108		

Es importante señalar que la simulación para el caso con equipos actuales de 2022 coincide muy bien con el consumo real de la vivienda. En la simulación se obtiene un consumo bimestral de 2353 kWh, mientras que el recibo de la CFE indica un consumo de 2371 kWh, lo cual implica que hay una diferencia porcentual de 0.75%. Lo anterior, valida el uso del software EnergyPlus para su uso como herramienta para realizar estudios termoenergéticos en viviendas.

La Tabla 4.3 muestra el resultado de las simulaciones durante el 2022, y el comportamiento a diez años del 2022 al 2032 el valor mostrado es el consumo promedio por año, considerando solamente el consume energético de los 3 equipos de aire acondicionado; los que tiene ya instalados la vivienda "equipos actuales" y los que asigna el programa EnergyPlus "equipos sugeridos". Se muestra que aplicar la técnica pasiva de

techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda representa un ahorro anual del 41.89% con las condiciones actuales que tiene la vivienda.

Tabla 4.3 Resultado consumo energía eléctrica de simulaciones para el 2022 y 2022 al 2032 con los equipos de aire acondicionado

Técnica pasiva	2022	2022-2032					
Actual sin técnica pasiva							
Equipo Actual	2991	2992					
Equipo Sugerido	2245	2246					
Aislacreto							
Equipo Actual	3056	3057					
Equipo Sugerido	2281	2282					
Doble cristal							
Equipo Actual	2796	2797					
Equipo Sugerido	2073	2074					
Impermeabilizante							
Equipo Actual	3077	3078					
Equipo Sugerido	2315	2317					
Techo verde							
Equipo Actual	2777	2778					
Equipo Sugerido	1941	1942					
Techo verde y doble cristal							
Equipo Actual	1737	1739					
Equipo Sugerido	1737	1739					
Techo verde, doble cristal e ilum	inación exterior co	on fotocelda					
Equipo Actual	1737	1739					
Equipo Sugerido	1737	1739					

La Tabla 4.4 muestra resultados de la simulación por mes del consumo eléctrico de los equipos de aire acondicionado en kWh durante el 2022, el ultimo renglón de la columna muestra el porcentaje de ahorro durante cada mes del consumo de los equipos de aire acondicionado entre los equipos actuales sin técnica pasiva y los equipos sugeridos con techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda. El mes de enero representa el mayor ahorro en el año de 59% en comparación de los demás meses, y mantiene un promedio de ahorro en los meses de abril a septiembre de 42%, que son los meses con temperaturas elevadas en el año como se muestra en la Figura 4.2. La Tabla 4.5 muestra el consumo simulado de energía eléctrica de la iluminación exterior por mes en kWh. Al sustituir la iluminación exterior con fotocelda se ahorra al año 164 kWh al año.

Tabla 4.4 Resultado de las simulaciones para el 2022 del consumo del aire acondicionado considerando equipos actuales y equipos sugeridos.

Res	ultado d	e las sim	ulaciones	en kWh po	r mes du	rante el 2	022 equi	pos de a	ire acondici	onado		
Técnica pasiva	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Actual sin técnica pasiva												
Equipo Actual	14.91	28.75	91.23	257.02	474.99	477.47	441	457.78	347.35	254.05	106.71	40.24
Equipo Sugerido	14.74	28.28	82.74	207.57	331.16	341.3	314.5	325.66	258.01	203.86	98.48	39.05
Aislacreto												
Equipo Actual	16.39	31.11	96.91	264.58	480.54	483.15	448.03	464.5	354.51	261.59	113.05	41.84
Equipo Sugerido	16.18	30.55	87.42	210.67	332.99	345.5	317.65	327.96	260.18	207.75	103.69	40.54
Doble cristal												
Equipo Actual	10.79	22.21	78.49	235.68	455.23	458.8	419.29	436.76	325.24	231.69	90.56	31.9
Equipo Sugerido	10.7	21.91	71.07	191.36	312.27	320.68	295.12	307.33	241.13	186.35	84.4	31.1
Impermeabilizante												
Equipo Actual	17.13	31.97	98.45	267.84	482.66	485.23	450.05	467.08	356.39	263.49	114.29	42.98
Equipo Sugerido	16.9	31.39	89.12	214.52	337.6	349.62	322.1	333.26	264.07	210.65	104.96	41.65
Techo verde												
Equipo Actual	11.08	23.7	79.1	225.29	444.4	455.5	418.92	426.81	325.93	234.69	99.8	32.76
Equipo Sugerido	10.94	23.14	68.46	171.52	288.59	304.32	275.6	277.83	222.88	177.83	89.32	31.42
Techo verde y doble cristal												
Equipo Actual	6.07	15.87	54.66	154.31	265.01	277.79	252	255.6	204	157.9	72.47	22.11
Equipo Sugerido	6.07	15.87	54.66	154.31	265.01	277.79	252	255.6	204	157.9	72.47	22.11
Techo verde, doble cristal e												
iluminación exterior con												
fotocelda												
Equipo Actual	6.07	15.87	54.66	154.31	265.01	277.79	252	255.6	204	157.9	72.47	22.11
Equipo Sugerido	6.07	15.87	54.66	154.31	265.01	277.79	252	255.6	204	157.9	72.47	22.11
Porcentaje de ahorro sin												
técnica pasiva vs techo verde,	F60/	AFC!	4001	4001	4401	4301	4201	4.00/	4-01	2001	222/	4=0/
doble cristal e iluminación	59%	45%	40%	40%	44%	42%	43%	44%	41%	38%	32%	45%
exterior con fotocelda												

Tabla 4.5 Resultado de simulaciones para el 2022 consumo de iluminación exterior

R	esultado	de las sii	mulaciones	en kWh p	or mes d	urante el	2022 de	iluminac	ión exteri	or		
Técnica pasiva	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	eptiembre	Octubre	NoviembreD	ciembre
Actual sin técnica pasiva												
Equipo Actual	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Equipo Sugerido	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Aislacreto												
Equipo Actual	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Equipo Sugerido	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Doble cristal												
Equipo Actual	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Equipo Sugerido	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Impermeabilizante												
Equipo Actual	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Equipo Sugerido	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Techo verde												
Equipo Actual	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Equipo Sugerido	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Techo verde y doble cristal												
Equipo Actual	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Equipo Sugerido	13.95	12.6	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95	13.95	13.5	13.95	13.5	13.95
Techo verde, doble cristal e												
iluminación exterior con												
fotocelda												
Equipo Actual	C	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0	0
Equipo Sugerido	C	0	0	0	0	0	0	(0	0	0	0

4.3 Costo de consumo energético

La Figura 4.4 muestra el costo actual del excedente del kWh en el bimestre del 31 de agosto del 2022 al 31 de octubre del 2022, el cual es de \$ 3.306 pesos, también muestra los costos de Básico, Intermedio 1, Intermedio 2.

PERIODO FA	CTURADO: 31 AG	GO 22 - 31 OCT 22	-	¡Escanea el	código y listo!
Concepto	Lectura actual Medida ● Estimada ●	Lectura anterior Medida ● Estimada ●	Total periodo	Precio (MXN)	Subtotal (MXN)
Energía (kWh	, 14610	× 12482	2128		
Básico	,		300	0.831	249.30
Intermedio1			300	0.962	288.60
Intermedio2			300	1.240	372.00
Excedente			1,228	3.306	4,059.76
Suma		Este gráfico refleja tu nivel de	consumo. A2ne28 uso, may	or apoyo.	Subto <u>ta</u> ,1 _{969.66}

Figura 4.4 Sección recibo de luz de CFE del bimestre agosto – octubre del 2022

La Tabla 4.6 muestra el análisis de costo del kWh excedente en la vivienda, se observa que, al aplicar la técnica pasiva de techo verde, doble cristal e iluminación da un ahorro simulado de 1456.47 kWh durante el año el cual representa con los datos del costo del excedente mostrados en la Figura 4.4 un ahorro de \$ 4,815.09 pesos al año. En la proyección de diez años representaría un ahorro de \$ 48,150.90 pesos, esto va a variar de acuerdo al costo del kWh excedente que marque Comisión Federal de Electricidad.

Tabla 4.6 Costo excedente en kWh en el 2022, obtenido mediante las simulaciones.

Proyección de costos excedente de kWh en el 2022							
Técnica pasiva	2022	∆ kWh actual vs sugerido	\$ Excedente				
Actual sin técnica pasiva			\$ 3.306				
Equipo Actual	14119.7						
Equipo Sugerido	13373.5	746.15	\$ 2,466.77				
Aislacreto							
Equipo Actual	14186.5						
Equipo Sugerido	13411.4	708.25	\$ 2,341.47				
Doble cristal							
Equipo Actual	13911.7						
Equipo Sugerido	13188.5	931.17	\$ 3,078.45				
Impermeabilizante							
Equipo Actual	14209.7						
Equipo Sugerido	13447.9	671.73	\$ 2,220.74				
Techo verde	_		·				
Equipo Actual	13887.1						
Equipo Sugerido	13051	1068.68	\$ 3,533.06				

Techo verde y doble cristal			
Equipo Actual	12827.5		
Equipo Sugerido	12827.5	1292.22	\$ 4,272.08
Techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda			
Equipo Actual	12663.2		
Equipo Sugerido	12663.2	1456.47	\$ 4,815.09

4.4 Costo de instalación de techo verde

Para instalar la técnica pasiva de techo verde en la vivienda esta debe cumplir con algunos criterios:

- a) La loza debe estar en óptimas condiciones
- b) No presentar grietas y/o fisuras

La Tabla 4.7 presenta costos promedios de algunos materiales para la instalación básica:

Tabla 4.7 Costos de algunos materiales para la instalación del techo verde

Instalación y mano de obra de techo verde sin paisajismo el metro cuadrado.	\$ 1,200.00
Temporizador de riego inteligente.	\$ 374.00
Tubo Termocontractil Thermofit ¼" tramo 5 m.	\$ 380.00
Llave de paso de ¼".	\$ 62.00

Dependiendo de la cantidad de metros cuadrados a instalar de techo verde, se podrá realizar un cálculo del costo de instalación, este proyecto de investigación requiere instalar 17.28 m², el cual representa una inversión de \$ 21,552.00 pesos, que se recuperaría en los próximos cuatro años y seis meses después de su instalación

Conclusiones

En este trabajo se analizó la aplicación de diferentes técnicas pasivas en simulaciones termo energéticas a una vivienda en la ciudad de Veracruz, el clima es caluroso la mayor parte del año. La vivienda del caso de estudio en las condiciones actuales sin aplicar ninguna técnica pasiva va a tener un consumo simulado de 14119.62 kWh durante el 2022. Las simulaciones demuestran que la combinación de técnicas pasivas, tales como techo verde con doble cristal e iluminación exterior con fotocelda, representa un ahorro teórico de 10.32%. Lo anterior se debe a que el techo verde absorbe la radiación solar y mitiga la transferencia de calor del exterior al interior de la vivienda, además el colocar doble cristal y cambiar la iluminación exterior por fotoceldas autosustentables maximizan el ahorro total energético en la vivienda del caso de estudio.

EnergyPlus es un software de cálculo de apoyo para la selección de la capacidad de equipos HVAC, tomando en cuenta todas las variables que afectan el consumo de energía en la vivienda. Además, toma en cuenta las dimensiones de la vivienda, posición, personas y equipos que estén conectados en el suministro.

En la ciudad de Veracruz ya es obligatorio el cumplir con las normas mexicanas NOM-008 y NOM-020, aunque por el momento no hay una entidad regulatoria que exija el cumplimiento de la misma. EnergyPlus no es una herramienta oficial en México, pero sirve de apoyo para la proyección del consumo de acuerdo a la envolvente que se aplique en la vivienda. Las conclusiones mas importantes de esta tesis son:

- a) El uso de la técnica pasiva techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda ofrece un ahorro teórico de 10.32% al año.
- b) El uso de técnicas pasivas proporciona ahorro de consumo energético en la vivienda.
- c) El software EnergyPlus es una herramienta de apoyo para la simulación de consumos termo-energeticos que se puede aplicar en climas calurosos como el de Veracruz.
- d) Con los costos actuales al momento de la realización de esta tesis en un lapso de 10 años la simulación proyecta un ahorro de \$ 48,150.90 pesos aplicando la técnica pasiva de techo verde, doble cristal e iluminación exterior con fotocelda.
- e) El costo de instalación básica de techo verde en la vivienda simulada será aproximadamente de \$21,552.00 pesos el cual se recuperará en cuatro años y seis meses después de haberla instalado.

Recomendaciones

Con la proyección del ahorro se pueden realizar las siguientes actividades:

- a) Instalación del techo verde
- b) Instalación de ventanas doble cristal
- c) Cambiar la iluminación exterior por autosustentable por fotocelda y sensor de movimiento
- d) Cambiar equipo de la recámara que se le va instalar el techo verde por un equipo inverter

Las técnicas pasivas apoyan el ahorro de consumo energético y este proyecto recomienda realizar investigaciones acerca de la IA (Inteligencia Artificial) en el hogar y en el IOT (Internet of Things), para controlar el consumo eléctrico de los equipos y aparatos eléctricos.

Glosario

CMNUCC: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático entró en vigor el 21 de marzo de 1994. El objetivo final de la Convención es estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero "a un nivel que impida interferencias antropógenas (inducidas por el hombre) peligrosas en el sistema climático" [15].

GyCEI: Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes [16]

COVID-19: El coronavirus SARS-Cov-2 es un virus que apareció en China. Después se extendió a todos los continentes del mundo provocando una pandemia. Actualmente Europa y América son los más afectados.

Este nuevo virus, provoca la enfermedad conocida con el nombre de COVID-19 [4].

Simulación: Herramienta asistida por computadora que ayuda al diseño y comparar varias opciones y sistemas tecnológicos [5].

Técnica Pasiva: son aquellas que ayudan a disminuir las ganancias de calor en una edificación, sin necesidad de un consumo energético de sistemas convencionales [17].

Temperatura de Confort: es aquella condición en que la mayoría de los ocupantes expresa satisfacción con el entorno que los rodea [18].

EnergyPlus: es un programa completo de simulación energética de edificios que los ingenieros, arquitectos e investigadores utilizan para modelar tanto el consumo de energía (para calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y cargas de proceso) como el consumo de agua en los edificios [19].

Peta: Prefijo en múltiplo de 1x10¹⁵ y su símbolo es la P [20].

Joule: Unidad de trabajo en el Sistema Internacional [21].

EV: Espacios Verdes se clasifican en bosques, parques, jardines [22].

Climatización: Consiste en crear condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados [23].

BEM: Abreviatura de Building Energy Modelling, método computacional para diseñar, seleccionar sistemas energéticos [19].

BIM: Abreviatura de Building Information Modelling, desarrollo y uso de un modelo de software de computadora para simular la construcción y operación de una instalación [19].

Bibliografía

- [1] N. S. S. S. O. B. Rafael Garcia Cueto, Problemática y Sustentabilidad en la Industria, Méxicali: Universidad Autónoma de Baja California, 2012.
- [2] Gobierno de México, «Balance Nacional de Energía 2019,» 2020. [En línea]. Available: https://www.gob.mx/sener/documentos/balance-nacional-de-energia-2019. [Último acceso: 10 Diciembre 2021].
- [3] M. M. Anurag Kandya, «Mitigating the Urban Heat Island effect through building envelope modifications,» de *Energy and Buildings*, 2018, pp. 266-277.
- [4] Gobierno de México, «COVID-19,» Gobierno de México, 2021. [En línea]. Available: https://coronavirus.gob.mx/covid-19/. [Último acceso: 10 10 2021].
- [5] Soluciones Arquitectónicas y Urbanas Sustentables S.A. de C.V., «Módulo Simulación,» 2018. [En línea]. Available: https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/modulo-simulacion. [Último acceso: 02 09 2021].
- [6] Vorster, Jaco and Dobson, Robert, «Sustainable cooling alternatives for buildings,» *Journal of Energy in Southern Africa*, vol. 22, pp. 48-66, 2011.
- [7] F. C. F. B. Renato M. Lazzarin, «Experimental measurements and numerical modelling of a green roof,» *Energy and Buildings*, vol. 37, nº 12, pp. 1260-1267, 2005.
- [8] Y. a. L. K. a. Z. Q. a. D. H. Zhang, «Ideal thermophysical properties for free-cooling (or heating) buildings with constant thermal physical property material,» *Energy and Buildings ENERG BLDG*, vol. 38, pp. 1164-1170, 2006.
- [9] R. A. T. P. E. P. Todd Otanicar, «Prospects for solar cooling An economic and environmental assessment,» *Solar Energy*, vol. 86, nº 5, pp. 1287-1299, 2012.
- [10] V. N. L. A. Gallegos Ricardo, «Simulación Dinámica y Estudio Comparativo de diferentes Configuraciones de Sistemas de Enfriamiento Evaporativo para Mexicali, México,» *Información tecnológica,* vol. 21, 12 2009.
- [11] Cedar Lake Ventures, Inc, «WheatherSpark,» Cedar Lake Ventures, Inc, 2021. [En línea]. Available: https://es.weatherspark.com/y/8657/Clima-promedio-en-Veracruz-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o. [Último acceso: 14 Nociembre 2022].
- [12] K. Vijayaraghavan, «Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 740-752, 2016.
- [13] A. G. M. T. A. K. V. K. Firfiris, «Passive cooling systems in livestock buildings towards energy saving: A critical review,» *Energy and Buildings*, vol. 202, pp. 1-20, 2019.

- [14] P. A. O. I. Oropeza-Perez, «Active and passive cooling methods for dwellings: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 531-544, 2018.
- [15] United Nations Framework Convention on Climate Change, «Qué es la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático,» United Nations Climate Change, 2021. [En línea]. Available: https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-convention/que-es-la-convencion-marco-de-las-naciones-unidas-sobre-el-cambio-climatico.
- [16] Gobierno de México, «El Cambio Climático de Frente Glosario,» Instituto Nacionale de Ecología y Cambio Climático, 2021. [En línea]. Available: http://elcambioclimaticodefrente.inecc.gob.mx/glosario.
- [17] Y. Diaz Torres, Estado del arte de técnicas activas y pasivas de la climatización sustentable para edificaciones., 2016.
- [18] J. C. R. Martínez, Confort térmico en interiores: Estimación con los enfoques adaptativo y predictivo, Baja California Sur: Universidad Autónoma de Baja California Sur, 2019.
- [19] Energy Plus, «EnergyPlus,» EnergyPlus, 09 2021. [En línea]. Available: https://energyplus.net/.
- [20] Sistema de Información Geográfica de Fuentes Renovables de Energía para la Planeación del Desarrollo Regional Sustentable, «Factores de Conversión: Unidades de Medición y Abreviaturas,» 2021. [En línea]. Available: http://energia.ugto.mx/formularios/Reportes/Unidades.php.
- [21] Encyclopædia Britannica, Inc., «Introduction & Quick Facts,» Encyclopædia Britannica, Inc., 2021. [En línea]. Available: https://www.britannica.com/science/joule.
- [22] A. M. V. A. W. D. F. A. J. Breuste, «Espacios verdes urbanos, fortalezas, amenazas y oportunidades de mejora.,» *Calidad de vida.*, vol. 5, 2013.
- [23] EcuRed, «Climatización,» MedioWiki, 2021. [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Climatización.
- [24] R. M. R. Muhammad Shafique, «Green roof benefits, opportunities and challenges A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 90, pp. 757-773 , 2018.

Anexo A

A1. Publicación derivada de esta investigación

Tema A4 Termofluidos: Análisis térmico energético

"Análisis del consumo energético por climatización de una residencia en Veracruz"

J. Y. Cordero-Bendímez, G. E. Ovando-Chacón, A. Rodríguez-León, C. R. González-Escarpeta, M. Díaz-González, J. Gómez-Rodríguez.

Depto. Metal-Mecánica y Mecatronica, Tecnológico Nacional de Mexico/ Instituto Tecnológico de Veracruz, Calzada Miguel Angel de Quevedo 2779, Veracruz, Veracruz. C.P. 91860 México.

*Autor de Contacto. Dirección de correo electrónico: m21020023@veracruz.tecnm.mx

RESUMEN

Este trabajo presenta la simulación termo-energética de una vivienda de alto consumo en la ciudad de Veracruz, México, la cual es una vivienda de tres plantas, que no cuenta con ningún tipo de envolvente térmico, en el estudio se consideraron las cargas eléctricas generadas por los aparatos eléctricos. Para el análisis se realizaron simulaciones con el software EnergyPlus a fin de obtener los consumos eléctricos mensuales teóricos. Se realizaron 6 simulaciones para el año 2022 considerando los cambios de horario en México y las condiciones climatológicas de la ciudad de Veracruz, México. La primera simulación es con las condiciones actuales de la vivienda, las siguientes cinco simulaciones que se realizaron aplicando técnicas pasivas de climatización (impermeabilizante, doble cristal, aislacreto, techo verde y techo verde con doble cristal). El mayor ahorro energético se obtuvo con la técnica pasiva de techo verde y doble cristal, obteniêndose un ahorro teórico del 4.08%.

Palabras Clave: Simulación energética, Técnicas pasivas, Consumos eléctricos, EnergyPlus.

ABSTRACT

This paper presents a thermo-energetic simulation of a high consumption house in the city of Veracruz, Mexico, it is a 3 floor house, it does not have any type of thermal envelope, in the study the electrical loads generated by the electrical devices. For the analysis, simulations were carried out with the EnergyPlus software in order to obtain the theoretical monthly electrical consumption. 6 simulations were carried out for the year 2022 considering the daylight saving time in Mexico and the weather conditions of the city of Veracruz, Mexico. The first simulation is with the current conditions of the house, the following five simulations that were carried out applying passive techniques on the roof (waterproofing, double glazing, aislacreto, green roof and green roof with double glazing). The greatest energy saving was obtained with the passive technique of green roof and double glazing, obtaining a theoretical saving of 4.08%.

Keywords: Energy simulation, Passive cooling, Electrical loads, EnergyPlus.

Figura A1. Portada de artículo publicado





CONSEJO DIRECTIVO 2020-2022

DR. SIMÓN MARTÍNEZ MARTÍNEZ

DR. JOSÉ JAVIER CERVANTES CABELLO

DRA, LAURA LILIA CASTRO GÓMEZ

DR. JOSÉ MANUEL RIESCO AVILA

DR. ARTURO ABÚNDEZ PLIEGO Vicepresidente de Mecânica Teórica

DR. ALVARO AYALA RUIZ Vicepresidente de Diseño Mecánico

dente de Manufactura y Materia

DR. CARLOS ARTURO REYES RUIZ Vocal de Asuntos Estudiantiles

DR. ARTURO BARBA PINGARRÓN

JORGE YABET CORDERO BENDIMEZ Presente.

A la vez de saludarlo sirva este medio para informar a usted que el Comité Evaluador del 28 Congreso Internacional Anual de la SOMIM ha decidido aceptar para su presentación y publicación el trabajo titulado:

"AN LISIS DEL CONSUMO ENERG TICO POR CLIMATIZACI N DE UNA RESIDENCIA EN VERACRUZ"

Con clave de registro: A4_17

A nombre de la SOMIM lo felicito por haber enviado un trabajo digno de ser publicado en las memorias del 28 Congreso Congreso Internacional Anual de la SOMIM que se llevará a cabo los días 21 al 23 de septiembre en Bogotá, Colombia.

erte de Educación en Ingeniería Mecarica Para poder registrar su artículo deberá seguir el procedimiento que se encuentra en el instructivo adjunto a la presente. Registrando el artículo y habiendo validado la información solicitada su trabajo será publicado en las DR. CARLOS GABRIEL FIGUEROA ALCANTARA memorias de este congreso.

En breve le enviaremos la información completa sobre la dinámica del congreso, y en semanas próximas al evento el Programa General con la fecha, hora y sitio de la presentación de su artículo.

Para cualquier duda que pudiera surgir nos ponemos a sus órdenes en la siguiente dirección de correo electrónico secretario@somim.org.mx

En espera de que en el futuro podamos seguir contando con su decidida participación, reciba un cordial saludo.

Atentamente,

México Cd. Mx., a 8 de julio del 2022

Dr. Simón Martínez Martínez PRESIDENTE DE LA SOMIM

Figura A2. Carta de aceptación de la publicación en el XXVIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM