



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

Desarrollo de prototipos software para modelación  
paramétrica y visualización de resultados enmarcados en  
una plataforma de optimización de diseños de  
reacondicionamientos energéticos para viviendas.

---

*Memoria para Optar al Título de Ingeniero de Ejecución en Computación e Informática*

Alumno : Sebastián Benjamín Alexis Saavedra Muñoz

Profesor Guía : Pedro Gerónimo Campos Soto

04 de agosto de 2017



## **Agradecimientos.**

Agradezco a mis padres y hermanos por su paciencia y cariño.

Agradezco a mi familia en general que siempre ha estado apoyándome y otorgándome espacios para desarrollar mis estudios y pasiones de vida.

Agradezco a mi profesor guía, Pedro Campos, por permitirme realizar este proyecto de título resultando ser un tema interesante y contingente, por brindarme la ayuda necesaria en el desarrollo y por su buena voluntad.

Agradezco a Alberto Nope por su ayuda y buena disposición al momento de las dudas en el área de arquitectura.

Y finalmente para quien ha estado conmigo alimentando mi alma de amor, mi compañera de vida, Bianca Castillo, infinitas gracias.

## **Resumen**

El presente estudio busca ofrecer a los profesionales del área de arquitectura y urbanismo un prototipo computacional que permita generar soluciones de mejoramiento energético para los proyectos de reacondicionamientos de viviendas en particular en la zona metropolitana de Concepción, Chile. El software proporciona características de revisar, comparar y visualizar modelos de viviendas, con cálculos de precios y resultados de simulación energética.

# Índice General

INTRODUCCIÓN.....	15
1 CAPÍTULO I - Generalidades.....	17
1.1 Origen del tema y descripción de la problemática.....	17
1.2 Justificación.....	18
1.3 Descripción del área de estudio.....	19
1.4 Objetivos del proyecto .....	19
1.4.1 Objetivo General del Proyecto.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos.....	19
1.5 Aportes.....	20
1.6 Limites.....	20
2 CAPÍTULO II – Marco Teórico.....	21
2.1 Eficiencia energética.....	21
2.2 Demanda Energética.....	21
2.3 Mejoramiento energético.....	22
2.4 Simulación energética.....	23
2.5 Envolvente térmica .....	23
2.6 Transmitancia térmica / Valor-U.....	24
2.7 Modelo paramétrico.....	25
2.8 Optimización multi-objetivo.....	25
2.9 Archivo IDF / Archivo de Datos de Entrada (Input Data File).....	26
2.10 Algoritmo genético .....	26
2.11 Paquete de mejoramiento.....	26
3 CAPÍTULO III – HERRAMIENTAS DE DESARROLLO PROTOTIPO.....	27
3.1 Herramientas de Simulación Energética.....	27

3.1.1	EnergyPlus (E+) .....	27
3.2	Archivo IDD .....	30
3.3	Archivo IDF .....	33
3.3.1	Sintaxis .....	33
3.3.2	Ejemplo de archivo IDF abreviado:.....	34
3.4	Archivo EPW .....	36
3.5	Python.....	37
3.5.1	Eppy – Modificación Archivo IDF.....	37
3.6	Concepto BIM .....	40
3.6.1	Etapas y áreas comprendidas .....	40
3.6.2	Ventajas del BIM .....	41
3.6.3	DesignBuilder .....	42
4	CAPÍTULO IV – DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS en prototipo software, enmarcado en caso de estudio.....	44
4.1	Captura de datos .....	45
4.1.1	DesignBuilder con EnergyPlus.....	46
4.2	Simulación base.....	46
4.3	Simulación de alternativas.....	52
4.3.1	Descripción grafica de modelos en el presupuesto en caso de estudio .....	54
5	CAPÍTULO V – Definición del Sistema .....	61
5.1	Ambiente de Ingeniería de Software.....	61
5.1.1	Metodología de Desarrollo del Proyecto.....	61
5.1.2	Estándares de Documentación.....	61
5.1.3	Técnicas y Notaciones.....	61
5.2	Definiciones, Siglas y Abreviaciones.....	62
5.3	Ambiente de desarrollo.....	63

5.3.1	Herramientas de Desarrollo de Software.....	63
5.3.2	Hardware para el Desarrollo de Software.....	63
5.3.3	Entorno de desarrollo / Lenguajes Programación .....	63
5.4	Símbolos y Unidades.....	64
6	CAPÍTULO VI – Requerimientos de Software.....	65
6.1	Alcances .....	65
6.1.1	Objetivo Global.....	65
6.1.2	Objetivos Específicos.....	65
6.2	Descripción Global del Producto .....	66
6.2.1	Interfaz de usuario.....	66
6.2.2	Interfaz de hardware.....	66
6.2.3	Interfaz software .....	66
6.2.4	Interfaces de comunicación .....	68
6.3	Requerimientos Específicos.....	68
6.3.1	Requerimientos Funcionales del Sistema .....	68
6.3.2	Interfaces externas de entrada.....	69
6.3.3	Interfaces externas de Salida.....	69
6.3.4	Requerimientos No-Funcionales.....	70
7	CAPÍTULO VII - Factibilidad.....	71
7.1	Factibilidad Técnica.....	71
7.1.1	Recursos Humanos: .....	71
7.1.2	Hardware de Desarrollo: .....	72
7.2	Factibilidad Operativa.....	73
7.3	Factibilidad Económica .....	73
7.4	Conclusión Factibilidad .....	73
8	CAPÍTULO VIII - Análisis.....	74

8.1	Actores .....	74
8.2	Diagrama de Casos de Uso.....	74
8.3	Especificación de los Caso de Uso.....	77
8.4	Modelo de Datos.....	80
9	CAPÍTULO IX - Diseño y Construcción.....	81
9.1	Diseño arquitectónico .....	81
9.2	Mapa sistema web.....	82
9.3	Diagrama de componentes.....	83
9.4	Diagrama de despliegue.....	84
9.5	Diseño de Físico de la Base de datos.....	85
9.6	Diseño interfaz y navegación.....	86
9.6.1	Descripción áreas de contenido en interfaz principal.....	86
10	CAPÍTULO X - Pruebas.....	87
10.1	Elementos de prueba.....	87
10.2	Especificación de las pruebas.....	87
10.3	Detalle de las pruebas .....	88
10.4	Responsables de las pruebas.....	90
11	CAPÍTULO XI - Conclusiones.....	91
	Bibliografía .....	92
12	ANEXO: Especificación detallada de caso de uso .....	94
12.1.1	Especificación de caso de uso - Simular.....	94
12.1.2	Especificación de caso de uso - Modificar.....	98
12.1.3	Especificación de caso de uso - Comparar.....	101
12.1.4	Especificación de caso de uso - Combinar .....	104
13	ANEXO: Diccionario de datos.....	107
14	ANEXO: Estimación en base a esfuerzo.....	109



14.1	Estimación de puntos de caso de uso.....	109
15	ANEXO: Caso de estudio.....	112
16	ANEXO: Sistema Internacional de Unidades .....	113

# Índice de tablas

Tabla 1: Sintaxis - Tipo de datos permitidos por IDF .....	33
Tabla 2: Descripción de objeto ejemplo 'Site:Location' .....	35
Tabla 3: Archivos de salida de simulación .....	49
Tabla 4: Hardware ambiente de desarrollo .....	63
Tabla 5: Símbolos y Unidades .....	64
Tabla 6: CentOS 7 .....	66
Tabla 7: VirtualBox 5.1.26 .....	66
Tabla 8: Python 3.5.2 .....	67
Tabla 9: Django 1.11.x .....	67
Tabla 10: Sublime Text 3.0 .....	67
Tabla 11: Energy Plus 8.6.0 .....	67
Tabla 12: DesignBuilder 5.0.2.003 .....	67
Tabla 13: Requerimiento funcionales del sistema .....	68
Tabla 14: Interfaces externas de entrada .....	69
Tabla 15: Interfaces Externas de Salida .....	69
Tabla 16: Requerimientos No-Funcionales .....	70
Tabla 17: Hardware factibilidad técnica .....	72
Tabla 18: Software factibilidad técnica .....	72
Tabla 19: Ordenador para codificación del software .....	72
Tabla 20: Especificación caso de uso 01 .....	77
Tabla 21: Especificación caso de uso 02 .....	77
Tabla 22: Especificación caso de uso 03 .....	77

Tabla 23: Especificación caso de uso 04 .....	77
Tabla 24: Especificación caso de uso 05 .....	78
Tabla 25: Especificación caso de uso 06 .....	78
Tabla 26: Especificación caso de uso 07 .....	78
Tabla 27: Especificación caso de uso 08 .....	78
Tabla 28: Especificación caso de uso 09 .....	78
Tabla 29: Especificación caso de uso 10 .....	79
Tabla 30: Especificación caso de uso 11 .....	79
Tabla 31: Especificación caso de uso 12 .....	79
Tabla 32: Especificación caso de uso 13 .....	79
Tabla 33: Especificación de pruebas: Modulo simular - Cargar IDF.....	87
Tabla 34: Especificación de pruebas: Modulo simular - Cargar EPW.....	87
Tabla 35: Especificación de pruebas: Modulo Modificar - Modificar objeto.....	88
Tabla 36: Especificación de pruebas: Modulo Combinar - Combinar alternativas .....	88
Tabla 37: Prueba unitaria ingreso de archivo 'idf' .....	88
Tabla 38: Prueba unitaria ingreso de archivo 'epw' .....	88
Tabla 39: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Thickness.....	89
Tabla 40: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Conductivity.....	89
Tabla 41: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Density .....	89
Tabla 42: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Specific Heat.....	89
Tabla 43: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Thermal Resistance.....	90

Tabla 44: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Thermal Absorptance.....	90
Tabla 45: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Solar Absorptance.....	90
Tabla 46: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Visible Absorptance.....	90
Tabla 47: Especificación caso de uso – Simular [01].....	94
Tabla 48: Especificación caso de uso – Simular [02].....	95
Tabla 49: Especificación caso de uso – Simular [03].....	96
Tabla 50: Especificación caso de uso – Simular [04].....	97
Tabla 51: Especificación caso de uso – Modificar [05].....	98
Tabla 52: Especificación caso de – Modificar [06].....	99
Tabla 53: Especificación caso de uso – Modificar [07].....	100
Tabla 54: Especificación caso de uso – Comparar [08].....	101
Tabla 55: Especificación caso de uso – Comparar [09].....	102
Tabla 56: Especificación caso de uso – Comparar [10].....	103
Tabla 57: Especificación caso de uso – Combinar [11].....	104
Tabla 58: Especificación caso de uso – Combinar [12].....	105
Tabla 59: Especificación caso de uso – Combinar [13].....	106
Tabla 60: Diccionario de datos - Tabla Simular.....	107
Tabla 61: Diccionario de datos - Tabla Comparar.....	107
Tabla 62: Diccionario de datos - Tabla Modificar.....	108
Tabla 63: Diccionario de datos - Tabla Combinar.....	108
Tabla 64: Diccionario de datos - Tabla Material.....	108
Tabla 65: Peso de casos de uso sin ajustar (UUCW).....	109
Tabla 66: Peso de actor sin ajustar (UAW).....	109

Tabla 67: Factor de complejidad técnica (TCF).....	110
Tabla 68:Factor de complejidad ambiental (ECF) .....	110
Tabla 69: Situación actual – Reacondicionamiento.....	112
Tabla 70: Datos reacondicionamiento - Caso de estudio .....	112
Tabla 71: Conversión de Sistema Internacional a Unidades Imperiales.....	114
Tabla 72: Otras conversiones admitidas (necesita el código de \ip-units) .....	114
Tabla 73: Unidades de atributos, sin conversión. ....	115

## Índice de figuras

Ilustración 1: Calificación energética de viviendas – Fuente: Minvu (2015).....	16
Ilustración 2: Flujograma de la metodología de García et al. (2014) .....	18
Ilustración 3: Clasificación de consumo energético.....	22
Ilustración 4: Envolverte térmica .....	24
Ilustración 5: Logo EnergyPlus .....	27
Ilustración 6: Estructura simplificada EnergyPlus – Fuente: Adaptado del documento “Getting Started” [17].....	29
Ilustración 7: Logo Python .....	37
Ilustración 8: Logo DesignBuilder .....	42
Ilustración 9: Alcance de la metodología como prototipo .....	44
Ilustración 10: Modelo BIM en DesignBuilder - Caso Base .....	45
Ilustración 11: Diagrama de simulación base .....	46
Ilustración 12: Algoritmo Simulación Base .....	47
Ilustración 13: Archivo de salida de simulación .html - Consumo energético final.....	50
Ilustración 14: Algoritmo lectura de consumos energéticos en simulaciones. ....	51

Ilustración 15: Archivo resultado de algoritmo de lectura de reporte de simulación.....	52
Ilustración 16: Algoritmo combinación de alternativas y simulación.....	53
Ilustración 17: Descripción grafica caso base .....	54
Ilustración 18: Descripción grafica alternativa 1 .....	55
Ilustración 19: Descripción grafica alternativa 2 .....	56
Ilustración 20: Descripción grafica alternativa 3 .....	57
Ilustración 21: Descripción grafica alternativa 4 .....	58
Ilustración 22: Descripción grafica alternativa 5 .....	59
Ilustración 23: Descripción caso mejorado .....	60
Ilustración 24: Diagrama de caso de uso - Simular .....	74
Ilustración 25: Diagrama de caso de uso – Modificar .....	75
Ilustración 26: Diagrama de caso de uso – Comparar .....	75
Ilustración 27: Diagrama de caso de uso – Combinar.....	76
Ilustración 28: Modelo entidad relación.....	80
Ilustración 29: Diseño arquitectónico.....	81
Ilustración 30: Mapa sitio web.....	82
Ilustración 31: Diagrama de componentes.....	83
Ilustración 32: Diagrama de despliegue.....	84
Ilustración 33: Diseño de Físico de la Base de datos .....	85
Ilustración 34: Interfaz principal.....	86

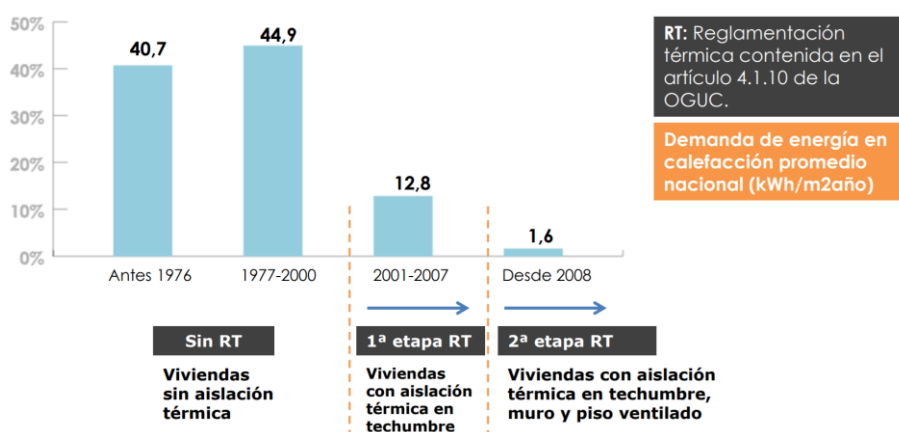
## INTRODUCCIÓN

Para un país disponer de energía es una condición necesaria en el crecimiento y desarrollo económico. Chile importa el 60% de su energía primaria (BNE, 2015), convirtiéndonos en una nación dependiente de los mercados externos y por consecuencia, de las restricciones de abastecimiento que se produzcan por fenómenos políticos, de mercado o climáticos, además de la volatilidad de los precios en los mercados internacionales.

Mientras se habla de que los costos de electricidad podrían subir en torno al 34% durante la próxima década (Ministerio de Energía, 2014), el concepto de eficiencia energética es aún más relevante para los años que vienen. Actualmente la concientización sobre los recursos naturales y los problemas ambientales han llevado a tomar acciones en distintos ámbitos de la sociedad con el fin de reducir el consumo energético y transmitir una cultura más sustentable.

Cerca del cuarto de la energía global es consumida por las viviendas, las que albergan gran parte de las actividades humanas. (CNE, 2009).

En Chile la edificación residencial – publico – comercial, representa un 25% del consumo final de la energía nacional, donde un 60% sólo pertenece al consumo residencial. (BNE, 2015). El parque de viviendas tiene un universo de 5.261.252 al año 2010, donde un 85,6% corresponde a viviendas construidas antes de 2000 (aprox. 4.5 millones de viviendas), las que fueron construidas sin reglamentación térmica contenida en el artículo 4.110 de O.G.U.C (OGUC, 2006), el 12% de las viviendas construidas entre 2001 y 2007 y finalmente 1,6%, a viviendas construidas desde 2008. (CDT, 2010).



**Ilustración 1: Calificación energética de viviendas – Fuente: Minvu (2015)**

Implementar la reglamentación térmica en una edificación conlleva un trabajo manual, prolijo y extenso, propenso a errores y limitado en posibles soluciones. Frecuentemente esta labor es complementada con herramientas de simulación energética, las cuales permiten estimar el comportamiento térmico/energético del edificio.

En apoyo a fortalecer el diseño y análisis sustentable para las nuevas edificaciones o reacondicionamiento de viviendas sin reglamentación térmica, este Proyecto de Título se enmarca Proyecto Exploratorio Ingeniería 2030-UBB 2016 “*Prototipo de plataforma de optimización multi-objetivo de diseño de reacondicionamientos energéticos para viviendas: Enfoque basado en modelación paramétrica y simulación*” dirigido por el profesor guía Pedro Campos Soto. Este trabajo además se relaciona con la investigación sobre eficiencia energética en viviendas que se realiza en la Universidad del Bío-Bío, particularmente con el trabajo descrito en el artículo “*Analysis of energy-efficiency improvements in single-family dwellings in Concepcion, Chile*” (García et al., 2014) con el objetivo de reducir el consumo energético en las viviendas de Concepción, Chile, mediante la implementación de paquetes de mejoramiento energético basados en ocho alternativas de solución.

Además, es la continuación del proyecto “Sistema de apoyo a la generación de paquetes para mejoras de eficiencia energética en viviendas de Concepción, Chile” (Vásquez, 2015), en el cual se desarrolló e implementó una aplicación de escritorio que se encarga de recopilar datos de la vivienda (superficie, cantidad de puertas, cantidad de ventanas, etc.) para cuantificar soluciones.



---

## **1 CAPÍTULO I - GENERALIDADES**

---

### **1.1 Origen del tema y descripción de la problemática**

Actualmente la energía es la principal fuente de desarrollo social y económica en el mundo, donde el 78,4% proviene de fuentes energética no renovable como son los combustibles fósiles (GSR, 2017), los cuales han ido en agotamiento por explotación excesiva desde el advenimiento de la revolución industrial. Es por lo anterior que gobiernos e instituciones mundiales están en búsqueda de nuevas formas más sostenibles e innovadoras de satisfacer nuestras necesidades energéticas, con una mayor participación de la ciencia y las tecnologías, que permitan acelerar el cambio de paradigma que se aleja de un mundo que funciona a base de energía no renovable y junto a ello concientizar a la población implementando cultura de eficiencia energética, donde los principales actores somos los consumidores.

Es importante señalar que casi el 25% de la energía a nivel mundial es consumida por las viviendas (CNE, 2009), las que albergan gran parte de la actividad humana, convirtiéndose en un foco importante para la implementación de eficiencia energética.

En Chile, desde el año 2007 se han establecido regulaciones en las viviendas para incrementar su desempeño térmico y junto a ello programas de reacondicionamiento habitacional, los cuales carecen de análisis y recomendaciones específicas de mejoramiento. (CDT,2010). Hoy se requiere bastante tarea manual de los profesionales que buscan establecer cuál es la mejor combinación de opciones al momento de realizar un proyecto de mejoramiento energético para aumentar el ahorro de energía en las viviendas.

## 1.2 Justificación

Este proyecto es la continuación de la tesis “Sistema de apoyo a la generación de paquetes para mejoras de eficiencia energética en viviendas de Concepción, Chile” (Vásquez, 2015), el cual fue el punto de partida para automatizar de manera informática la metodología propuesta en la investigación de García et al. (2014).

La metodología comprende varios procesos independientes y los últimos tres fueron abordados preliminarmente en el proyecto inicial. Es por lo anterior que se necesita continuar con la elaboración de un sistema informático flexible y escalable, que permita dar garantías de eficacia y funcionalidad para el objetivo final.

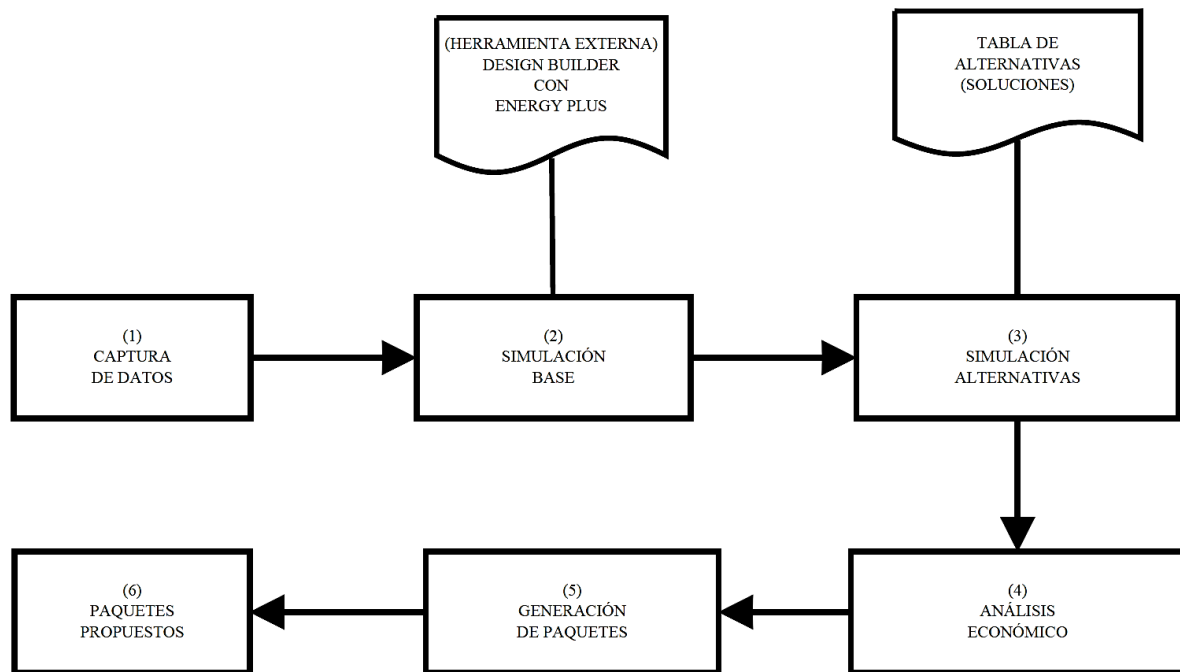


Ilustración 2: Flujograma de la metodología de García et al. (2014)

## **Definición del proyecto**

### **1.3 Descripción del área de estudio**

El desarrollo de este proyecto fue en conjunto con académicos del Doctorado de Arquitectura y Urbanismo en la Universidad del Bío-Bío, particularmente con el director del programa, don Rodrigo García, y el Arquitecto, actual estudiante de Doctorado Alberto Nope. La ejecución del proyecto está enmarcada por Proyecto Exploratorio Ingeniería 2030-UBB 2016 “Prototipo de plataforma de optimización multi-objetivo de diseño de reacondicionamientos energéticos para viviendas: Enfoque basado en modelación paramétrica y simulación”, dirigida por el Dr. Pedro Campos y el Dr. Rodrigo García.

### **1.4 Objetivos del proyecto**

#### **1.4.1 Objetivo General del Proyecto.**

Desarrollar prototipos de módulos software para analizar y ajustar modelos paramétricos de viviendas, en el contexto de una plataforma para la optimización multi-objetivo de diseños de reacondicionamientos de viviendas, que permita seleccionar entre variados diseños eficientes conjugando criterios de costo y eficiencia energética.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Desarrollar un módulo de software que permita visualizar modelos paramétricos de viviendas.
- Desarrollar un módulo de software que permita comparar modelos paramétricos de viviendas obtenidos desde otros sistemas.
- Desarrollar un módulo de software que permita la combinación de diferentes variantes de modelos paramétricos, susceptibles de ser incorporados en modelos de optimización.
- Verificar comportamiento del prototipo en pruebas de simulación.

## 1.5 Aportes

Los principales aportes para este proyecto son:

- Desarrollo de algoritmo que permitan identificar diferencias entre modelos paramétricos modificados de una vivienda con respecto a un caso base.
- Desarrollo de algoritmo que permita establecer nuevos parámetros a atributos de un modelo paramétrico de vivienda.
- Desarrollo de algoritmo que permita simular varios modelos paramétricos a la vez.
- Desarrollo de algoritmo que permita leer archivos de salidas de las simulaciones.
- Desarrollo de algoritmo que genere combinaciones de atributos, con respecto a dos modelos paramétricos distintos de una misma vivienda.

## 1.6 Limites

Este proyecto se limita al desarrollo de un prototipo conformado por algoritmos que permitan la modelación paramétrica y simulación para la optimización de diseños de reacondicionamientos de viviendas basado en optimización, con base a la investigación y en particular al apoyo del modelo de mejoramiento energético descrito exclusivamente en el artículo de García et al. (2014), de esta manera se continua con el desarrollo de la metodología propuesta en el artículo e iniciada por el proyecto de (Vásquez, 2015).

Así mismo en la metodología propuesta y descrita en la ilustración 3, se excluye las etapas de análisis económico, generación de paquetes y paquetes propuestos.

---

## 2 CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

---

El presente capítulo contiene definición y descripción de conceptos imprescindibles para entender el contexto del proyecto.

Los conceptos necesarios para comprender de mejor forma el proyecto son:

- Eficiencia energética
- Mejoramiento energético
- Simulación energética
- Envolverte térmica
- Transmitancia térmica / Valor-U
- Modelo paramétrico
- Optimización multi-objetivo
- Archivo IDF
- Algoritmo genético
- Paquete de mejoramiento

### 2.1 Eficiencia energética<sup>1</sup>

Es la práctica que tiene como objetivo reducir el consumo de energía mediante un uso eficiente de ésta. Dicho de otra manera y a modo de ejemplo, en el caso de una empresa sería producir más, con menos energía, lo que no significa ahorrar luz, sino de iluminar mejor consumiendo menos electricidad.

### 2.2 Demanda Energética<sup>2</sup>

Es la energía útil necesaria para mantener el interior de una edificación en una condición de confort. Un edificio suele estar compuesto por varias demandas en energéticas expresada en kW·h/m<sup>2</sup>·año, considerando como superficie útil los espacios habitables de la construcción, por ejemplo: se tiene demanda energética de iluminación, refrigeración, calefacción, producción de agua caliente.

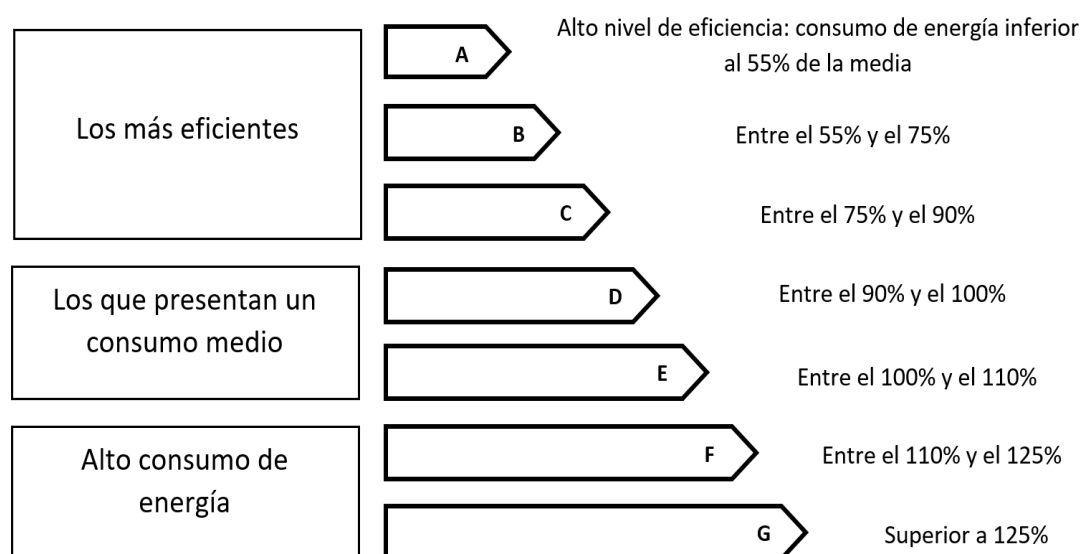
---

<sup>1</sup> Fuente: <http://www.anescochile.cl/que-es-eficiencia-energetica/>

<sup>2</sup> Fuente: <http://campusenergia.com/blog/item/357-edificaci%C3%B3n-consumo-energ%C3%A9tico-vs-demanda-energ%C3%A9tica>

### 2.3 Mejoramiento energético

El Mejoramiento Energético o rehabilitación energética es toda acción que proporciona una reducción del consumo o un aumento de la eficiencia energética. La acción puede ser de forma constructiva, lo que con lleva mejoras en la envolvente de la vivienda o cambios de comportamiento respondiendo a una concientización sobre la rehabilitación energética, donde para ambas acciones, el objetivo principal es la reducción del consumo energético de un inmueble, que al mismo tiempo responde a disminuir las emisiones de CO2 a la atmosfera. Uno de los consumos imprescindible en las viviendas es el de electrodomésticos, el cual cuenta con una tabla que define la eficiencia del dispositivo conectado a la red según su consumo, la clasificación es considerada bajo una escala de letras que va desde “A” hasta la “G”, donde “A” es lo más eficiente en cuanto a consumo energético y de forma contraria “G” sería lo menos eficiente. Lo anterior nos permitiría extrapolar información sobre la eficiencia que existe de una vivienda.



**Ilustración 3: Clasificación de consumo energético**

## 2.4 Simulación energética<sup>3</sup>

La simulación energética consiste en el análisis de una construcción empleando software especializado, para la obtención de resultados de consumos energéticos y gastos en equipos de regulación térmica como son el aire acondicionado, circuito de agua caliente o calderas. A partir de la distribución en la edificación, la posición de las instalaciones térmicas, eléctricas y de las condiciones climáticas externas como entradas según la ubicación de la construcción, el software predice resultados de forma anual, mensual o semanal.

## 2.5 Envoltente térmica <sup>4</sup>

La envoltente térmica de un edificio, casa o vivienda es la capa que delimita las zonas de interior y exterior, protege de la humedad, temperatura y aire exterior, además optimiza el ahorro de energía y consigo reduce la factura mensual de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>3</sup> Fuente: <http://www.greengroup.com.ar/detalle.php?a=simulacion-energetica-de-edificios&t=15&d=119>

<sup>4</sup> Fuente: <http://certificacio-energetica.com/que-es-la-envolvente-termica/>

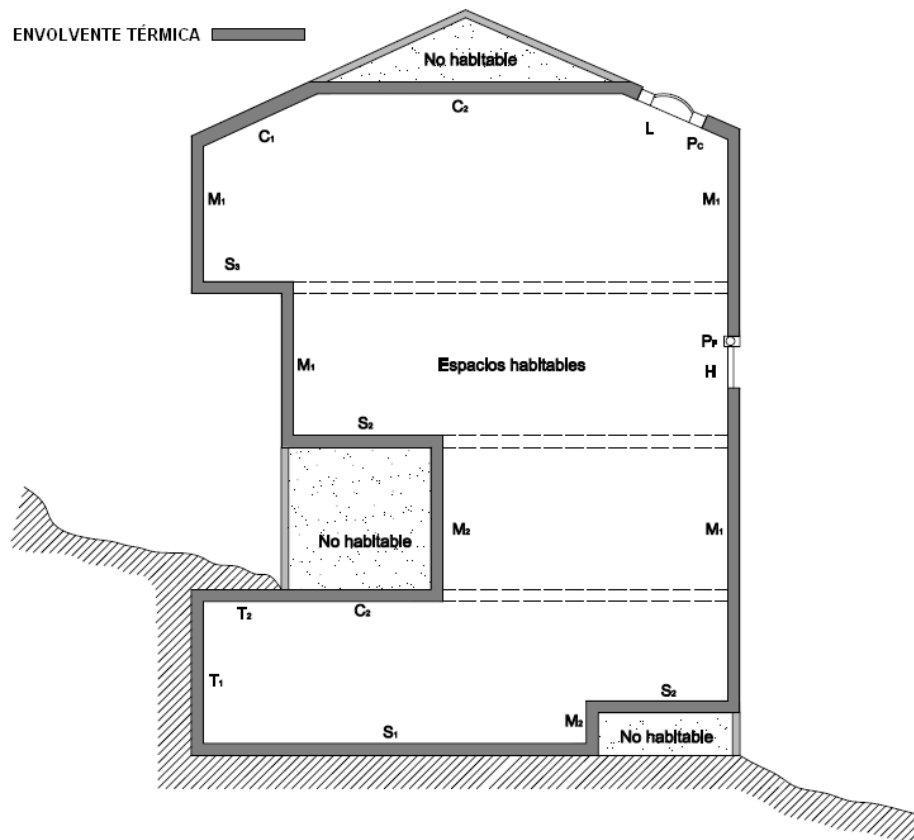


Ilustración 4: Envolvente térmica

## 2.6 Transmitancia térmica / Valor-U<sup>5</sup>

Es la medida del flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento. Es una característica de un elemento constructivo, como un muro o un techo, y depende de la conductividad térmica y la geometría de los materiales que lo componen, así como de la radiación térmica y convección en las superficies del elemento. Se utiliza para determinar la capacidad de aislamiento de un elemento formado por una o más capas de materiales que componen la envolvente térmica. Es el inverso a la resistencia térmica.

Su expresión matemática es:

$$U = \frac{1}{R_t}$$

---

<sup>5</sup> Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Transmitancia\\_t%C3%A9rmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Transmitancia_t%C3%A9rmica)



siendo:

$R_t$ : resistencia térmica total en  $(K \cdot m^2) / W$ .

La resistencia térmica total incluye todas las capas que forman parte del elemento constructivo, donde la expresión matemática de resistencia térmica para cada capa sería:

$$R_i = \frac{e_i}{\delta_t}$$

siendo:

$e_i$ : es el espesor de la capa  $i$  en metros (m)

$\delta_t$ : es la conductividad térmica del material de la capa  $i$  en  $W/(K \cdot m)$ .

## 2.7 Modelo paramétrico<sup>6</sup>

Se define como un grupo de ecuaciones matemáticas asociadas a un contexto específico, que está sujeto a variación de los valores asumidos en un grupo de coeficientes fijos (parámetros).

El modelado paramétrico permitirá que el diseño, acotado a la definición de sus parámetros, pueda variar dentro de un rango determinado y como resultado el modelo pueda tomar un umbral de posibles soluciones, que posteriormente serán utilizadas, para análisis o comparación.

## 2.8 Optimización multi-objetivo<sup>7</sup>

Es una herramienta que permite dar soluciones óptimas a un problema que no posee un único criterio medible por el cual pueda ser declarado como solución única y satisfactoria.

Resuelve el conflicto entre los diversos criterios que dan respuesta a un frente de soluciones pretendidas en conformidad a las preferencias del decisor, ya que no existe una única solución que satisfaga simultáneamente a todos los criterios.

---

<sup>6</sup> Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelos\\_param%C3%A9tricos\\_del\\_software](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelos_param%C3%A9tricos_del_software)

<sup>7</sup> Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Optimizaci%C3%B3n\\_multiobjetivo](https://es.wikipedia.org/wiki/Optimizaci%C3%B3n_multiobjetivo)

## **2.9 Archivo IDF / Archivo de Datos de Entrada (Input Data File)<sup>8</sup>**

Es un archivo de datos de entrada ASCII, el cual contiene datos que describen el modelado de una construcción y del sistema HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning, o Ventilación, calefacción y aire acondicionado) a simular.

## **2.10 Algoritmo genético<sup>9</sup>**

Es un conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permiten hacer cálculos para hallar soluciones a problemas inspirados en la evolución biológica y su base genético-molecular. Estos algoritmos tienen la capacidad generar acciones aleatorias semejantes a las que actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas), así como también hacer una selección a través de criterios para calificar las soluciones obtenidas.

## **2.11 Paquete de mejoramiento**

Un paquete de mejoramiento energético es un conjunto de alternativas clasificadas y ordenadas por algún criterio, por ejemplo, económico o de eficiencia, cuyo objetivo es entregar una mejora de eficiencia energética a una vivienda en estudio.

---

8

[https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v8.8.0/GettingStarted.pdf](https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.8.0/GettingStarted.pdf)

<sup>9</sup> Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo\\_gen%C3%A9tico](https://es.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_gen%C3%A9tico)

Fuente:

---

### 3 CAPÍTULO III – HERRAMIENTAS DE DESARROLLO PROTOTIPO.

---

#### 3.1 Herramientas de Simulación Energética

Son software de aplicación diseñados para el cálculo y análisis de comportamiento energético y sistemas internos de un edificio (*ventilación, calefacción y aire acondicionado*). Estas herramientas permiten cuantificar la construcción, en etapas tempranas al diseño, comparando alternativas y permitiendo hacer un balance de costos beneficios lo cual permite mejorar las condiciones de habitabilidad, con soluciones basadas en estudios.

##### 3.1.1 EnergyPlus (E+)

Energy Plus<sup>10</sup> es un programa de cálculo de balances térmicos desarrollado por el grupo de investigación en simulación del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, el Laboratorio de Sistemas de Construcción de la Universidad de Illinois, el Centro de Energía Solar de la Florida, el Laboratorio Nacional de Energía Renovable y otros, para el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Su motor de cálculo es una versión desarrollada a partir de las herramientas de simulación DOE-2 y BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics), también creadas para el departamento en la década del 70.



Ilustración 5: Logo EnergyPlus

Es utilizado preferentemente por ingenieros, arquitectos e investigadores, empleado para definir necesidades energéticas de un edificio, estudios de adaptación, optimización del rendimiento de las instalaciones y reacondicionamiento térmico.

---

<sup>10</sup> Motor de simulación energética EnergyPlus, disponible en: <https://www.energyplus.net/>.

La herramienta permite cálculos de calefacción, refrigeración, condiciones de un sistema HVAC y el consumo energético por cargas de enchufes, todo lo anterior en base al diseño de la edificación, que previamente es modelado por el usuario a través de herramientas BIM, concepto posteriormente descrito en el presente capítulo (ver sección 3.6).

A continuación, se describen algunas de las características de EnergyPlus (EnergyPlus, 2016) en la versión 8.6.0, la cual se utilizará para este proyecto.

- Solución integral para cada zona térmica donde coincidan tanto condiciones del área zonal como sistemas HVAC.
- Cálculo de balance térmico que combina efectos de radiación y convección, tanto en superficies de interior como exterior.
- Muestras temporales definidas por intervalos de tiempo establecidas por el usuario que permiten modelar la interacción entre zonas térmicas, temperatura ambiente y sistemas HVAC.
- Cálculo de transferencia de calor y masa a través de elementos de construcción tales como techos, paredes, pisos, etc., utilizando fórmulas de conducción.
- Cálculos de acristalamientos, incluye persianas controlables, balances térmicos capa por capa que permiten la asignación adecuada de la energía solar por los cristales de las ventanas.
- Control de iluminación natural, cálculos de iluminación interior, simulación y control de luminarias, para reporte de confort visual.
- HVAC basado en componentes que admite configuraciones estándar, sin necesidad de recompilar el código fuente del programa.
- Archivos codificados con sistema ASCII, que pueden ser de entrada como el fichero meteorológico o de salida que incluyen los reportes detallado de simulación, así como también informes definidos por el usuario con resolución de tiempo seleccionable anual o sub-hora.

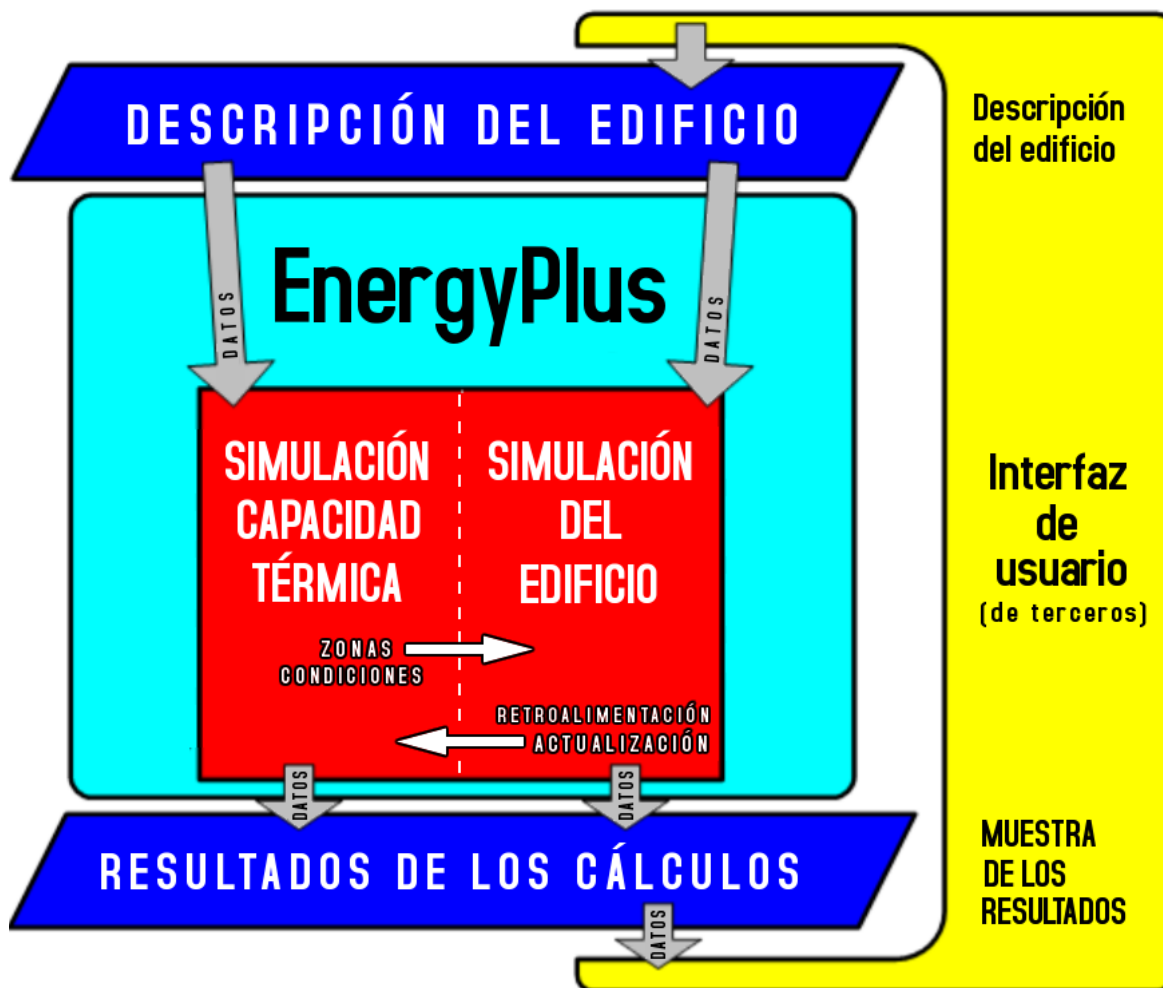


Ilustración 6: Estructura simplificada EnergyPlus – Fuente: Adaptado del documento “Getting Started” [17]

EnergyPlus no tiene interfaz de usuario, su objetivo es ser el motor de simulación en torno a interfaces de secundarias (de terceros). Las entradas y salidas son archivos de textos, enmarcado por un diccionario de datos (Archivo IDD). Los diseñadores de interfaces graficas crean herramientas de calidad para que interactúen con EnergyPlus según las preocupaciones

del mercado y las demandas. Las interfaces oficiales pueden observarse en la página principal de la herramienta. (<https://energyplus.net/extras>)

### 3.2 Archivo IDD

Es un archivo de texto plano codificado con el sistema ASCII, el cual define la sintaxis y el modelo de datos para un conjunto de objetos. La convención está definida principalmente por comentarios, los cuales representan una propiedad para cada nivel que posee el fichero IDD.

Posteriormente se describe la convención del diccionario de datos en sus distintos niveles como: Atributos, Objetos, Grupos de Objetos junto con tablas que especifican el Sistema Internacional de Unidades disponibles y algunas conversiones de estas al Sistema anglosajón de unidades o al Sistema Imperial.

- **Atributos**

<b>\field</b>	Nombre del campo (Debe ser breve y legible, espacios en blanco cuentan.)
<b>\note</b>	Nota Describe el atributo y los valores válidos.
<b>\required-field</b>	Marcador de atributo obligatorio, no se puede dejar vacío.
<b>\begin-extensible</b>	Marca el primer atributo en el que el objeto acepta un campo extensible.
<b>\units</b>	Unidades (deben ser de la lista de unidades estándar de EnergyPlus)
<b>\ip-units</b>	Unidades IP (conversor de medidas a sistema de unidad imperial)
<b>\unitsBasedOnField</b>	Indica que el atributo puede tener múltiples unidades.
<b>\minimum</b>	Valor mínimo que incluye al valor
<b>\minimum&gt;</b>	Valor mínimo que debe ser mayor al valor
<b>\maximum</b>	Valor máximo que incluye al valor
<b>\maximum&lt;</b>	Valor máximo que debe ser menor al valor
<b>\default</b>	Atributo predominado
<b>\deprecated</b>	Atributo no se usa, se elimina objeto.
<b>\autocalculatable</b>	Atributo con capacidad de autocalcular valor.

<b>\type</b>	Tipo de datos para el atributo: Entero (Integer), real (Real), alfanumérico (Varchar), lista de objetos (enlace a una lista de objetos definidos en otro lugar), lista externa (enlace a una fuente externa)
<b>\retaincase</b>	Conserva el caso alfabético para atributos de tipo alfanuméricos
<b>\key</b>	Valor posible para atributos con más de una opción. (espacios en blanco son significativos)
<b>\object-list</b>	Nombre de una lista con nombres de objetos proporcionados por el usuario que son entradas válidas para este atributo. (se utiliza con "\reference")
<b>\external-list</b>	Los valores de este atributo deben seleccionarse de una lista especial generada fuera del archivo IDD. Las opciones para las listas externas son: autoRDDvariable, autoRDDmeter, autoRDDvariableMeter
<b>\reference</b>	Nombre de una lista de nombres a los que pertenece este objeto que se utiliza con "\type object-list" y con "\object-list".
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Objetos</b></li> </ul>	
<b>\memo</b>	Memo que describe el objeto
<b>\unique-object</b>	Para marcar objetos que deben aparecer sólo una vez en un idf
<b>\required-object</b>	Para marcar objetos que se requieren en cada idf
<b>\min-fields</b>	Número mínimo de campos que deben incluirse en el objeto. Si procede, el procesador de entrada rellenará cualquier campo que falte con valores predeterminados (para campos numéricos).
<b>\obsolete</b>	Este objeto ha sido reemplazado, aunque se mantiene (y se lee) en la versión actual.
<b>\extensible:&lt;\#&gt;</b>	Este objeto es dinámicamente extensible, es decir, si cambia el IDD de manera apropiada (si el objeto tiene una estructura de lista simple), simplemente agregue elementos a los argumentos de lista (es decir, BRANCH LIST).
<b>\begin-extensible</b>	Ver el elemento anterior, marca el comienzo de los campos extensibles en un objeto.
<b>\format</b>	El objeto debe tener un formato especial cuando se guarda en el editor IDF con la opción de formato especial activada
<b>\reference-class-name</b>	Agrega el nombre de la clase a la lista de referencias

- **Grupos de Objetos**

**\group**                      Nombre para un grupo de objetos relacionados.

- **Sistema Internacional de Unidades**

Además de ofrecer las unidades Internacionales de medida, incluye una tabla de conversión a Unidades imperiales.

Ver Anexos (Sistema Internacional de Unidades)

A continuación, se presenta un ejemplo del desarrollo de un objeto en el diccionario de datos.

**\group Location and Climate #Creación de grupo**

**Site:Location, #Creación de objeto**

**\memo** La ubicación del archivo de datos meteorológicos, si existe, reemplazará a este objeto.

**\unique-object**

**\min-fields** 5

**A1, \field Name #Creación de atributo**

**\required-field**

**\type** alpha

**N1, \field Latitude**

**\units** deg

**\minimum** -90.0

**\maximum** +90.0

**\default** 0.0

**\note** + es Norte, - es Sur.

**\type** real

**N2, \field Longitude**

**\units** deg

**\minimum** -180.0

**\maximum** +180.0

**\default** 0.0

**\note** - es Oeste, + es Este.

**\type** real



### 3.3 Archivo IDF

Es un archivo de texto plano no estandarizado, codificado con el sistema ASCII, el cual contiene y describe el modelado de una construcción y el sistema HVAC (sistema de ventilación, calefacción y aire acondicionado), utilizado como entrada de datos por herramientas de simulación energéticas.

El archivo proviene principalmente de herramientas BIM<sup>11</sup>, las cuales generan y exportan un modelo de información que comprende la geometría de la edificación, las relaciones espaciales, información geográfica, así como también las cantidades y las propiedades de sus componentes (materiales).

La estructura del contenido se compone por una colección no-ordenada de clases, donde cada una ofrece la instancia para generar objetos con distintos estados o atributos.

#### 3.3.1 Sintaxis

Los tipos de datos permitidos por el IDF se encuentran establecido por convención del diccionario de datos, que establece:

Tipo de dato	Ejemplo
Entero (Integer):	'-4', '0', '1000'
Decimales (Float)	'15,5', '-2,9', '-4,0'
Alfanumérico (Varchar)	'718_GroundFloor_0_0_1', 'Outdoors', 'Roof'
Lista de objetos (enlace a una lista de objetos definidos en otro lugar del mismo archivo)	Objeto de construcción, enlazan al nombre de todos los objetos materiales disponibles.
Lista externa (enlace a una fuente externa, por ejemplo, archivo de clima)	'/usr/local/climas/Talcahuano.epw'

Tabla 1: Sintaxis - Tipo de datos permitidos por IDF

---

<sup>11</sup> BIM: Se traduce al español como Modelado de información de construcción, concepto que se verá con más detalle en la sección 3.6 del presente capítulo.

### 3.3.2 Ejemplo de archivo IDF abreviado:

A continuación, se muestra un ejemplo real abreviado de un archivo con extensión .idf

```

Site:Location,
    Talcahuano,                !- Name
    -36.77,                    !- Latitude {deg}
    -73.07,                    !- Longitude {deg}
    -4,                        !- Time Zone {hr}
    16;                        !- Elevation {m}

Material,
    1_1_37,                    !- Name
    Rough,                    !- Roughness
    .1327,                    !- Thickness {m}
    0.04,                     !- Conductivity {W/m-K}
    10,                       !- Density {kg/m3}
    1400,                     !- Specific Heat {J/kg-K}
    0.9,                      !- Thermal Absorptance
    0.6,                      !- Solar Absorptance
    0.6;                      !- Visible Absorptance

Construction,
    1,                        !- Name
    1_1_37,                   !- Outside Layer
    1_2_9,                    !- Layer 2
    1_3_29,                   !- Layer 3
    1_4_34;                   !- Layer 4
    
```

El ejemplo anterior contiene tres objetos: *Site:Location*, *Material*, *Construction*, los cuales están definidos por la caracterización de sus atributos.

A continuación describiremos detalladamente el objeto: 'Site:Location', a modo de ejemplo.

Site:Location,	
Talcahuano,	!- Name
-36.77,	!- Latitude {deg}
-73.07,	!- Longitude {deg}
-4,	!- Time Zone {hr}
16;	!- Elevation {m}

Nombre del objeto: **Site:Location**, este contiene 5 atributos de la forma <clave>:<valor>.

N° Atributo	Unidad	Clave	Valor
Atributo 0		Name	Talcahuano
Atributo 1	deg (grados)	Latitude	- 36.77
Atributo 2	deg (grados)	Longitude	- 73.07
Atributo 3	hr (UTC)	Time Zone	- 4
Atributo 4	m (metros)	Elevation	16

**Tabla 2: Descripción de objeto ejemplo 'Site:Location'**

### 3.4 Archivo EPW

El archivo meteorológico de EnergyPlus es un archivo de texto plano codificado con el sistema ASCII que contiene datos climatológicos delimitado por comas, siendo necesario para la simulación de una edificación.

Su estructura está sujeta a la convención del diccionario de datos (Sección 3.2) compuesta por objetos los cuales describiremos a continuación:

- Localización: Este objeto representa la cabecera del archivo y contiene la información de geolocalización de archivo climatológico.
- Condiciones de diseño: Describe la cantidad de condiciones por las que se puede regir el archivo en base a estándares del centro de datos climáticos de la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado<sup>12</sup>.
- Periodos normales / Periodos extremos: Describe en formato de fecha el comienzo del verano y del invierno.
- Temperaturas del suelo: Describe la temperatura del suelo para los meses de enero a mayo.
- Vacaciones / Periodo de ahorro: Describe la cantidad de días festivos y periodos de ahorro (vacaciones).
- Datos Diarios: Describe datos generales de ocupación como fecha, hora, temperatura, humedad, radiación, durante un periodo de tiempo.

---

<sup>12</sup> ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Para detalles sobre el centro de datos climáticos visitar el sitio Web: <https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/climate-data-center>.

### 3.5 Python

Lenguaje de programación interpretado cuya filosofía apunta a una sintaxis que favorezca un código legible. Es multiparadigma, ya que soporta programación orientada a objetos, programación imperativa y en menor medida programación funcional. Es un lenguaje interpretado, usa tipado dinámico y es multiplataforma.

Es administrado por la Python Software Foundation (<https://www.python.org/psf/>). Posee una licencia de código abierto, denominada Python Software Foundation License, que es compatible con la Licencia pública general de GNU a partir de la versión 2.1.1.



Ilustración 7: Logo Python

#### 3.5.1 Eppy – Modificación Archivo IDF

Eppy (Philip, 2015), es una librería que permite gestionar archivos de entrada EnergyPlus con extensión idf y lectura para archivos EnergyPlus de salida. Eppy, está escrito en el lenguaje de programación Python.

La librería aprovecha todas las virtudes de Python en cuanto a elementos del lenguaje y estructuras, lo que permite:

- Realizar un gran número de cambios en un archivo idf con unas pocas líneas de código en un script.
- Utilizar condiciones y bucles para generar cambios en un archivo idf.
- Realizar cambios a múltiples archivos idf en un script.
- Leer datos de los archivos de salida de una ejecución de simulación en EnergyPlus.
- Generar nuevos archivos idf, basándose en los resultados de una ejecución de simulación en EnergyPlus.

### Ejemplo simple - Script Eppy

Para empezar a trabajar con la librería se declara al inicio de cada script lo siguiente:

- **from eppy import modeleditor**  
importa desde la librería eppy la clase modeleditor, que implementa funciones para modificar el modelo de datos proveniente del archivo IDD de EnergyPlus.
- **from eppy.modeleditor import IDF**  
importa desde clase modeleditor la clase IDF.
- **path\_eppy = '/usr/lib/python3.5/site-packages/eppy/'**  
se asigna a una variable la ruta de la librería instalada en el servidor.
- **iddfile = '/usr/local/EnergyPlus-8-6-0/Energy+.idd'**  
se asigna a una variable la ruta del diccionario de datos de EnergyPlus instalada en el servidor.
- **pathfileidf = '/usr/filesIDF/caso\_base.idf'**  
se asigna a una variable la ruta de un archivo idf, para posteriormente pasar como argumento e instanciar la clase IDF.

Como ejemplo simple, se presenta un pequeño script que aumenta el espesor de todos los materiales del archivo idf en 10 milímetros (0,01 metros).

```
archivo_idf = IDF(pathfileidf)
all_material = archivo_idf.idfobjects['MATERIAL']
AUMENTO = 0,01
for material in all_material:
    espesor_material = float(material.Thickness)
    material.Thickness = AUMENTO + espesor_material
archivo_idf.saveas(nuevoNombreDelArchivo)
```

La primera línea asigna un modelo de entrada EnergyPlus (archivo idf) a una variable, la segunda línea extrae una lista de todos los objetos de la clase 'MATERIAL' perteneciente modelo asignado anteriormente. En la tercera línea se asigna una constante (0,01) que se adicionará al espesor de los materiales. En la cuarta línea se empieza con un ciclo for que extrae cada objeto de la lista asignada en la línea dos. En la quinta línea para cada material extraído se accede al atributo espesor (Thickness) del objeto, el cual es asignado a una variable y en la sexta línea se aplica el aumento por la constante (0,01) al espesor que ya tiene definición. La última línea muestra que el archivo se guarda con un nuevo nombre.

En el ejemplo anterior se puede comprobar la capacidad de manipular un archivo idf, permitiendo acceder a objetos del modelo y a la modificación de sus atributos. La librería al estar escrita en el lenguaje de programación Python se enmarca en la Filosofía de Python (Peters, 2004) que sigue los principios de legibilidad y transparencia en el código, lo que convierte a Eppy en una herramienta eficaz y eficiente en la gestión de archivos de simulación (Philip, 2015).

### 3.6 Concepto BIM

El modelado de información de construcción<sup>13</sup> se define como el proceso de generar y gestionar datos e información durante las distintas etapas del ciclo de vida de un edificio, tales como el análisis y diseño, construcción, operación y mantenimiento.

El concepto BIM integra y coordina el trabajo de las diferentes disciplinas que involucra una edificación como son las áreas de ingeniería, arquitectura y construcción, permitiendo a todos los usuarios integrar y reutilizar la información de la misma manera, contribuyendo eficientemente al trabajo en equipo.

Para generar modelos BIM se utiliza software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, lo que genera elementos virtuales equivalentes a los elementos constructivos, que permite simular el edificio y entender el funcionamiento en un entorno computarizado antes que se inicie su construcción real. En el proceso de modelar la información de un edificio concierne la geometría del edificio, la relación con el espacio, la información geográfica, junto a las cantidades y propiedades de sus componentes.

#### 3.6.1 Etapas y áreas comprendidas

Toda la información y las áreas involucradas del proyecto están incluidas en un modelo único tridimensional, que además comprende los materiales de construcción, asociado a sus características físicas y funcionales, como el peso, la resistencia térmica, conductividad, entre otras. Los elementos constructivos pueden ser visualizados, permitiendo el cálculo y la definición de especificaciones según las áreas. Algunos ejemplos de áreas y tareas que cubre este modelo son:

- **Arquitectura:** Plantas de distribución, cortes, planta de localización con terreno, vistas volumétricas, cuadros de puertas y ventanas, cuadro de acabados.
- **Diseño interior:** Carpinterías, cielorrasos, vistas de presentación con materiales, etc.
- **Estructuras:** Plantas de fundaciones, plantas de columnas, plantas de estructura de las losas, estructura de cubierta y elevaciones de cada eje.

---

13

[https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado\\_de\\_informaci%C3%B3n\\_de\\_construcci%C3%B3n#Definici%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelado_de_informaci%C3%B3n_de_construcci%C3%B3n#Definici%C3%B3n)

Fuente:



- **Ingeniería mecánica:** Diseño de aire acondicionado, cuadros de volúmenes de aire y circulación mecánica.
- **Ingeniería eléctrica:** Planta de luminarias, planta cableado de energía y cuadro de cargas.
- **Ingeniería sanitaria:** Planta de red de agua fría, alcantarillado y distribución de gas.
- **Construcción:** Programación de fases de construcción, actualización del modelo según lo construido y coordinación técnica.
- **Instalaciones de seguridad:** Protección al fuego, sistemas de detección, sistemas de extinción y evacuación.

### 3.6.2 Ventajas del BIM

- **Evaluación temprana de conflictos:** Al estudiar la información desde el comienzo del proyecto se puede detectar posibles conflictos en las distintas etapas del proceso.
- **Evita retrasos y costos adicionales:** Al visualizar los procesos con antelación se prevé problemas sin mayores costos ni retrasos inesperados.
- **Aumenta y optimiza el tiempo:** En proyectos integrados aporta información para la administración, clarificando las tareas pendientes en cada etapa.
- **Permite visualizar cambios simultáneos:** Se puede estimar las repercusiones de cada solución en las distintas áreas, sin improvisar nuevos modelos.
- **Mejora la organización y el seguimiento:** Permite proyectar el calendario del proyecto y realizar un seguimiento durante la construcción.
- **Facilita la estimación de recursos:** Es más fácil desarrollar el presupuesto y control de obra cuando toda la información está en sobre la mesa y es fácil de revisar.
- **Permite evaluar la sustentabilidad de la obra:** Facilita el cálculo de la eficiencia energética del edificio y sus instalaciones.

### 3.6.3 DesignBuilder

DesignBuilder<sup>14</sup> es software de tipo comercial, cuya primera versión fue lanzada el año 2005, desarrollado como la primera interfaz gráfica “amigable” de usuario, para el motor de simulación EnergyPlus. Ofrece un entorno de modelado integral, basado en los requerimientos del programa motor que permite trabajar en la construcción de modelos virtuales, proporcionando una variedad de datos de rendimiento ambientales tales como: el consumo de energía, las emisiones de carbono, las condiciones de confort, iluminación, las temperaturas máximas de verano y tamaños de componentes de HVAC.



Ilustración 8: Logo DesignBuilder

#### Características del uso:

- Comparar múltiples alternativas de diseño fácilmente.
- Optimizar el diseño en cualquier etapa, considerando múltiples objetivos, restricciones y variables de diseño.
- Modelar rápidamente incluso edificios con geometrías muy complejas.
- Importar modelos BIM y planimetría CAD.
- Visualización de diseños por zonas.
- Cálculo de calefacción y refrigeración.
- Simulación detallada, diseño de HVAC y sistemas de ventilación natural.
- Análisis económico basado en los costos de construcción, costos de servicios públicos y los costos del ciclo de vida.
- Modelos con estándar de energía ASHRAE 90.1 y LEED.

---

<sup>14</sup> Herramienta de modelado avanzado DesignBuilder, disponible en <https://www.designbuilder.co.uk/>

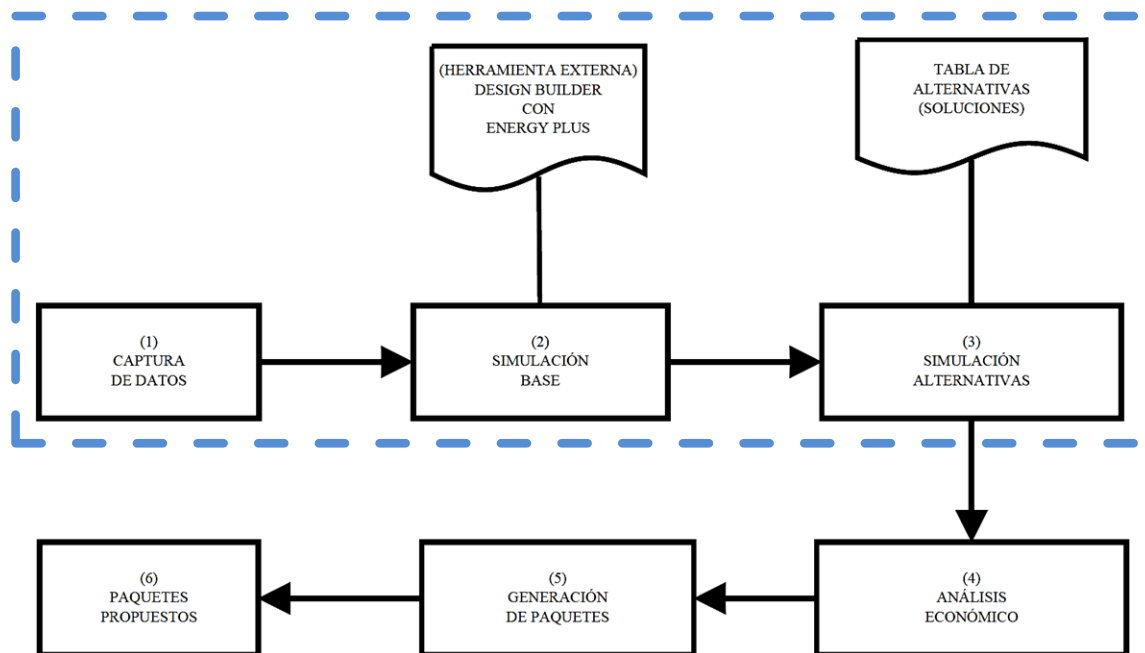
Una vez desarrollado un modelo BIM, DesignBuilder dispone la opción de exportar el modelo un archivo extensión IDF, el cual es el formato de entrada para la herramienta EnergyPlus, permitiendo trabajar directamente con el software de simulación.

La siguiente lista muestra los requerimientos mínimos de hardware para ejecutar DesignBuilder, incluyendo entre paréntesis las características recomendadas para desarrollar modelos y simulaciones profesionales.

- Procesador i5 (se recomienda i7 o Xenon con 4 núcleos o más).
- 4 GB de memoria RAM (se recomienda 16 GB si se requiere hacer simulaciones muy intensivas).
- 200 MB de espacio libre en disco (se recomienda 5 GB o más).
- Pantalla de 800 x 600 pixeles (se recomienda una pantalla de 17" con 1280 x 1024 pixeles, o superior).
- Dispositivo de señalamiento (mouse) con rueda central.
- Tarjeta gráfica 100 % compatible con OpenGL, con hardware de aceleración 3D en modo color de 32-bit (se recomienda especialmente las tarjetas gráficas NVIDIA).

**4 CAPÍTULO IV - DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS EN PROTOTIPO SOFTWARE, ENMARCADO EN CASO DE ESTUDIO.**

En este capítulo se describe el desarrollo e implementación de algoritmos para los módulos de modelación paramétrica y visualización de resultados. Enmarcado en la metodología del artículo de García et al (2014), se aplica un caso de estudio propuesto por el interlocutor y uno de los autores del artículo de investigación el Dr. Rodrigo García. (Ver Anexo: Caso de estudio), el cual comprende 3 etapas. En la siguiente Ilustración se detalla la metodología y destaca las etapas comprendidas en el software prototipo.



**Ilustración 9: Alcance de la metodología como prototipo**

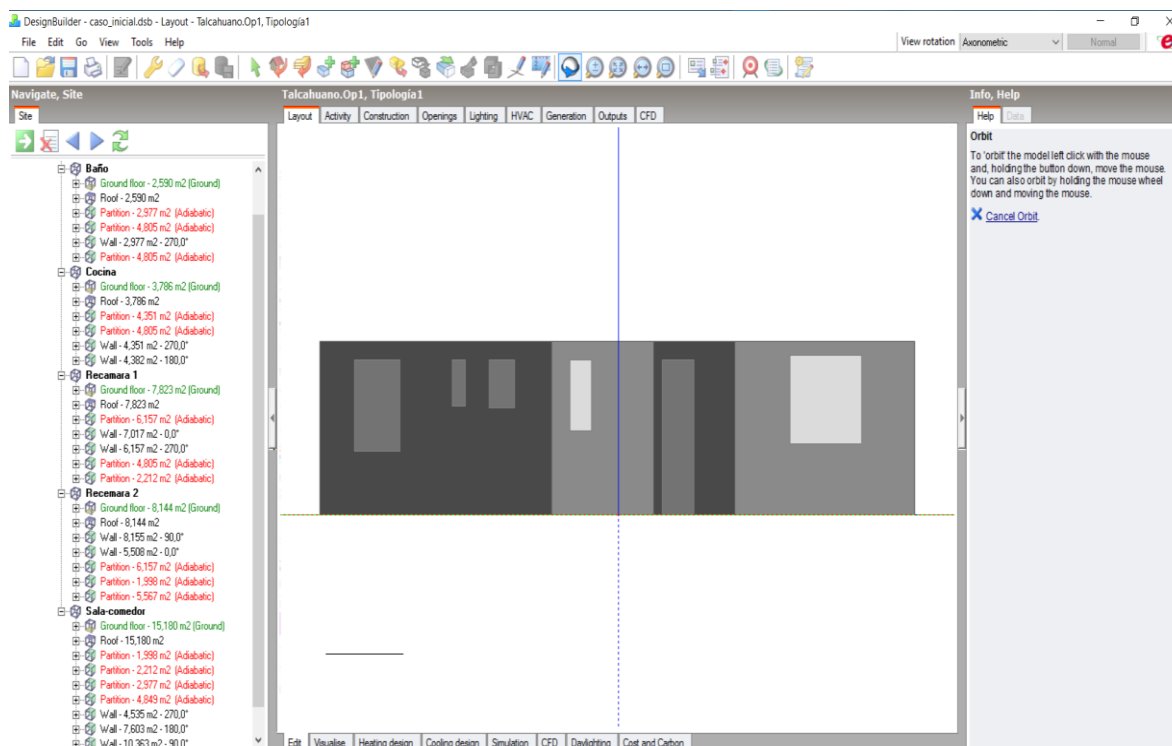
## 4.1 Captura de datos

Esta actividad consiste en reunir información indispensable sobre la construcción del edificio, lo que posteriormente permitirá modelar y exportar a un archivo de simulación.

La información que se debe obtener consiste principalmente en características de la envolvente térmica, como son los materiales de construcción en conjunto con sus propiedades tales como espesor y la conductividad, condiciones de suelo y cielo, patrones de ocupación basadas en tiempo de las zonas del edificio, cantidades, tamaños y tipos de aberturas (puertas y ventanas).

### Desarrollo en el proyecto

En esta etapa se utiliza la información propuesta en el caso de estudio (Ver Anexo: Caso de estudio) y posteriormente es modelada por el arquitecto Alberto Nope, quien diseña un modelo BIM en DesignBuilder de la situación actual de la edificación denominada como “caso base”.



**Ilustración 10: Modelo BIM en DesignBuilder - Caso Base**

#### 4.1.1 DesignBuilder con EnergyPlus

Una vez terminado el modelo, se prosigue con la exportación de éste a un archivo de entrada de simulación o archivo IDF, el que permitirá realizar la simulación energética de la edificación a través del software EnergyPlus.

#### 4.2 Simulación base

Esta etapa permite obtener la demanda energética del modelo mediante el cálculo y análisis térmico integrado en la simulación. Para realizar la simulación se consideran dos archivos de entrada, en primer lugar, se establece el archivo con extensión idf que comprende toda la información del modelado de la edificación y en segundo lugar el archivo climatológico<sup>15</sup> con extensión epw, el cual contiene información atmosférica que incluye las temperaturas de todo el año, coordenadas geográficas en grados, zona horaria y elevación con respecto a nivel del mar.

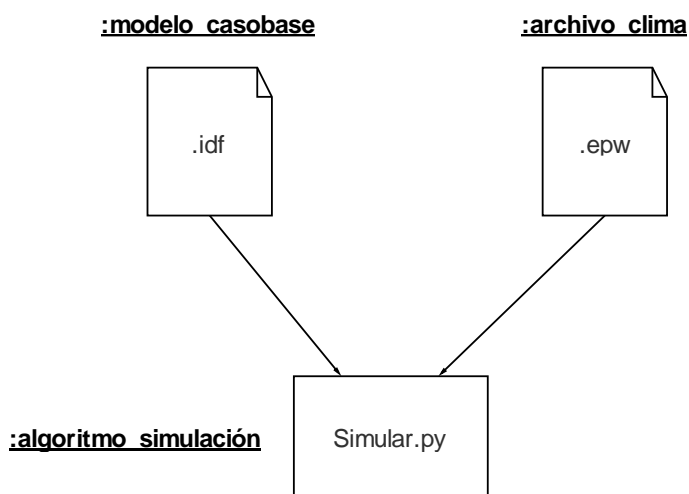


Ilustración 11: Diagrama de simulación base

---

<sup>15</sup> EPW: archivo climatológico de EnergyPlus, concepto descrito en capítulo tres, sección 3.4.

## Desarrollo en el proyecto

En esta actividad se empieza hacer uso del recurso de programación incluyendo la librería Eppy para el manejo de archivos IDF en Python. En la siguiente ilustración se describe la conexión de Python con la herramienta de simulación EnergyPlus.

Para ejecutar la herramienta de simulación desde Python, se debe importar las siguientes librerías: `os`<sup>16</sup> y `eppy`<sup>17</sup>.

El código para simular un archivo idf con el lenguaje de programación Python, es el siguiente:

```
Popen(['/usr/local/EnergyPlus-8-6-0/runenergyplus', ruta_archivo_idf,
ruta_archivo_clima, '-d', nuevo_directorio, '-p', prefijo_archivos])
```

### Ilustración 12: Algoritmo Simulación Base

Descripción del código:

El código está compuesto por una función de nombre `Popen` desde la librería `os`, que recibe 7 argumentos, los cuales permiten a Python generar un subproceso (invocar una aplicación dentro del sistema operativo) y ejecutar la herramienta de simulación.

La descripción de los argumentos se detalla a continuación.

- 1- **'/usr/local/EnergyPlus-8-6-0/runenergyplus'**: Ruta de la herramienta de simulación EnergyPlus en el sistema operativo del servidor.
- 2- **'ruta\_archivo\_idf'**: Ruta del archivo idf en el sistema operativo del servidor.
- 3- **'ruta\_archivo\_clima'**: Ruta del archivo climático (.epw) en el sistema operativo del servidor.
- 4- **'-d'**: Argumento que establece un directorio predefinido para los archivos de salida de simulación.
- 5- **'nuevo\_directorio'**: Ruta de directorio para archivos salida de simulación en el sistema operativo del servidor.

---

<sup>16</sup> Librería `os`, permite acceder a funcionalidades dependientes del Sistema Operativo en lenguaje de programación Python.

<sup>17</sup> Librería para el manejo de archivos IDF, concepto descrito en capítulo tres, sección 3.5.1

6- '-p': Argumento que establece un nombre o prefijo predefinido para los archivos de salida de simulación.

7- 'prefijo\_archivos': Etiqueta que servirá para nombrar los archivos de simulación.

Al finalizar la ejecución del algoritmo, se generan archivos que reportan resultados de la simulación. Los archivos tienen por nombre la etiqueta que se asigna en la ejecución del algoritmo, junto al nombre se agrega una extensión que calificará el tipo de resultado.

A continuación, se describen los tipos de archivos de salida.

<b>Nombre archivo de salida</b>	<b>Descripción</b>
< nombearchivoidf >.audit	Reporta información general de la simulación del modelo con el diccionario de datos (idd)
< nombearchivoidf >.bnd	Este archivo contiene las conexiones de nodos y ramas. Utilizado para generar diagrama de red del sistema HVAC.
< nombearchivoidf >.dbg	Archivo de depuración. Sirve para rastrear problemas en la simulación.
< nombearchivoidf >.dxf	Archivo con formato de intercambio de dibujo, permite la interoperabilidad de la figura del modelo representado en coordenadas.
< nombearchivoidf >.eio	Archivo de información no clasificada para otros informes. Reporte con información adicional.
< nombearchivoidf >.err	Este archivo contiene todas las advertencias y errores, que se produzcan durante la ejecución se mostrarán en este archivo.
< nombearchivoidf >.eso	Este archivo incluye todas las variables de salida.
< nombearchivoidf >.mdd	Este archivo contiene una lista con las unidades que sean calculadas con un medidor
< nombearchivoidf >.mtd	Este archivo contiene el detalle de los objetos que relacionados con un medidor.
< nombearchivoidf >.mtr	Este archivo incluye todas las variables aplicables a un medidor.
< nombearchivoidf >.rdd	Este archivo contiene todas las variables que son de salida para la simulación.
< nombearchivoidf >.shd	Este archivo contiene las combinaciones de sombreado de la superficie.
< nombearchivoidf >.sql	Archivo que contiene datos de los informes. eso y .mtr, con formato SQLite (para ver con herramientas SQLite).
< nombearchivoidf >tbl.html	Este archivo contiene información acerca la demanda energética, puede ser abierto en cualquier navegador.



< nombreadchivoidf > .svg	Este archivo contiene un diagrama del sistema HVAC.
< nombreadchivoidf > .csv	Este archivo contiene información acerca la demanda energética, puede ser abierto con Excel.

**Tabla 3: Archivos de salida de simulación**

De los archivos resultados en la simulación, el artefacto de salida con extensión HTML contiene todas las demandas energéticas del modelo simulado, en un formato ordenado con tablas sencillo de leer. Se adjunta una ilustración de una parte del archivo abierto por un navegador web.

En la primera tabla se describe el consumo total de energía y el consumo neto de energía por área de construcción.

La segunda tabla contiene la demanda máxima por uso final de los componentes de la edificación por cada fuente de energía.

Program Version: EnergyPlus, Version 8.6.0-198c6a3cff, YMD=2017.05.23 15:15

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: TALCAHUANO.OP1 (01-01:31-12) \*\* ANTOFAGASTA - CHL IWEC Data WMO#=854420

Simulation Timestamp: 2017-05-23 15:15:31

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2017-05-23 15:15:31

Values gathered over 8760.00 hours

**Site and Source Energy**

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m2]
Total Site Energy	5580.55	148.72	148.72
Net Site Energy	5580.55	148.72	148.72
Total Source Energy	14118.39	376.25	376.25
Net Source Energy	14118.39	376.25	376.25

**End Uses**

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	184.40	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	1779.15	0.00	0.00
Interior Lighting	2019.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	1331.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	266.31	4.17
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	3350.69	0.00	0.00	1779.15	450.71	4.17

**Ilustración 13: Archivo de salida de simulación .html - Consumo energético final**

El siguiente algoritmo permite leer y extraer valores de demandas energéticas en el archivo de simulación con extensión HTML, para finalmente generar un nuevo archivo HTML personalizado con valores de interés para el interlocutor del proyecto.

El algoritmo debe contar con la ruta de la carpeta resultante de la simulación para identificar el archivo HTML para su lectura.

El algoritmo permite establecer los valores que se desean extraer, para ello se debe describir la posición de las tablas y valores que se van almacenar, ya que Python interpreta al reporte de simulación como una matriz, donde cada tabla y valore son representados por un índice o la posición. Una vez identificado los valores se procede a generar un nuevo reporte de simulación con los valores capturados.

```
# lista de consumos energéticos a leer.
consumos = ['Total Energy (kWh) / Total Site Energy',
            'Total Energy (kWh) / Total Source Energy',
            'District Heating [W]/Heating',
            'District Cooling [W]/Cooling',
            'Facility [Hours]/Time Setpoint Not Met During Occupied Heating',
            'District Heating Intensity [kWh/m2]/HVAC',
            ]
# almacena valores de consumos
valores = []
directorio_simulacion <- "directoriodearchivosdesimulacion"
si (archivo_simulacion) existe en directorio_simulacion entonces
  para cada consumo en consumos hacer
    # lee cada valor de consumo en el archivo de simulación
    valor <- archivo_simulacion.leer(consumo)

    # guarda el valor de consumo
    valores.añadir(valor)
  fin para
si no
  volver_a_simular
fin si
# crea un archivo HTML con todos los valores leídos desde el archivo de
# simulación
crear_archivo_html(consumos, valores)
```

**Ilustración 14: Algoritmo lectura de consumos energéticos en simulaciones.**

A continuación, se describe el archivo reporte de valores demanda energética, extraídos por el algoritmo anterior.

ID Simulación	Total Energy [kWh]/Total Site Energy	Total Energy [kWh]/Total Source Energy	District Heating [W]/Heating	District Cooling [W]/Cooling	Facility [Hours]/Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	District Heating Intensity [kWh/m2]/HVAC
1	9619.04	32523.32	5524.05	1638.47	9.5	154.38

**Ilustración 15: Archivo resultado de algoritmo de lectura de reporte de simulación.**

### 4.3 Simulación de alternativas.

Esta etapa se enmarca en la descripción del caso de estudio<sup>18</sup> ejecutado por el Arquitecto Alberto Nope, quien diseño y modelo el caso propuesto por el interlocutor Dr. Rodrigo García.

El caso de estudio contempla la tipología de una vivienda de Concepción Metropolitano denominada “caso base” y un presupuesto con una serie de mejoras constructivas, denominadas “alternativas”. Para éste caso, se establecieron cinco mejoras, las cuales aplicadas de forma independiente sobre el caso base se convierten en una alternativa. Las alternativas de mejoras constructivas tienen la capacidad de ser combinadas entre si con respecto al caso base, si se llegarán a combinar las cinco propuestas para este proyecto, el resultado final se denominaría, “caso mejorado”.<sup>19</sup>

En esta sección se generan nuevos modelos que provienen de modificaciones paramétricas al “caso base”, aplicando una o más de las mejoras establecidas en el caso de estudio, con el fin de reducir la demanda energética.

El principal parámetro para modificar es el espesor o en su traducción al inglés “thickness” como se puede encontrar en los modelos de simulación. Este atributo es propio de los materiales de construcción y es parte del cálculo de transmitancia térmica, que se utiliza para determinar la capacidad de aislamiento de un elemento formado por una o más capas de materiales que componen la envolvente térmica (ver ilustración 5). Una mayor capacidad de aislación disminuye la demanda energética y con ello el consumo energético.

<sup>18</sup> Descripción del caso de estudio en Anexo: Caso de Estudio.

<sup>19</sup> Descripción grafica de modelos en el presupuesto en caso de estudio, descrito en la sección 4.3.1.

## Desarrollo en el proyecto

El desarrollo de esta etapa consiste en combinar las distintas alternativas<sup>20</sup> del presupuesto con respecto al caso base, la combinación consiste en agregar y/o modificar objetos materiales del modelo “caso base”. Para el comienzo de esta etapa se solicita al Arquitecto Alberto Nope, el desarrollo en DesignBuilder de 6 modelos distintos que representen las alternativas por separadas del presupuesto en función al caso base. Estos permitirán ser exportados como archivo idf y posteriormente utilizados por el siguiente algoritmo.

Se debe establecer la ruta de todos los casos. Para la combinación de alternativas, los casos a combinar se deben instanciar como un objeto IDF<sup>21</sup>, una vez instanciados, estos tendrán propiedades que permitirán comparar sus objetos y sus atributos. El algoritmo para generar la combinación llama a una función que retorna las diferencias, para cada archivo. Las diferencias se almacenan en un diccionario de llave (nombre de alternativa) : valor(diccionario de diferencias).

Una vez generado el diccionario de diferencias para la alternativa se genera un nuevo archivo IDF, llamado ‘hibrido’ que será copia del caso base original y permitirá recibir todos los objetos distintos del diccionario. Una vez establecido los nuevos valores del diccionario, se procede a guardar la combinación en una nueva carpeta con la etiqueta de la combinación.

```

caso_base = instanciaClaseIdf(ruta_caso_base)

para cada archivo_idf en directorio_de_alternativaidfs hacer
  alternativa <- instanciaClaseIdf(ruta_archivo_idf)
  diferencia <- verDiferencias(caso_base, alternativa)
  diccionario_de_diferencias[nombre_archivo_idf] <- diferencia
fin para

para cada archivo_idf en directorio_de_alternativaidfs hacer
  hibrido <- combinarAlternativas(diccionario_de_diferencias, archivo_idf, caso_base)
  nuevo_archivo <- instanciaClaseIdf(ruta_archivo_hibrido)
  nuevo_archivo.guardar()
fin para

nueva_carpeta <- “nombrecarpetasimulacion”

si (nueva_carpeta) no existe entonces
  crear_una_nueva_carpeta
fin si

```

**Ilustración 16: Algoritmo combinación de alternativas y simulación**

<sup>20</sup> Las alternativas son los ítems del presupuesto, descrito en el Anexo: Caso de estudio.

<sup>21</sup> Clase definida en la librería eppy, descrita en el capítulo tres, sección 3.5.1

### 4.3.1 Descripción grafica de modelos en el presupuesto en caso de estudio

A continuación, se describe gráficamente los objetos constructivos para cada alternativa en el caso de estudio, incluyendo el caso base y el caso mejorado.

#### Descripción grafica caso base

	<p><b>Muro interior   3 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona seca   3 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 100 mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona húmeda   3 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 100 mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> </ul>
	<p><b>Cubierta inclinada   2 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25mm Zinc</li> <li>• 10mm Felt3/8in (HF-E3)</li> </ul>
	<p><b>Piso en contacto con terreno   4 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30mm Timber Flooring</li> <li>• 70 mm Floor/Roof Screed</li> <li>• 100mm Cast Concrete</li> <li>• 132,70mm Urea Formaldehyde Foam</li> </ul>

**Ilustración 17: Descripción grafica caso base**

## Descripción grafica alternativa 1

	<p><b>Muro interior   3 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona seca   3 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 100 mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona húmeda   3 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 100 mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> </ul>
	<p><b>Cubierta inclinada   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25mm Zinc</li> <li>• 10mm Felt3/8in (HF-E3)</li> <li>• 100mm Air gap 300mm</li> <li>• 100mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 9mm Wood, 13mm, 1in (HF-B7)</li> </ul>
	<p><b>Piso en contacto con terreno   4 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30mm Timber Flooring</li> <li>• 70 mm Floor/Roof Screed</li> <li>• 100mm Cast Concrete</li> <li>• 132,70mm Urea Formaldehyde Foam</li> </ul>

**Ilustración 18: Descripción grafica alternativa 1**





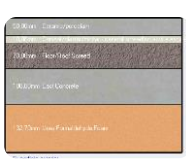
## Descripción grafica alternativa 2

	<p><b>Muro interior   4 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona seca   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 200mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 100mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona húmeda   4 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 100mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 10mm Ceramic/porcelain</li> </ul>
	<p><b>Cubierta inclinada   2 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25mm Zinc</li> <li>• 10mm Felt3/8in (HF-E3)</li> </ul>
	<p><b>Piso en contacto con terreno   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50mm Ceramic/porcelain</li> <li>• 10mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 70 mm Floor/Roof Screed</li> <li>• 100mm Cast Concrete</li> <li>• 132,70mm Urea Formaldehyde Foam</li> </ul>

**Ilustración 19: Descripción grafica alternativa 2**



### Descripción grafica alternativa 3

	<p><b>Muro interior   3 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 30 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona seca   4 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 21mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 100 mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona húmeda   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 500mm Air gap 400mm</li> <li>• 16mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 10mm Ceramic/porcelain</li> </ul>
	<p><b>Cubierta inclinada   2 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25mm Zinc</li> <li>• 10mm Felt3/8in (HF-E3)</li> </ul>
	<p><b>Piso en contacto con terreno   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50mm Ceramic/porcelain</li> <li>• 10 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 70 mm Floor/Roof Screed</li> <li>• 100mm Cast Concrete</li> <li>• 132,70mm Urea Formaldehyde Foam</li> </ul>

**Ilustración 20: Descripción grafica alternativa 3**

## Descripción grafica alternativa 4

	<p>Muro interior   3 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p>Muro interior zona seca   3 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p>Muro interior zona húmeda   4 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 10 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 15mm Ceramic/porcelain</li> </ul>
	<p>Cubierta inclinada   2 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25mm Zinc</li> <li>• 10mm Felt3/8in (HF-E3)</li> </ul>
	<p>Piso en contacto con terreno   5 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50mm Ceramic/porcelain</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 70 mm Floor/Roof Screed</li> <li>• 100mm Cast Concrete</li> <li>• 132,70mm Urea Formaldehyde Foam</li> </ul>

Ilustración 21: Descripción grafica alternativa 4

## Descripción grafica alternativa 5

	<p>Muro interior   3 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p>Muro interior zona seca   3 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p>Muro interior zona húmeda   4 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150 mm de Brick</li> <li>• 10 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 15mm Ceramic/porcelain</li> </ul>
	<p>Cubierta inclinada   2 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25mm Zinc</li> <li>• 10mm Felt3/8in (HF-E3)</li> </ul>
	<p>Piso en contacto con terreno   4 capas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50mm Ceramic/porcelain</li> <li>• 10 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 70 mm Floor/Roof Screed</li> <li>• 100mm Cast Concrete</li> <li>• 132,70mm Urea Formaldehyde Foam</li> </ul>

Ilustración 22: Descripción grafica alternativa 5

## Descripción caso mejorado

	<p><b>Muro interior   4 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 15mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 150mm de Brick</li> <li>• 15 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona seca   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 200mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 100mm Air gap 10 mm</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> </ul>
	<p><b>Muro interior zona húmeda   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 500mm Air gap 400 mm</li> <li>• 16mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 15mm Gypsum Plasterboard</li> <li>• 10mm Ceramic/porcelain</li> </ul>
	<p><b>Cubierta inclinada   5 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25mm Zinc</li> <li>• 10mm Felt3/8in (HF-E3)</li> <li>• 100mm Air gap 300mm</li> <li>• 100mm EPS Expanded Polystyrene (Standard)</li> <li>• 9mm Wood, 13mm, 1in (HF-B7)</li> </ul>
	<p><b>Piso en contacto con terreno   4 capas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 50mm Ceramic/porcelain</li> <li>• 10 mm Cement/plaster/mortar - cement</li> <li>• 70 mm Floor/Roof Screed</li> <li>• 100mm Cast Concrete</li> <li>• 132,70mm Urea Formaldehyde Foam</li> </ul>

**Ilustración 23: Descripción caso mejorado**

---

## 5 CAPÍTULO V – DEFINICIÓN DEL SISTEMA

---

En este capítulo se define el ambiente de ingeniería de software, las definiciones y siglas que se utilizarán en el contexto del sistema, el entorno de desarrollo y finalmente símbolos y unidades presentes en el prototipo software.

### 5.1 Ambiente de Ingeniería de Software

En esta sección se definen elementos de ingeniería software que se aplican al presente proyecto.

#### 5.1.1 Metodología de Desarrollo del Proyecto.

La metodología por utilizar será el desarrollo iterativo e incremental ya permite crear bloques temporales (iteraciones) en el desarrollo del proyecto, lo cual hace que el prototipo se desarrolle de forma cíclica. El ciclo de vida de cada iteración conlleva un análisis, diseño, codificación y pruebas para que finalmente el módulo sea aprobado por el cliente, y así lograr un prototipo que cumpla con los objetivos establecidos. El punto clave de la metodología alineada al proyecto es que cada iteración se construye sobre otra que ya fue aprobada, por lo que siempre habrá bloques probados y utilizables.

Beneficios del desarrollo iterativo e incremental:

- Detectar y resolver problemas de forma temprana.
- Visión de avance
- Entrega temprana de partes operativas del prototipo.

#### 5.1.2 Estándares de Documentación.

Para la especificación de requerimientos se utiliza una adaptación basada de la *IEEE Software Requirements Specifications Std 830-1998*, entre otras.

#### 5.1.3 Técnicas y Notaciones.

- Especificación del diseño lógico de los datos utilizando MER (Modelo Entidad Relación) y MR (Modelo Relacional) para el diseño físico de la base de datos.
- Uso de UML (Lenguaje Unificado de Modelado V.10) para diagramas de casos de uso, de clase y estados.

## 5.2 Definiciones, Siglas y Abreviaciones

### Abreviaciones

**Std:** Estándar

**RPM:** Revoluciones por minuto

**Mbps:** Megabit por segundo

**IEEE:** Instituto de Electricidad y Electrónica

**KWh:** Kilowatt Hora

**UML:** Unified Modeling Language (Lenguaje Unificado de Modelado)

**CAD:** Computer Aided Design (Diseño Asistido por Computador)

**BIM:** Building Information Modeling (Modelado de información para edificación)

**IDF:** Input Data File (Archivo de Datos de Entrada)

**IDD:** Input Data Dictionary (Diccionario de Datos de Entrada)

**ASCII:** American Standard Code for Information Interchange (Código Estándar Estadounidense para el Intercambio de Información)

**BLAST:** Building Loads Analysis and System Thermodynamics (Análisis de Cargas de Construcción y Termodinámica del Sistema)

**ASHRAE:** American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)

**LEED:** Leadership in Energy & Environmental Design (Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible)

**EPW:** Energy Plus Weather (Archivo Meteorológico EnergyPlus)

## 5.3 Ambiente de desarrollo

### 5.3.1 Herramientas de Desarrollo de Software.

- Se utiliza para la programación el entorno de desarrollo integrado, PyCharm, en su versión Community Edition.
- Se utiliza lenguaje de programación Python para el diseño y construcción de algoritmos.
- Se utiliza el Framework escrito en Python, Django en su versión 1.11 para el diseño y desarrollo del sistema web.
- Se utiliza como apoyo los editores de texto y de código fuente, Sublime Text y Brackets, en sus versiones 3 y 1.7.
- PowerDesigner versión 16.1.0, utilizado para el modelamiento de la información y funcionalidad.
- Para analizar y comprobar archivos IDF, se utiliza IDF Editor programa del paquete de la Herramienta de Simulación Energética EnergyPlus, en su versión 8.6.0
- Para la simulación de los archivos IDF, se utiliza la Herramienta de Simulación Energética EnergyPlus, en su versión 8.6.0.

### 5.3.2 Hardware para el Desarrollo de Software.

Se trabaja con un ordenador de las siguientes características:

Sistema Operativo:	Windows 10 – 64 bits.
Idioma	Español
Fabricante	MSI
Modelo	GP62 6QF Leopard Pro
Procesador	Intel Core i7-6700HQ 2.6 Ghz.
Memoria RAM	16 GB RAM
Memoria Grafica	4 GB Independiente / 4GB Compartida.

**Tabla 4: Hardware ambiente de desarrollo**

### 5.3.3 Entorno de desarrollo / Lenguajes Programación.

- Interprete Python 3.5
- Framework Django
- HTML5, CSS3, JavaScript

## 5.4 Símbolos y Unidades

Descripción	Unidad	Abreviación
grado angular	grado	deg
longitud	metro	m
Área	metro cuadrado	m <sup>2</sup>
Volumen	metro cubico	m <sup>3</sup>
Tiempo	segundos	s
Frecuencia	Hertz	Hz
Temperatura	Celcius	C
temperatura absoluta	Kelvin	K
diferencia de temperatura	Kelvin	deltaC
velocidad	metros por segundos	m/s
energía (o trabajo)	Joules	J
potencia	Watts	W
masa	kilogramo	kg
fuerza	Newton	N
flujo másico	kilogramo por segundo	kg/s
caudal volumétrico	metros cúbicos por segundos	m <sup>3</sup> /s
presión	Pascal	Pa
diferencia de presión	Pascal	Pa
energía especifica	Joules por kilogramos	J/kg
densidad	kilogramos por metro cubico	k/m <sup>3</sup>
irradiancia	watts por metro cuadrado	w/m <sup>2</sup>
calor específico	-	J / kg*K
conductividad	-	W/m*K
difusividad térmica	-	m <sup>2</sup> /s
coeficiente de transferencia de calor	-	W/m <sup>2</sup> *K
valor-R	-	m <sup>2</sup> *K/W
capacidad de calefacción o refrigeración	Watts	W
potencial eléctrico	Volts	V
corriente eléctrica	Amperes	A
iluminancia	lux	lx
flujo luminoso	lumen	lm
intensidad luminosa	candelas	cd
luminancia	candelas por metro cuadrado	cd/m <sup>2</sup>
viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m <sup>2</sup> /s
viscosidad	-	kg/m*s
viscosidad dinámica	-	N*s/m <sup>2</sup>
coeficiente de gradiente térmico para la capacidad de humedad	-	kg/kg*K
capacidad de humedad isotérmica	-	m <sup>3</sup> /kg

Tabla 5: Símbolos y Unidades



---

## 6 CAPÍTULO VI – REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

---

Detalle de requisitos de software relacionados al sistema, tomando como base la especificación de requerimientos de la *IEEE Std 830-1998*. [4]

### 6.1 Alcances

La propuesta de este proyecto compromete el desarrollo e implementación de algoritmos, que permitan apoyar mediante sus requerimientos el análisis de reacondicionamiento de viviendas existentes, con el fin de reducir la demanda energética y asegurar el confort interior. Además, se incluye la implementación de un sistema web que permita simular, modificar, comparar y combinar archivos idf's junto a la visualización de resultados.

#### 6.1.1 Objetivo Global.

La implementación del prototipo software en conjunto con EnergyPlus permitirá a los profesionales del área establecer un mejor análisis para el diseño de un modelo que aumentará la eficiencia energética de viviendas.

#### 6.1.2 Objetivos Específicos.

- El software debe permitir al usuario simular un archivo idf con la herramienta de simulación EnergyPlus.
- El software debe permitir al usuario visualizar los resultados de simulación, principalmente los datos de demanda energética y el reporte de simulación.
- El software debe permitir al usuario imprimir el reporte de simulación.
- El software debe permitir al usuario modificar objetos dentro del archivo idf.
- El software debe permitir al usuario descargar el archivo idf modificado.
- El software debe permitir al usuario comparar dos archivos idf's y visualizar sus resultados.
- El software debe permitir al usuario combinar alternativas con mejoras establecidas en el sistema, visualizar el resultado de combinación y descargar el archivo combinado idf.

## 6.2 Descripción Global del Producto

### 6.2.1 Interfaz de usuario

El sistema posee una navegación simple y una interfaz intuitiva. Los usuarios que ingresen al sistema deben contar con conocimientos mínimos sobre el ámbito del software.

### 6.2.2 Interfaz de hardware

El sistema no requiere la configuración de dispositivos específicos, sólo se necesita la configuración estándar para los periféricos básicos, tales como:

- **Entrada estándar:** teclado, mouse.
- **Salida estándar:** monitor.
- **Tarjeta de red:** wifi o ethernet.

### 6.2.3 Interfaz software

En este punto se especifican el software utilizado para conseguir implementar y utilizar el prototipo software desarrollado.

Nombre	Community Enterprise Operating System
Abreviación	CentOS
Versión	7
Fuente	<a href="https://www.centos.org/">https://www.centos.org/</a>
Descripción	Sistema operativo que se instaló en la máquina virtual que contiene el software

**Tabla 6: CentOS 7**

Nombre	VirtualBox
Abreviación	VirtualBox
Versión	5.1.26
Fuente	<a href="https://www.virtualbox.org/">https://www.virtualbox.org/</a>
Descripción	Permite generar entornos distintos a nuestro sistema operativo, con este software se implementó una máquina virtual para simular el servidor del proyecto.

**Tabla 7: VirtualBox 5.1.26**

Nombre	Python
Abreviación	Python
Versión	3.5.2
Fuente	<a href="https://www.python.org/">https://www.python.org/</a>
Descripción	Lenguaje de programación multiparadigma.

**Tabla 8: Python 3.5.2**

Nombre	Django
Abreviación	Django
Versión	1.11.x
Fuente	<a href="https://www.djangoproject.com/">https://www.djangoproject.com/</a>
Descripción	Framework web Python.

**Tabla 9: Django 1.11.x**

Nombre	SublimeText
Abreviación	SublimeText
Versión	3.0
Fuente	<a href="http://www.sublimetext.com/">http://www.sublimetext.com/</a>
Descripción	Software editor de texto y código fuente.

**Tabla 10: Sublime Text 3.0**

Nombre	Energy Plus
Abreviación	E+
Versión	8.6.0
Fuente	<a href="https://energyplus.net">https://energyplus.net</a>
Descripción	Programa de simulación, permite modelar consumo de energía, para calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, enchufes, cargas y proceso del uso del agua en los edificios.

**Tabla 11: Energy Plus 8.6.0**

Nombre	DesignBuilder
Abreviación	dsb
Versión	5.0.2.003
Fuente	<a href="https://www.designbuilder.co.uk/">https://www.designbuilder.co.uk/</a>
Descripción	Programa de modelado de información de construcción. Genera y gestiona datos e información durante las distintas etapas del ciclo de vida de un edificio, tales como el análisis y diseño, construcción, operación y mantenimiento.

**Tabla 12: DesignBuilder 5.0.2.003**

## 6.2.4 Interfaces de comunicación

Para que el cliente pueda interactuar con el software es necesario contar con los siguientes protocolos de comunicación:

- **Protocolo TCP/IP:** Este protocolo representa todas las reglas de comunicación para internet y basa su funcionamiento en las direcciones IP. Esto permite una comunicación fiable y segura extremo a extremo.
- **HTTP:** El significado de esta sigla es HyperText Transfer Protocol (Protocolo de transferencia de hipertexto) es el método más común para intercambiar información en la web. La comunicación entre el servidor y el cliente se realizará a través del puerto TCP: 80 para el tráfico HTTP

## 6.3 Requerimientos Específicos

### 6.3.1 Requerimientos Funcionales del Sistema

Id	Nombre	Descripción
RF_01	Modulo Simular	El sistema deberá permitir simular archivos con extensión idf.
RF_02	Modulo Modificar	El sistema deberá permitir modificar objetos de la clase seleccionada.
RF_03	Modulo Comparar	El sistema deberá permitir comparar archivos idf's y visualizar resultados por pantalla.
RF_04	Modulo Combinar	El sistema deberá permitir combinar alternativas de mejoras.
RF_05	Visualizar objeto de una clase	El sistema deberá permitir visualizar objeto de la clase seleccionada. Llaves y atributos.
RF_06	Visualizar reporte de simulación	El sistema deberá permitir visualizar el reporte de simulación.
RF_07	Imprimir reporte de simulación	El sistema deberá permitir imprimir el reporte de simulación.
RF_08	Visualizar valores demanda energética	El sistema deberá permitir la visualización de resultados de las demandas energéticas descritas en el archivo resultado con extensión html
RF_09	Descargar archivo idf	El sistema deberá permitir descargar reporte de simulación.

Tabla 13: Requerimiento funcionales del sistema

### 6.3.2 Interfaces externas de entrada

Cada interfaz de entrada indica todos los grupos de datos que serán ingresados al sistema independiente del medio de ingreso.

<b>Id</b>	<b>Nombre del ítem</b>	<b>Detalles de datos contenidos en ítem</b>
IE_01	Cargar archivo IDF - Simular	El usuario cargará un fichero con extensión idf para simular.
IE_02	Cargar archivo clima EPW - Simular	El usuario cargará un fichero climatológico con extensión epw para realizar la simulación correctamente.
IE_03	Cargar archivo IDF - Modificar	El usuario cargará un fichero con extensión idf para simular.
IE_04	Modificación objeto en clase idf	Modificación de valores en atributos del objeto a editar.
IE_05	Cargar archivos IDF's - Comparar	El usuario cargará dos ficheros con extensión idf para comparar.

**Tabla 14: Interfaces externas de entrada**

### 6.3.3 Interfaces externas de Salida

Se especifica cada salida del sistema, indicando en cada caso el formato o medio de salida.

<b>Id</b>	<b>Nombre del ítem</b>	<b>Detalle de datos contenido del ítem</b>	<b>Medio salida</b>
IS01	Visualización de reporte de simulación	Reporte de simulación energética.	Pantalla
IS02	Visualización de valores demanda energética	Valores importantes del reporte de simulación, extraídos.	Pantalla
IS03	Visualización de diferencias entre archivos idf	Diferencia de valores entre clases y atributos. Diferencia de dimensión entre clases. Diferencias de dimensión en capas de la clase construcción.	Pantalla
IS04	Ver Objeto	Atributos y valores de objeto seleccionado, perteneciente a una clase del archivo idf.	Pantalla

**Tabla 15: Interfaces Externas de Salida**

### 6.3.4 Requerimientos No-Funcionales.

<b>Id</b>	<b>Nombre del Ítem</b>	<b>Descripción</b>
RNF_01	Usabilidad	La interfaz gráfica debe estar compuesta con elementos gráficos (iconos, botones) y jerarquía de menú navegable, para que el usuario sea capaz de aprender a utilizar el sistema en un tiempo de 3 horas.
RNF_02	Operabilidad	El sistema debe contar con una comunicación efectiva con el usuario, es por ello que debe entregar retroalimentación sobre el estado de ejecución para peticiones que el usuario realice en cada función.
RNF_03	Mantenibilidad	El sistema debe tener la capacidad de ser corregido sin tener mayor impacto en general. Debe contar con el desarrollo del framework Django en su versión 1.6 o superior, ya que aplica patrón de arquitectura Modelo Vista Controlador. Este trabaja en conjunto con el lenguaje de programación multiparadigma Python.

**Tabla 16: Requerimientos No-Funcionales**

---

## 7 CAPÍTULO VII - FACTIBILIDAD

---

El estudio de factibilidad permitirá determinar la infraestructura y capacidad técnica que compromete la implementación del software, así como también el grado de aceptación que genere la propuesta en el área donde se aplicará el proyecto, y finalmente estimaciones de costos y beneficios. Los aspectos para considerar en el análisis de factibilidad serán 3 estudios que se describen a continuación:

- Factibilidad técnica
- Factibilidad económica
- Factibilidad operacional

### 7.1 Factibilidad Técnica.

En esta sección se han analizado los factores a nivel de Recursos Humanos, Hardware de Desarrollo, Herramientas de Desarrollo.

#### 7.1.1 Recursos Humanos:

Para el desarrollo del proyecto se cuenta con un equipo constituido por:

- Rodrigo García Alvarado, Arquitecto. Director del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo en Universidad del Bío Bío sede Concepción.
- Sebastián Saavedra Muñoz alumno memorista de la carrera Ingeniería de Ejecución en Computación e Informática.

### 7.1.2 **Hardware de Desarrollo:**

El proyecto de software se desarrollará en lenguaje de programación Python con el entorno de desarrollo PyCharm de la compañía de desarrollo JetBrains el cual debe contar con las siguientes características mínimas<sup>22</sup>:

#### **Hardware.**

Ítem	Nombre
Procesador	Procesador Dual Core 2.0Ghz/ 2MB
Memoria	2 GB RAM recomendado
Video	Resolución mínima de pantalla de 1024x768 pixeles.

**Tabla 17: Hardware factibilidad técnica**

#### **Software.**

La siguiente tabla ilustra las herramientas necesarias y disponibles para el desarrollo del proyecto.

Ítem	Nombre	Versión
S.O Servidor web	CentOS	7
Servidor web	Apache Web Server	2.3 o superior
Lenguaje de programación	Python	3.5.2
Framework lenguaje programación	Django	1.11.x
Entorno de desarrollo	Pycharm	2016.2
Motor de Base de datos (SERVIDOR)	Postgresql	9 o superior
Modelado de datos	Power Designer	16.1.0
Simulador Energético	EnergyPlus	8.6.0

**Tabla 18: Software factibilidad técnica**

#### **Ordenador para Codificación:**

Sistema Operativo:	Windows 10 – 64 bits.
Idioma	Español
Fabricante	MSI
Modelo	GP62 6QF Leopard Pro
Procesador	Intel Core i7-6700HQ 2.6 Ghz.
Memoria RAM	16 GB RAM
Memoria Grafica	4 GB Independiente / 4GB Compartida.

**Tabla 19: Ordenador para codificación del software**

<sup>22</sup>**Fuente:**  
pycharm.html#d316241e149

<https://www.jetbrains.com/help/pycharm/2016.1/requirements-for-pycharm.html#d316241e149>



### **Resumen Factibilidad Técnica.**

Una vez desarrollado el estudio de factibilidad técnica se deduce que el proyecto cuenta con todos los recursos para el desarrollo e implementación del software de reacondicionamiento energético de viviendas, por lo que no se debe invertir dinero en licencias de programas y dispositivos tecnológicos.

### **7.2 Factibilidad Operativa.**

Los principales usuarios del sistema son los profesionales del área de arquitectura y urbanismo, en particular él académico que solicita asesoría en marco del Proyecto Exploratorio Ingeniería 2030-UBB 2016, con el cual se ha trabajado de forma constante, siempre dispuesto a colaborar con el proyecto.

### **7.3 Factibilidad Económica.**

El presente proyecto está asociado a un proyecto de investigación, lo que el factor económico no se considera primordial. Sin embargo, para generar el estudio, igual se termina por estimar lo siguiente:

- Existen equipos propios dentro del financiamiento del proyecto y también de uso personal, lo que el costo de hardware para el desarrollo del software es cero.
- El costo de software es cero, ya que se desarrolla con software libre y el costo de implementación es asumido por el memorista, desarrollador del proyecto. Sin embargo, se agrega una estimación en base a esfuerzo horas/hombre. (Ver anexo: Estimación en base a esfuerzo)<sup>23</sup>

### **7.4 Conclusión Factibilidad.**

Finalmente, a través del estudio de factibilidad se concluye que el software cumple apropiadamente con los requisitos de factibilidad económica, operacional y técnica. Lo que establece un desarrollo adecuado, sin inconvenientes, ni riesgos para su implementación.

---

<sup>23</sup> Estimación de puntos de caso de uso: Ver Anexo: Estimación en base a esfuerzo

## 8 CAPÍTULO VIII - ANÁLISIS

### 8.1 Actores

Para este sistema se consideran dos actores. El actor principal es quien representa al usuario del software y participa de todos los casos de uso. El usuario debe contar con conocimientos mínimos sobre el ámbito del software.

El otro actor es la herramienta de simulación EnergyPlus, quien participa del primer y último caso de uso, para simular ficheros IDF.

### 8.2 Diagrama de Casos de Uso.

Diagramas de caso de uso, separados según ámbitos de funcionamiento, para una mejor comprensión.

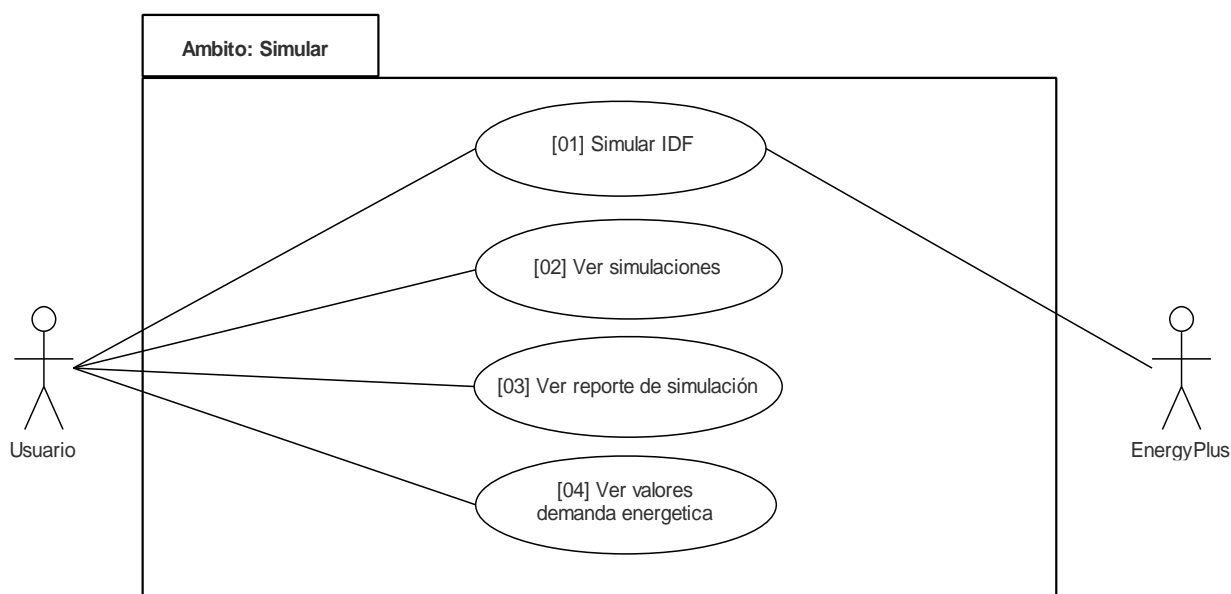


Ilustración 24: Diagrama de caso de uso - Simular

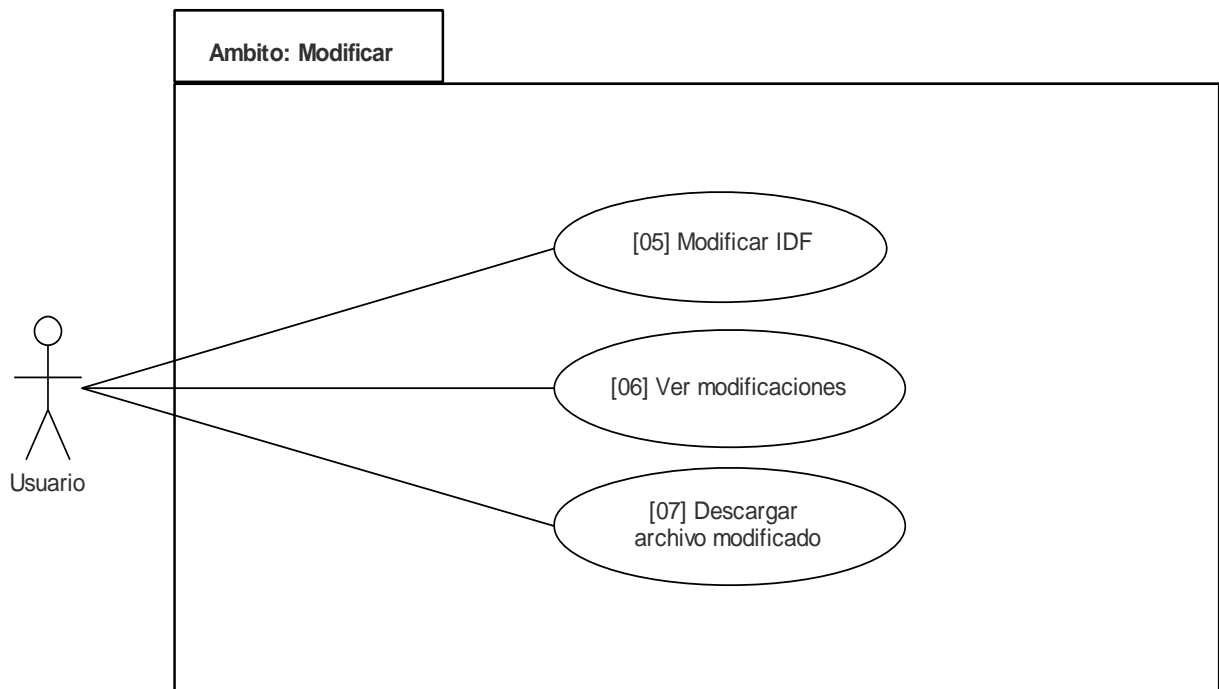


Ilustración 25: Diagrama de caso de uso – Modificar

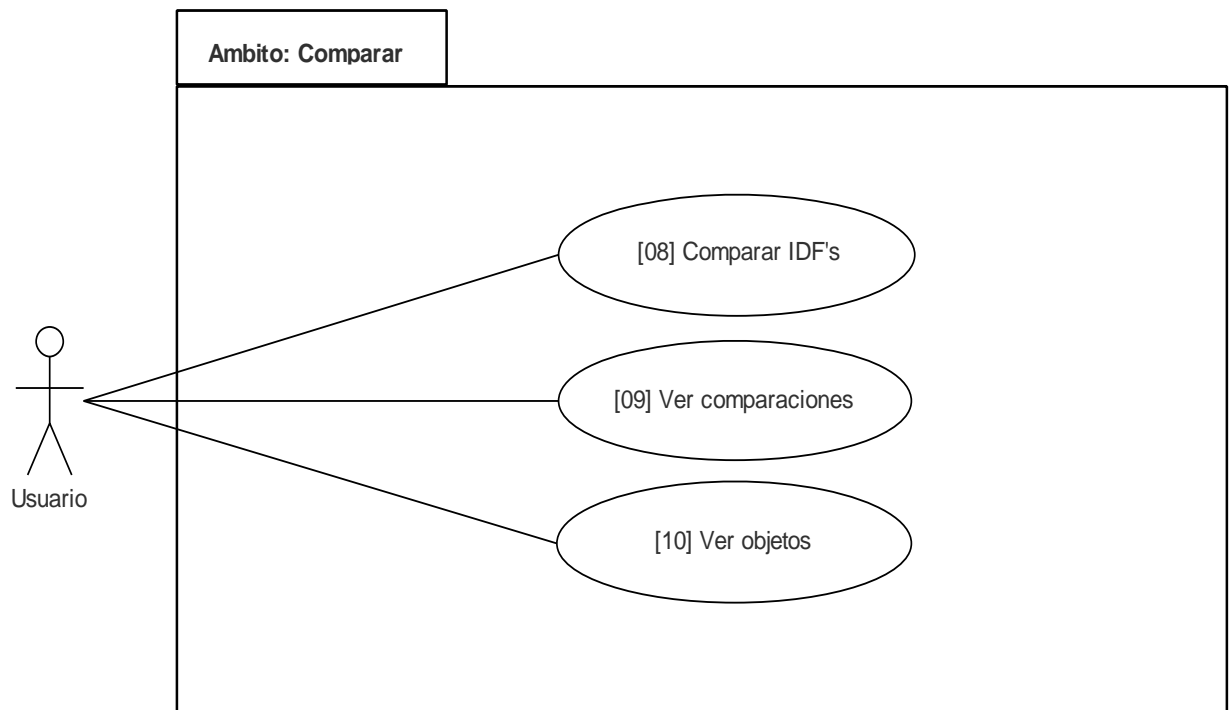
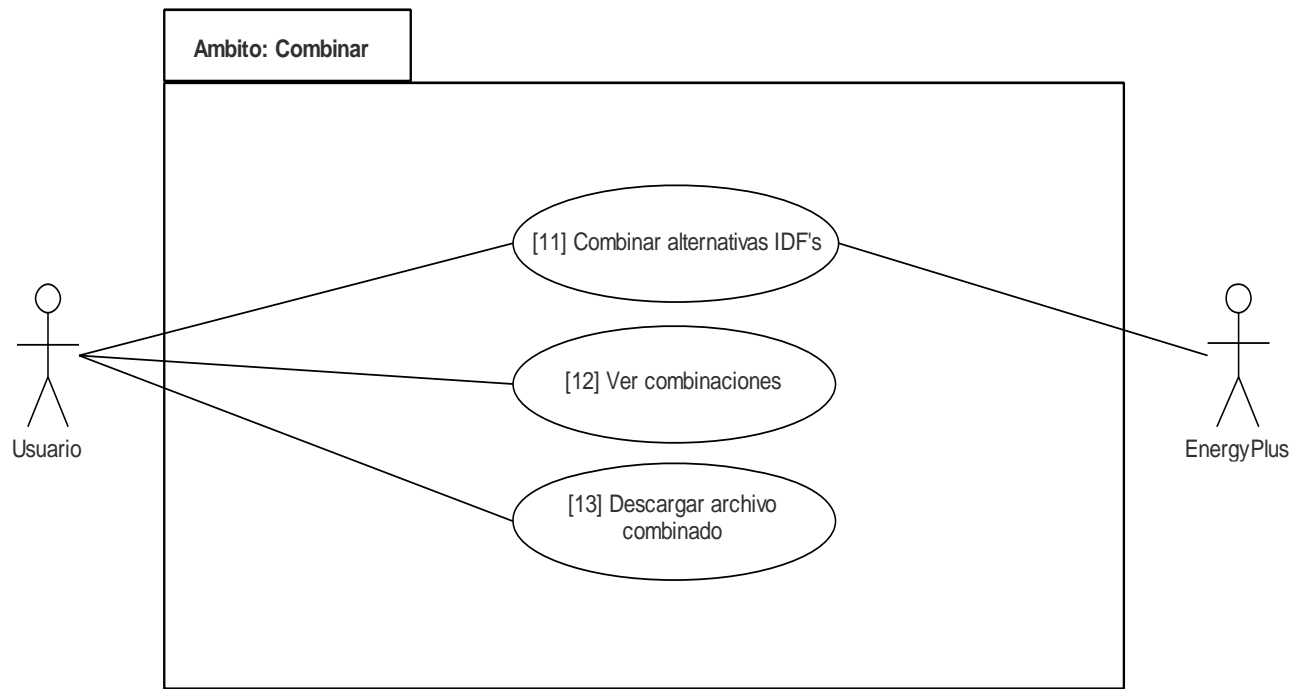


Ilustración 26: Diagrama de caso de uso – Comparar



**Ilustración 27: Diagrama de caso de uso – Combinar**

### 8.3 Especificación de los Caso de Uso.

A continuación, se especifica un resumen para cada diagrama de caso de uso descrito anteriormente.

Para ver en detalle cada caso de uso, vea en Anexo: ANEXO: Especificación detallada de caso de uso

<b>Ámbito</b>	Simular
<b>Caso de Uso</b>	Simular IDF
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite realizar la simulación de un archivo idf a ingresar, en conjunto con su archivo climático.

**Tabla 20: Especificación caso de uso 01**

<b>Ámbito</b>	Simular
<b>Caso de Uso</b>	Ver simulaciones
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite visualizar una lista con todas las simulaciones realizadas por el servidor.

**Tabla 21: Especificación caso de uso 02**

<b>Ámbito</b>	Simular
<b>Caso de Uso</b>	Ver reporte de simulación
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite visualizar el reporte de simulación, que contiene valores de demanda energética generado por la herramienta de simulación EnergyPlus.

**Tabla 22: Especificación caso de uso 03**

<b>Ámbito</b>	Simular
<b>Caso de Uso</b>	Ver valores de demanda energética
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite visualizar una tabla con valores trascendentales de demanda energética, obtenidos del reporte de simulación.

**Tabla 23: Especificación caso de uso 04**

<b>Ámbito</b>	Modificar
<b>Caso de Uso</b>	Modificar IDF
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite el ingreso de un archivo IDF, el cual podrá ser modificado en las clases que definen valores energéticos en la simulación.

**Tabla 24: Especificación caso de uso 05**

<b>Ámbito</b>	Modificar
<b>Caso de Uso</b>	Ver modificaciones
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite visualizar una lista con todas las modificaciones realizadas por el servidor.

**Tabla 25: Especificación caso de uso 06**

<b>Ámbito</b>	Modificar
<b>Caso de Uso</b>	Descargar archivo modificado
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite descargar un archivo IDF, desde la lista de archivos modificados.

**Tabla 26: Especificación caso de uso 07**

<b>Ámbito</b>	Comparar
<b>Caso de Uso</b>	Comparar IDF's
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite el ingreso de dos archivos IDF's, los cuales podrán ser comparados, obteniendo como resultado la diferencia entre objetos de clases que definen la demanda energética.

**Tabla 27: Especificación caso de uso 08**

<b>Ámbito</b>	Comparar
<b>Caso de Uso</b>	Ver comparaciones
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite visualizar una lista con todas las comparaciones realizadas por el servidor.

**Tabla 28: Especificación caso de uso 09**

<b>Ámbito</b>	Comparar
<b>Caso de Uso</b>	Ver objetos
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite ver en detalle el objeto de una clase. En específico sus atributos y valores.

**Tabla 29: Especificación caso de uso 10**

<b>Ámbito</b>	Combinar
<b>Caso de Uso</b>	Combinar alternativas IDF's
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite la combinación de alternativas establecidas en el servidor, enmarcadas en el caso de estudio <sup>24</sup> y descrito y detallado en el capítulo 4, sección 4.3 "Simulación de Alternativas"

**Tabla 30: Especificación caso de uso 11**

<b>Ámbito</b>	Combinar
<b>Caso de Uso</b>	Ver combinaciones
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite visualizar una lista con todas las combinaciones realizadas por el servidor.

**Tabla 31: Especificación caso de uso 12**

<b>Ámbito</b>	Combinar
<b>Caso de Uso</b>	Descargar archivo combinado
<b>Resumen</b>	Este caso de uso permite descargar un archivo IDF, desde la lista de archivos combinados.

**Tabla 32: Especificación caso de uso 13**

---

<sup>24</sup> Ver caso de estudio: Anexo: Caso de estudio.

## 8.4 Modelo de Datos.

El diseño lógico de los datos utilizado por el sistema web será representado por el diagrama modelo entidad-relación, el cual da a conocer el ámbito del sistema, estableciendo 5 entidades necesarias para cumplir con los requerimientos.

Para este sistema, no se necesitan relaciones entre las entidades, ya que cada una pertenece a un ámbito distinto, descrita en la especificación de caso de uso.

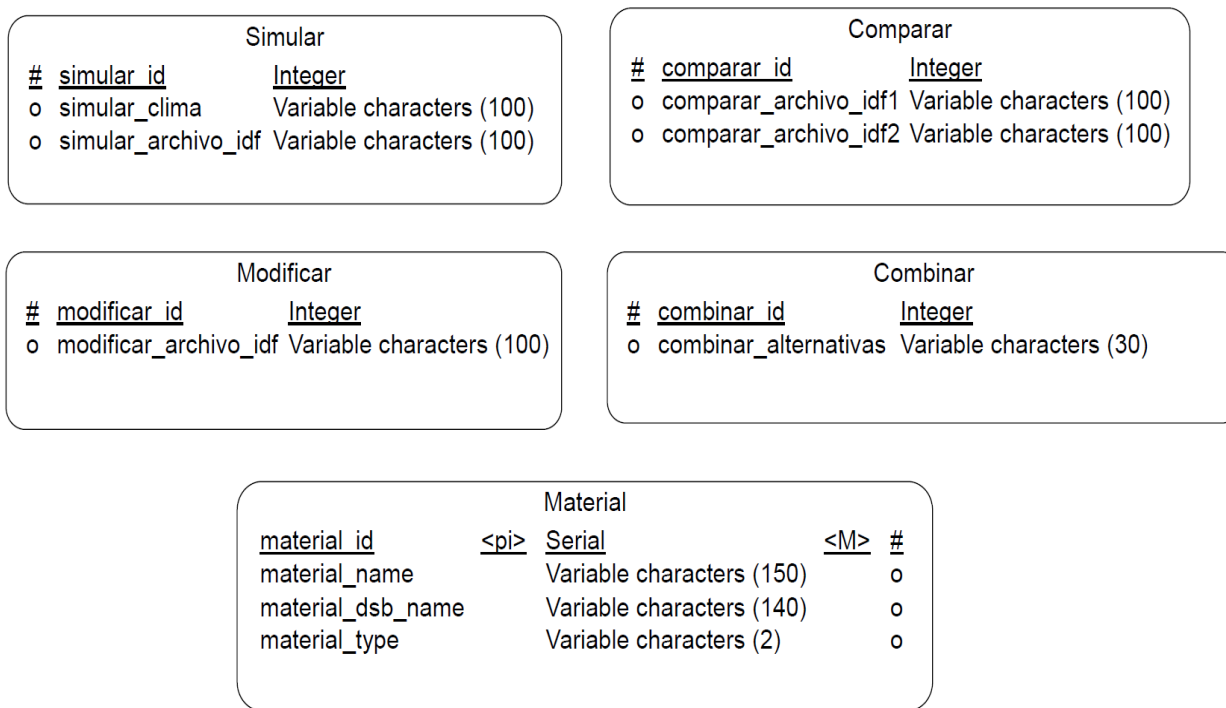


Ilustración 28: Modelo entidad relación



## 9 CAPÍTULO IX - DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

### 9.1 Diseño arquitectónico

Se establece que la relación entre los elementos estructurales del prototipo software se basa en la arquitectura cliente-servidor. El sistema requiere de un servidor que pueda ejecutar los scripts en Python implementados en la sección 'view' de la aplicación creada en el framework Django y conectada a una base de datos Sqlite3. El framework tiene la capacidad de crear procesos externos, como invocar a programas instalados en el sistema operativo del servidor, ya que para este proyecto es imperioso la comunicación con la herramienta de simulación 'EnergyPlus'.

A continuación, se expone gráficamente los elementos que conforman la estructura del prototipo software y la comunicación entre ellos.

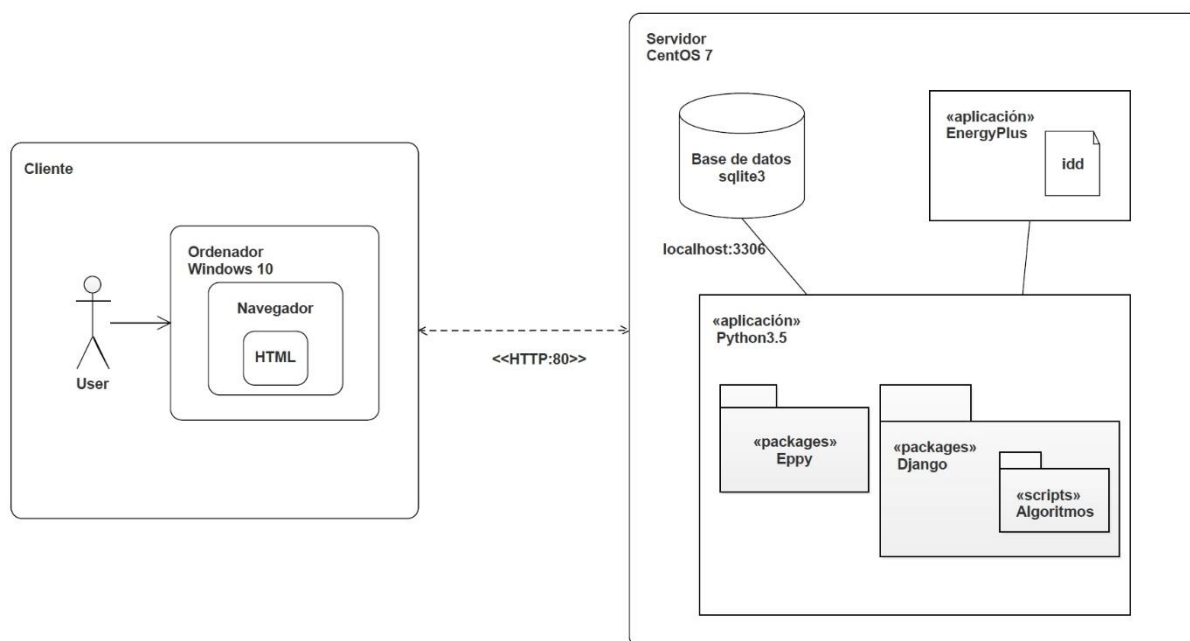
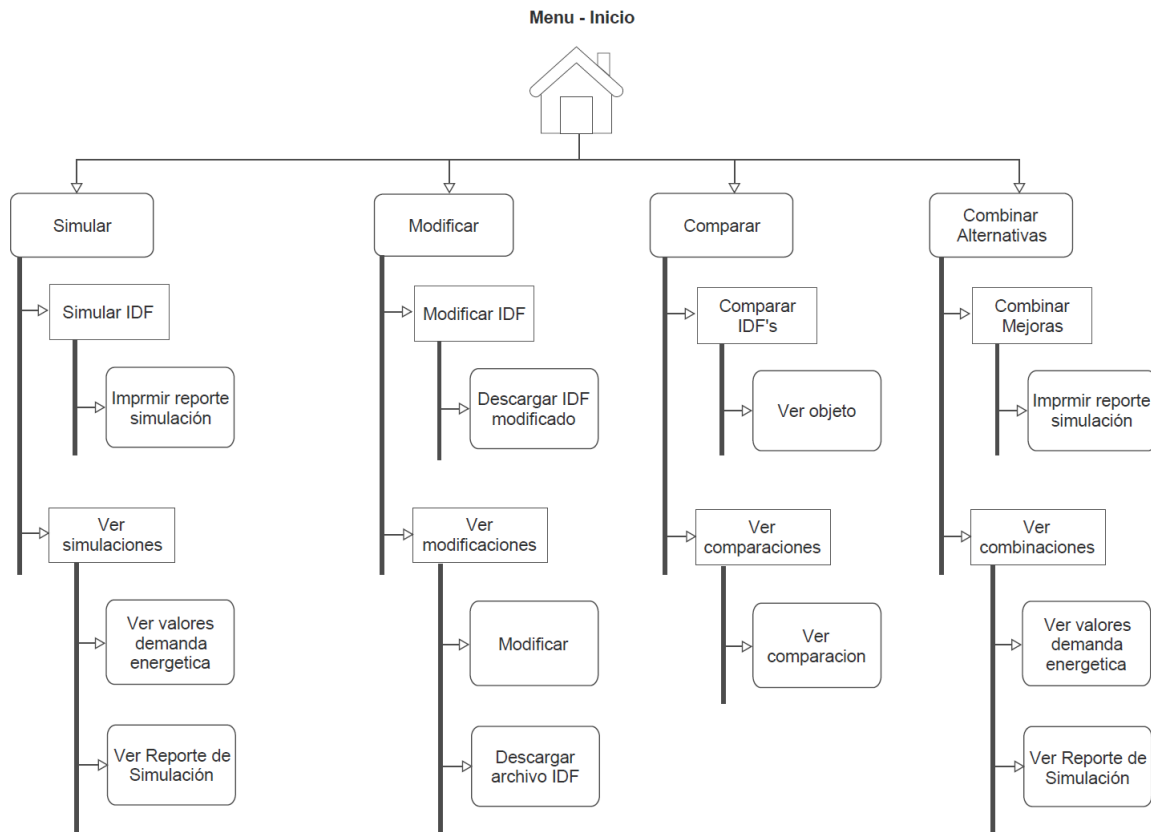


Ilustración 29: Diseño arquitectónico

## 9.2 Mapa sistema web

En el siguiente diagrama se describe la estructura de enlaces de páginas del sitio web que definirá la navegación para el usuario.

Este diagrama representa la lista de páginas del sistema web organizadas de forma jerárquica, lo que permitirá al usuario una navegación más expedita en el sistema.



**Ilustración 30: Mapa sitio web**

### 9.3 Diagrama de componentes

El siguiente diagrama representa la división y dependencias entre aplicaciones dentro del servidor.

Las aplicaciones o componentes de este sistema son representaciones de librerías en lenguaje de programación Python (Eppy, Django), scripts (algoritmos) desarrollados en Python, ejecutables o software (EnergyPlus, Sistema operativo 'CentOS').

La representación del diagrama permite diferenciar y destacar los distintos componentes y aplicaciones que participan en el prototipo software y la comunicación entre ellos.

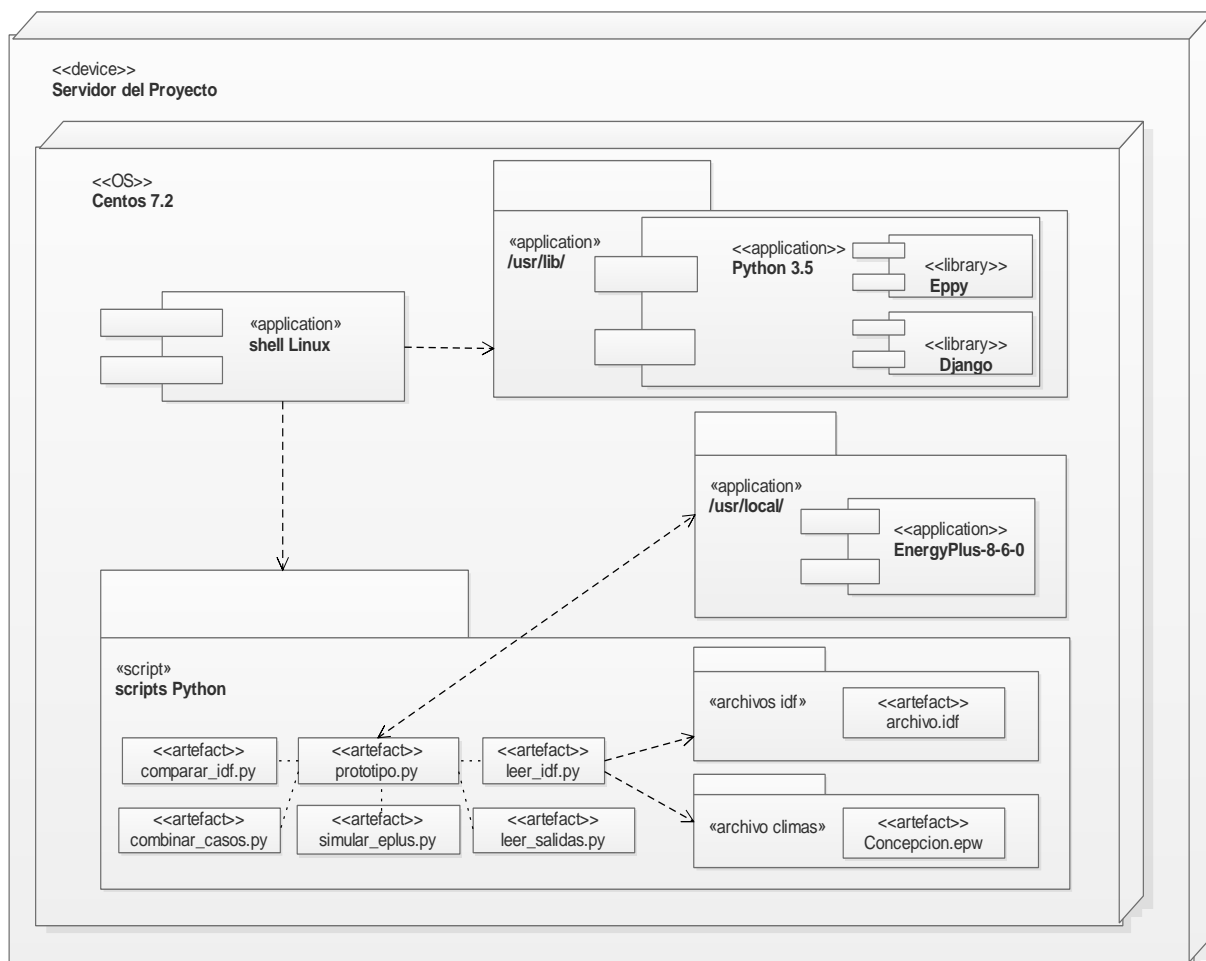
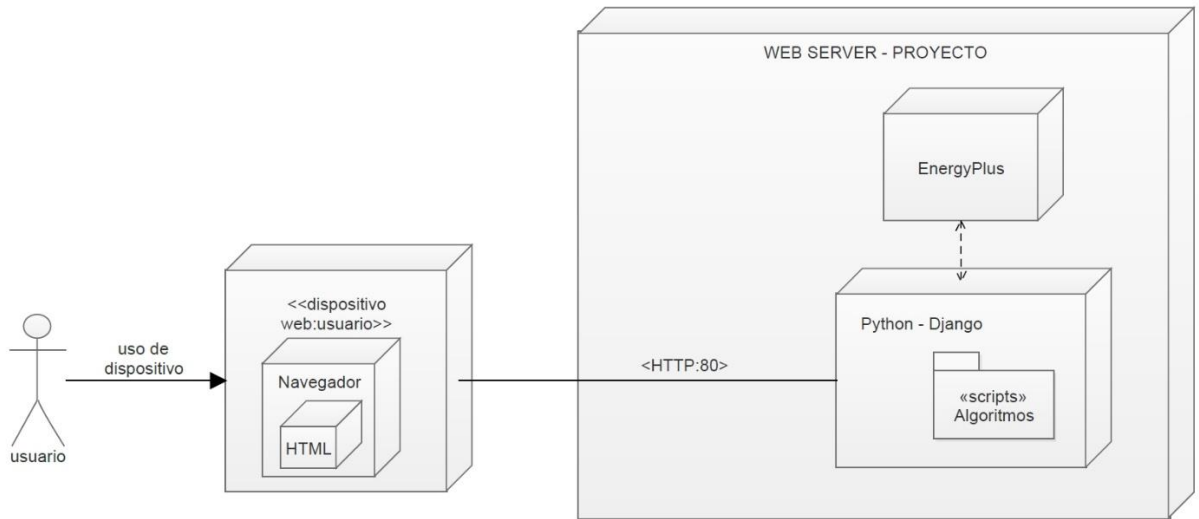


Ilustración 31: Diagrama de componentes

## 9.4 Diagrama de despliegue

El siguiente diagrama representa la conexión por protocolo de comunicación HTTP entre dispositivos físicos para la interacción entre el cliente y el servidor.

Además, se especifica las aplicaciones que interactúan en la petición del sistema web.



**Ilustración 32: Diagrama de despliegue**

## 9.5 Diseño de Físico de la Base de datos

A continuación, se describe el modelo físico de las bases de datos para el sistema web.

La ilustración representa 5 tablas independientes, las cuales permitirán almacenar en la base de datos SQLite3 registros de los modelos en función del framework que sean utilizados por el sistema.

Simular		
<u>simular_id</u>	integer	<pk>
simular_clima	varchar(100)	
simular_archivo_idf	varchar(100)	

Material		
<u>material_id</u>	integer	<pk>
material_name	varchar(150)	
material_dsb_name	varchar(140)	
material_type	varchar(2)	

Comparar		
<u>comparar_id</u>	integer	<pk>
comparar_archivo_idf1	varchar(100)	
comparar_archivo_idf2	varchar(100)	

Modificar		
<u>modificar_id</u>	integer	<pk>
modificar_archivo_idf	varchar(100)	

Combinar		
<u>combinar_id</u>	integer	<pk>
combinar_alternativas	varchar(30)	

Ilustración 33: Diseño de Físico de la Base de datos

**NOTA: Diagrama de Diseño Físico de la Bases de Datos en Anexos: Diccionario de Datos.**

## 9.6 Diseño interfaz y navegación

Se define el diseño de interfaz para todas las vistas en el sistema web. El proyecto utiliza sistema de plantillas, el cual permite heredar y reutilizar código para cada módulo requerido.

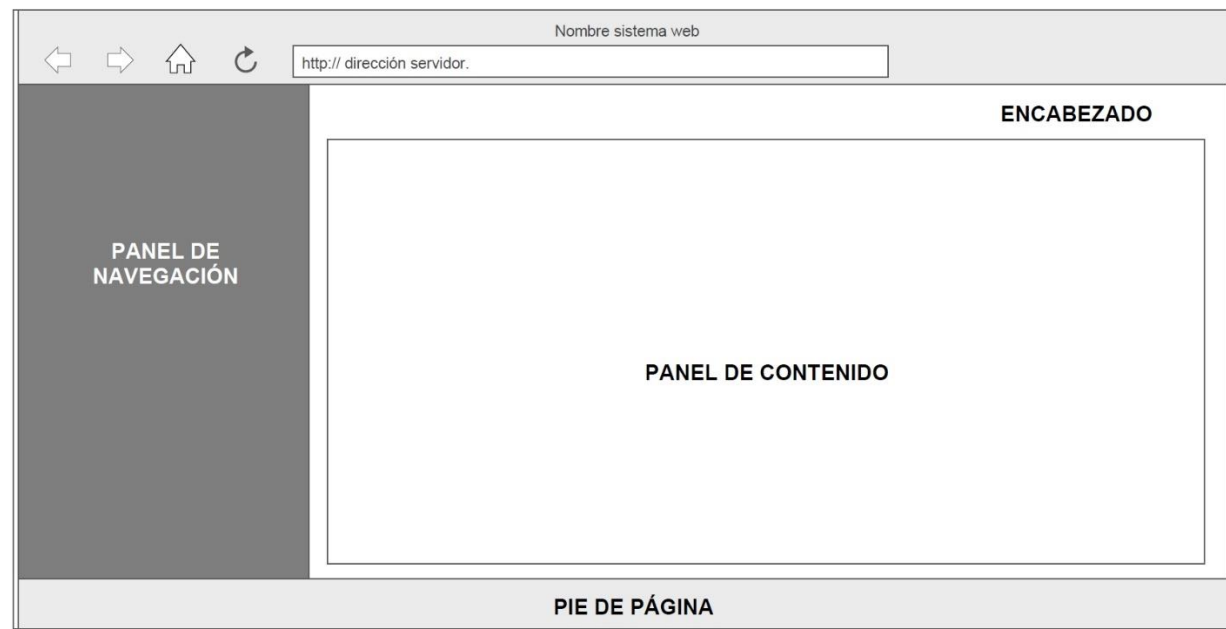


Ilustración 34: Interfaz principal.

### 9.6.1 Descripción áreas de contenido en interfaz principal.

- Área panel de navegación: Esta área contendrá todas las funciones que ofrece el sistema (Simular, Modificar, Comparar, Combinar).
- Área panel de contenido: Este contenedor mostrará todos los resultados de las funcionalidades que se pueda seleccionar desde el panel de navegación.
- Área pie de página: Área de texto, describe que es un proyecto de tesis de la Universidad del Bío-Bío.
- Área encabezada: Agrega un título modificable.

## 10 CAPÍTULO X - PRUEBAS

Adaptación basada en *IEEE Software Test Documentation Std 829-1998*

### 10.1 Elementos de prueba

A continuación, se describen pruebas unitarias ejecutadas para evaluar el correcto funcionamiento del sistema web.

**Los elementos que se sometieron a prueba son:**

- **Modulo simular:** en este módulo se cargan dos archivos, uno con extensión epw y el otro con extensión idf, los que permiten una exitosa simulación y posterior reporte de resultados.
- **Modulo modificar:** en este módulo se carga un archivo con extensión idf, el que permitirá modificar un objeto de una clase a seleccionar.
- **Modulo combinar:** Este módulo combina alternativa de mejoras, ya saeteadas en el servidor web.

### 10.2 Especificación de las pruebas

Nivel	Unidad
Objetivo	Cargar archivo con extensión '.idf'
Enfoque	Caja Negra
Procedimiento	Cargar archivo.
Actividad	Sistema verifica que el archivo cargado de forma local, sea de extensión '.idf'
Criterio de cumplimiento	El sistema no debe mostrar mensaje de error al cargar el archivo. idf y simular.

**Tabla 33: Especificación de pruebas: Modulo simular - Cargar IDF**

Nivel	Unidad
Objetivo	Cargar archivo con extensión '.epw'
Enfoque	Caja Negra
Procedimiento	Cargar archivo.
Actividad	Sistema verifica que el archivo cargado de forma local sea de extensión '.epw'
Criterio de cumplimiento	El sistema no debe mostrar mensaje de error al cargar el archivo. epw y simular.

**Tabla 34: Especificación de pruebas: Modulo simular - Cargar EPW**

Nivel	Unidad
Objetivo	Modificar atributos de objeto en clase de archivo. idf
Enfoque	Caja Negra
Procedimiento	Ingresar valores límites.
Actividad	El sistema valida que los ingresos de los valores a modificar se encuentren dentro de los rangos del atributo en el objeto.
Criterio de cumplimiento	El sistema advertirá con un mensaje que el atributo que se está modificando no cumple con los rangos permitidos.

**Tabla 35: Especificación de pruebas: Modulo Modificar - Modificar objeto.**

Nivel	Unidad
Objetivo	Combinar casos de alternativas.
Enfoque	Caja Negra
Procedimiento	Ingresar valores límites.
Actividad	El sistema valida que para combinar exista al menos una alternativa seleccionada.
Criterio de cumplimiento	El sistema realizará una combinación si y solo si existe al menos una alternativa seleccionada.

**Tabla 36: Especificación de pruebas: Modulo Combinar - Combinar alternativas.**

### 10.3 Detalle de las pruebas

<b>Validar ingreso de archivo con extensión 'idf'</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
media/caso_base.idf	Éxito
media/Concepción.epw	Error en la extensión del archivo cargar
media/alternativa3.idf	Éxito
media/reporte_simulacion.pdf	Error en la extensión del archivo cargado

**Tabla 37: Prueba unitaria ingreso de archivo 'idf'**

<b>Validar ingreso de archivo con extensión 'epw'</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
media/Concepción.epw	Éxito
media/caso_mejorado.idf	Error en la extensión del archivo cargar
media/Santiago.epw	Éxito
media/reporte_simulacion.pdf	Error en la extensión del archivo cargado

**Tabla 38: Prueba unitaria ingreso de archivo 'epw'**



<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Thickness</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
1.5	Éxito
-0.5	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 0
3.5	Error, supera el máximo de espesor que es 3.0

**Tabla 39: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Thickness**

<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Conductivity</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
800	Éxito
-3.0	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 0
2000	Error, supera el máximo de conductividad que es 1000

**Tabla 40: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Conductivity**

<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Density</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
7000	Éxito
-1000	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 0
15000	Error, supera el máximo de densidad que es 10000

**Tabla 41: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Density**

<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Specific Heat</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
1500	Éxito
50	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 100
5000	Error, supera el máximo de Calor específico que es 3000

**Tabla 42: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Specific Heat**

<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Thermal Resistance</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
18	Éxito
0	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 0
30	Error, supera el máximo de Resistencia térmica que es 20

**Tabla 43: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Thermal Resistance**

<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Thermal Absorptance</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
0.7	Éxito
-0.1	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 0
1.0	Error, supera el máximo de Absorción térmica que es 0.99999

**Tabla 44: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Thermal Absorptance**

<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Solar Absorptance</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
0.35	Éxito
-1.0	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 0
1.2	Error, supera el máximo de Absorción solar que es 1

**Tabla 45: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Solar Absorptance**

<b>Validar modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo Visible Absorptance</b>	
<b>Dato de entrada</b>	<b>Salida esperada</b>
0.35	Éxito
-1.0	Error, el espesor mínimo debe ser mayor que 0
1.2	Error, supera el máximo de Absorción solar que es 1

**Tabla 46: Prueba unitaria modificación de atributo en objeto en clase de archivo. Idf – atributo: Visible Absorptance**

#### **10.4 Responsables de las pruebas**

El responsable de las pruebas es el autor del informe, Sebastián Saavedra Muñoz.

---

## **11 CAPÍTULO XI - CONCLUSIONES**

---

Este proyecto fue abordado con el propósito de continuar el desarrollo de la metodología propuesta en la investigación de García et al. (2014).

En términos de los objetivos específicos, este proyecto comprendió el desarrollo de dos módulos de software los cuales permiten generar y visualizar modelos paramétricos de una edificación, lo que aporta a la metodología y proyectos a futuros, ampliar el espectro de soluciones y simular en grandes cantidades de modelos a la vez.

El desarrollo e implementación del algoritmo para integrar el diseño paramétrico fue uno de los desafíos más grandes en el proyecto, ya que comprendió trabajar con varias herramientas, lo que finalmente, termina implementado en un sistema web que permite modificar parámetros, simular el modelos y visualización de resultados.

Todo el análisis y programación apoya terminar con una herramienta robusta que permita generar eficientemente un paquete de soluciones para el reacondicionamiento de viviendas.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. BNE, Balance Nacional de Energía, Comisión Nacional del Energía. – URL [http://dataset.cne.cl/Energia Abierta/Reportes/Minenergia/Reporte%20BNE%202015.pdf](http://dataset.cne.cl/Energia%20Abierta/Reportes/Minenergia/Reporte%20BNE%202015.pdf), 2015. Consultado 17 de junio de 2017
2. Ministerio de Energía, Agenda de Energía. “Un desafío país, progreso para todos” – URL [http://www.minenergia.cl/archivos\\_bajar/Documentos/AgendaEnergia.pdf](http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/Documentos/AgendaEnergia.pdf), 2014. Consultado 17 de junio de 2017
3. CNE, Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos futuros, Santiago: Comisión Nacional de Energía, 2009. Consultado 21 de Junio de 2015
4. O.G.U.C, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Manual de aplicación de la Reglamentación Térmica, 2006. – URL [http://www.minvu.cl/opensite\\_20070417155724.aspx](http://www.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx)  
Consultado 28 de junio de 2017
5. CDT, Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial, Santiago: Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2010.
6. Rodrigo García, Jaime Soto, Cristian Muñoz, Ariel Bobadilla, Rodrigo Herrera, y Waldo Bustamante. Analysis of energy-efficiency improvements in single-family dwellings in Concepción, Chile. Open House International, 2014.
7. Vásquez, M. Proyecto de Título. “Sistema de apoyo a la generación de paquetes para mejoras de eficiencia energética en viviendas de Concepción, Chile”, 2015.
8. GSR, Renewables 2017 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century, 2017.- URL [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/07/17-8399\\_GSR\\_2017\\_KEY-FINDINGS\\_Spanish\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/07/17-8399_GSR_2017_KEY-FINDINGS_Spanish_lowres.pdf) Consultado 20 de Julio de 2017
9. Software Engineering Standards Committee y IEEE-SA Standards Board. IEEE recommended practice for software requirements specifications. Inf. Téc., IEEE Computer Society, 1998.
10. Pressman, Roger, Ingeniería de Software, un enfoque práctico 5<sup>a</sup> edición McGrawHill.

11. EnergyPlus. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Office of BuildingTechnologies. 2015. URL <http://www.energyplus.net/> Consultado 25 de Julio de 2017
12. Philip, Santosh. Eppy scripting langues for EnergyPlus idf files and EnergyPlus output files, 2015. URL <https://github.com/santoshphilip/eppy>, <https://pypi.python.org/pypi/eppy/>, <http://pythonhosted.org//eppy/>. Consultado 25 de Julio de 2017
13. Peters, Tim. The Zen of Python, 2004. URL <https://www.python.org/dev/peps/pep-0020/>
14. DesignBuilder, URL <https://www.designbuilder.co.uk/> Consultado 28 de Julio de 2017
15. Project EnergyPlus, Simulation Research - U.S. Department of Energy URL <https://simulationresearch.lbl.gov/projects/energyplus> Consultado 28 de Julio de 2017
16. Minvu, Sistema de Calificación Energética de Viviendas, 2015. URL: <http://calificacionenergetica.minvu.cl/media/Presentaci%C3%B3n-Calificaci%C3%B3n-Energ%C3%A9tica-de-Viviendas-Abril-2015.pdf> Consultado 01 de Agosto de 2017
17. EnergyPlus, Getting Started, 2016. URL [https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel\\_custom/pdfs/pdfs\\_v8.7.0/Getting\\_Started.pdf](https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.7.0/Getting_Started.pdf) Consultado 01 de Agosto de 2017
18. ASHRAE, Climate Data Center. URL <https://www.ashrae.org/resources-publications/bookstore/climate-data-center> Consultado 02 de Agosto de 2017

## 12 ANEXO: ESPECIFICACIÓN DETALLADA DE CASO DE USO

### 12.1.1 Especificación de caso de uso - Simular

<b>Nombre:</b> Simular IDF.	
<b>Actores:</b> Usuario, EnergyPlus.	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá realizar una simulación de demanda energética para una vivienda descrita mediante un archivo con extensión 'idf'.	
<b>Precondiciones:</b> El usuario debe contar con dos archivos. El primer archivo corresponde al fichero climático con extensión 'epw' y el otro archivo con extensión 'idf'.	
<b>Postcondiciones:</b> Se genera la opción imprimir el reporte de simulación.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
1) El usuario entra al sistema y en la sección 'Simular IDF' debe seleccionar la opción "Simular", una vez seleccionado debe cargar desde su ordenador dos archivos. El primero debe ser el archivo de clima con extensión 'epw' y el siguiente con extensión 'idf'.	
	2) El sistema valida la extensión de los archivos ingresados. Guarda un registro de Simulación en la base de datos. Se notifica que la carga es correcta y genera la opción de simular el archivo ingresado.
3) El usuario selecciona la opción "simular".	
	4) Al simular el sistema muestra el reporte de simulación con la opción de imprimir, de acuerdo al formato descrito en....
	5) El sistema almacena la simulación y los archivos cargados.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
1.1) El usuario ingresa un archivo erróneo.	
	1.2) El sistema avisa por pantalla que el archivo no corresponde, solicitando que reintente cargando un nuevo archivo.

Tabla 47: Especificación caso de uso - Simular [01]

<b>Nombre:</b> Ver simulaciones.	
<b>Actores:</b> Usuario.	
<b>Objetivos:</b> El sistema mostrará una lista de todas las simulaciones realizadas por el sistema.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una simulación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b> El sistema permitirá mostrar valores importantes sobre demanda energética de la simulación y el reporte completo de simulación.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Simular IDF', debe seleccionar 'Ver Simulaciones'.	
	2) El sistema muestra una lista con todas las simulaciones realizadas por el usuario.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Simular IDF', selecciona 'Ver Simulaciones', si no hay simulaciones.	
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 48: Especificación caso de uso - Simular [02]

<b>Nombre:</b> Ver reporte simulación.	
<b>Actores:</b> Usuario.	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá visualizar el reporte completo de simulación que genera EnergyPlus.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una simulación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b> Se genera la opción imprimir el reporte de simulación.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Simular IDF', debe seleccionar 'Ver Simulaciones'.	
	2) El sistema muestra una lista con todas las simulaciones realizadas por el usuario y la opción de ver el 'Reporte de Simulación'.
3) El usuario en la misma lista podrá seleccionar la opción de ver el 'Reporte de Simulación'.	
	4) El sistema en una nueva vista, muestra el reporte completo de simulación y la opción de imprimir.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Simular IDF', selecciona 'Ver Simulaciones', si no hay simulaciones.	
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 49: Especificación caso de uso – Simular [03]



<b>Nombre:</b> Ver valores demanda energética.	
<b>Actores:</b> Usuario.	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá visualizar valores de demanda energética de la simulación.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una simulación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b>	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Simular IDF', debe seleccionar 'Ver Simulaciones'.	
	2) El sistema muestra una lista con todas las simulaciones realizadas por el usuario y la opción de ver el 'Valores demanda energética'.
3) El usuario en la misma lista podrá seleccionar la opción de ver el 'Valores demanda energética'.	
	4) El sistema en una nueva vista, muestra una tabla con los valores obtenidos del reporte correspondientes a la demanda energética obtenida de la simulación.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Simular IDF', selecciona 'Ver Simulaciones', si no hay simulaciones.	
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 50: Especificación caso de uso – Simular [04]

### 12.1.2 Especificación de caso de uso - Modificar

<b>Nombre:</b> Modificar IDF	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá modificar un archivo con extensión idf.	
<b>Precondiciones:</b> El usuario debe cargar un archivo antes de sistema.	
<b>Postcondiciones:</b> Se genera la opción de editar ciertas clases en el archivo idf.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b> <b>[Sistema]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Modificar IDF', debe seleccionar 'Modificar'.	
	2) El sistema valida el ingreso del archivo idf. Guarda un registro de modificación en la base de datos. En una nueva vista el sistema permite seleccionar una clase a modificar.
3) El usuario seleccionar una de las clases ('Material',Material:NoMass, WindowMaterial:Glazing')	
	4) El sistema muestra una lista con todos los objetos de la clase y la opción de editar cada uno.
5) El usuario en la misma lista selecciona la opción 'Editar Objeto'.	
	6) El sistema carga un formulario para editar el objeto seleccionado, los elementos del formulario variaran dependiendo de la clase que se esté editando.
7) El usuario al terminar de editar selecciona el botón 'Guardar' al final del formulario.	
	8) El sistema guarda los campos modificados y redirecciona a la vista donde se selecciona las clases a editar.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b> <b>[Sistema]</b>
1.1) El usuario ingresa un archivo erróneo	
	1.2) El sistema avisa por pantalla que el archivo no corresponde, solicitando que reintente cargando un nuevo archivo.

Tabla 51: Especificación caso de uso – Modificar [05]

<b>Nombre:</b> Ver modificaciones	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El sistema mostrará una lista de todas las modificaciones realizadas por el sistema.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una modificación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b> El sistema permitirá Modificar o Descargar el archivo modificado.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Modificar IDF, debe seleccionar 'Ver Modificaciones'.	
	2) El sistema muestra una lista con todas las simulaciones realizadas por el usuario, con las opciones 'Modificar' y 'Descargar IDF'.
3) El usuario en la misma lista podrá seleccionar la opción de 'Modificar'.	
	4) El sistema carga una nueva vista que permite seleccionar una clase a modificar. (CU05)
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Modificar IDF, selecciona 'Ver Modificaciones', si no hay modificaciones.	
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 52: Especificación caso de – Modificar [06]

<b>Nombre:</b> Descargar archivo modificado	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá descargar el archivo idf modificado.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una modificación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b>	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Modificar IDF, debe seleccionar 'Ver Modificaciones'.	<b>[Sistema]</b>
	2) El sistema muestra una lista con todas las modificaciones realizadas por el usuario y la opción de 'Descargar IDF'.
3) El usuario en la misma lista podrá seleccionar la opción de 'Descargar IDF'.	
	4) El sistema carga una ventana de descarga con la opción de seleccionar un directorio y un nuevo nombre para el archivo IDF modificado.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Modificar IDF, selecciona 'Ver Modificaciones', si no hay modificaciones.	<b>[Sistema]</b>
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 53: Especificación caso de uso – Modificar [07]

### 12.1.3 Especificación de caso de uso - Comparar

<b>Nombre:</b> Comparar IDF's	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá comparar dos archivos IDS's.	
<b>Precondiciones:</b>	
<b>Postcondiciones:</b> Ver descripción de los objetos en clases asociadas.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1) El usuario entra al sistema y en la sección 'Comparar IDF's' debe seleccionar la opción "Comparar", una vez seleccionado debe cargar desde su ordenador dos archivos IDF's.	
	2) El sistema valida el ingreso de los archivos. Guarda un registro de Comparación en la base de datos. En una nueva vista con dos columnas el sistema carga en cada columna una lista de clases distintas con sus objetos representando a cada archivo.
3) El usuario selecciona la clase 'CONSTRUCTION' a comparar.	
	4) El sistema expande la clase seleccionada y genera una lista con diferencias en dimensión de la clase y diferencia entre objetos entre ambos archivos IDF's.
5) El usuario selecciona clase una clase a comparar distinta a 'CONSTRUCTION'	
	6) El sistema expande la clase seleccionada y genera una lista con diferencias en dimensión de la clase y diferencia entre objetos entre ambos archivos IDF's. Para cada objeto de la lista seleccionada se puede ver las propiedades en detalle en 'Ver Objeto'.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1.1) El usuario ingresa un archivo erróneo.	
	1.2) El sistema avisa por pantalla que el archivo no corresponde, solicitando que reintente subir el archivo nuevamente.

Tabla 54: Especificación caso de uso – Comparar [08]

<b>Nombre:</b> Ver comparaciones	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El sistema mostrará una lista de todas las comparaciones realizadas por el sistema.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una comparación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b>	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Comparar IDF's, debe seleccionar 'Ver Comparaciones'.	
	2) El sistema muestra una lista con todas las comparaciones realizadas por el usuario, con la opción de ver 'Comparación'.
3) El usuario selecciona la opción 'Ver Comparación'	
	4) El sistema carga una nueva vista que contiene dos columnas con listas de clases distintas entre archivos a comparar.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Comparar IDF's, selecciona 'Ver Comparaciones', si no hay comparaciones.	
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 55: Especificación caso de uso - Comparar [09]

<b>Nombre:</b> Ver objeto	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El sistema mostrará una tabla con todos los atributos y valores del objeto seleccionado.	
<b>Precondiciones:</b>	
<b>Postcondiciones:</b>	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Comparar IDF's, debe seleccionar 'Ver Comparaciones'. Para la clase que tenga la opción de 'Ver objeto', seleccionar.	<b>[Sistema]</b>
	2) El sistema muestra una tabla con todos los atributos y valores del objeto de la clase.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>

Tabla 56: Especificación caso de uso – Comparar [10]

### 12.1.4 Especificación de caso de uso - Combinar

<b>Nombre:</b> Combinar alternativas IDF's	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá combinar diferentes alternativas establecidas por el sistema.	
<b>Precondiciones:</b>	
<b>Postcondiciones:</b> Se genera la opción de ver e imprimir el reporte de simulación y descargar el nuevo archivo de combinación IDF.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1) El usuario entra al sistema y en la sección 'Combinar Mejoras' debe seleccionar la opción "Combinar alternativas".	
	2) El sistema muestra 5 mejoras (alternativas) establecidas, las que pueden ser seleccionadas de forma arbitraria por el usuario.
3) El usuario selecciona alternativas al azar y presiona botón 'Combinar Alternativas'.	
	4) El sistema valida la selección de alternativas. Guarda un registro de Combinación en la base de datos. El sistema establece las combinaciones y ejecuta simulación del archivo idf combinado. Carga vista con reporte de simulación.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
3.3) El usuario no selecciona ninguna alternativa.	
	1.2) El sistema avisa por pantalla que para generar una combinación al menos debe seleccionar una alternativa.

Tabla 57: Especificación caso de uso – Combinar [11]



<b>Nombre:</b> Ver combinaciones	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El sistema mostrará una lista de todas las combinaciones realizadas por el sistema.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una combinación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b> El sistema permitirá mostrar reporte de simulación y la opción de descargar el archivo combinado.	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Combinar Mejoras', debe seleccionar 'Ver Combinaciones'.	
	2) El sistema muestra una lista con todas las combinaciones realizadas por el usuario, con las opciones 'Ver Reporte Simulación' y 'Descargar IDF'.
3) El usuario en la misma lista podrá seleccionar la opción de 'Ver Reporte Simulación'.	
	4) El sistema en una nueva vista, muestra el reporte completo de simulación y la opción de imprimir.
<b>Flujo alternativo:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Combinar Mejoras', selecciona 'Ver Combinaciones', si no hay combinaciones.	
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 58: Especificación caso de uso – Combinar [12]

<b>Nombre:</b> Descargar archivo combinado	
<b>Actores:</b> Usuario	
<b>Objetivos:</b> El usuario podrá descargar el archivo idf combinado.	
<b>Precondiciones:</b> Debe existir el registro de al menos una combinación en el sistema.	
<b>Postcondiciones:</b>	
<b>Flujo del sistema:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Combinar Mejoras', debe seleccionar 'Ver Combinaciones'.	
	2) El sistema muestra una lista con todas las combinaciones realizadas por el usuario y la opción de 'Descargar IDF'.
3) El usuario en la misma lista podrá seleccionar la opción de 'Descargar IDF'.	
	4) El sistema carga una ventana de descarga con la opción de seleccionar un directorio y un nuevo nombre para el archivo IDF combinado.
<b>Flujo alterno:</b>	<b>[Actor]</b>
	<b>[Sistema]</b>
1.1) El usuario ingresa al sistema y en la sección 'Combinar Mejoras', selecciona 'Ver Combinaciones', si no hay combinaciones.	
	1.2) El sistema muestra una lista sin elementos.

Tabla 59: Especificación caso de uso – Combinar [13]

## 13 ANEXO: DICCIONARIO DE DATOS

El diccionario de datos explica brevemente que significa cada dato del modelo físico de la base de datos y a qué tipo de dato corresponde.

<b>TABLA SIMULAR</b>			
<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Restricción</b>
simular_id	Identificador de la simulación.	Integer	Clave primaria
simular_clima	Ruta del archivo climático con extensión. epw cargado al sistema web	Varchar (100)	
simular_archivo_idf	Ruta del archivo con extensión idf cargado al sistema web	Varchar (100)	

Tabla 60: Diccionario de datos - Tabla Simular

<b>TABLA COMPARAR</b>			
<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Restricción</b>
comparar_id	Identificador de la comparación.	Integer	Clave primaria
comparar_archivo_idf1	Ruta del archivo con extensión idf #1 cargado al sistema web	Varchar (100)	
comparar_archivo_idf2	Ruta del archivo con extensión idf #2 cargado al sistema web	Varchar (100)	

Tabla 61: Diccionario de datos - Tabla Comparar

<b>TABLA MODIFICAR</b>			
<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Restricción</b>
modificar_id	Identificador de la modificación.	Integer	Clave primaria
modificar_archivo_idf	Ruta del archivo con extensión idf cargado al sistema web	Varchar (100)	

Tabla 62: Diccionario de datos - Tabla Modificar

<b>TABLA COMBINAR</b>			
<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Restricción</b>
combinar_id	Identificador de la combinación.	Integer	Clave primaria
combinar_alternativas	Vector con combinación de alternativas separados por coma	Varchar (30)	

Tabla 63: Diccionario de datos - Tabla Combinar

<b>TABLA MATERIAL</b>			
<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tipo de dato</b>	<b>Restricción</b>
material_id	Identificador de material.	Integer	Clave primaria
material_name	Nombre del material	Varchar (150)	
material_dsb_name	Nombre del material en designbuilder	Varchar (140)	
material_type	Tipo de Material	Varchar (2)	

Tabla 64: Diccionario de datos - Tabla Material

## 14 ANEXO: ESTIMACIÓN EN BASE A ESFUERZO

A continuación, se especifica el esfuerzo utilizado en horas/hombre para realizar este proyecto. La estimación se realiza con el método de puntos por caso de uso.

### 14.1 Estimación de puntos de caso de uso

Calculo de puntos de caso de uso no ajustados (UUCP).

Tipo de caso de uso	Peso	Cantidad	Resultado
SIMPLE	5	9	45
PROMEDIO	10	4	40
COMPLEJO	15	0	0
<b>Valor:</b>			<b>85</b>

Tabla 65: Peso de casos de uso sin ajustar (UUCW)

Tipo de caso de uso	Peso	Cantidad	Resultado
SIMPLE	1	1	1
PROMEDIO	2	0	0
COMPLEJO	3	1	3
<b>Valor:</b>			<b>4</b>

Tabla 66: Peso de actor sin ajustar (UAW)

Por lo tanto, UUCP (Puntos de caso de uso no ajustados) corresponde a:

$$UUCP = UUCW + UAW$$

$$UUCP = 85 + 4$$

$$UUCP = 89$$

**Calculo Factor de complejidad técnica (TCF).**

Factor técnico	Descripción	Peso	Complejidad percibida	Resultado
T1	Sistema distribuido	2	0	0
T2	Rendimiento	1	3	3
T3	Eficiencia de usuario final	1	4	4
T4	Complejidad interna de procesamiento	1	1	1
T5	Reusabilidad	1	3	3
T6	Facilidad de instalación	0.5	2	1
T7	Facilidad de uso	0.5	5	2.5
T8	Portabilidad	2	2	4
T9	Fácil de cambiar	1	3	3
T10	Concurrencia	1	3	3
T11	Características especiales de seguridad	1	2	2
T12	Proporciona acceso directo a terceros	1	0	0
T13	Requiere usuarios con entrenamiento especial	1	3	3
<b>Total de factor técnico:</b>				<b>29,5</b>

**Tabla 67: Factor de complejidad técnica (TCF)**

Por lo tanto, el **TCF** (Factor de complejidad técnica) corresponde a:

$$TCF = 0.6 + (0.01 * T. Complejidad)$$

$$TCF = 0,895$$

**Calculo Factor de complejidad ambiental (ECF).**

Factor ambiental	Descripción	Peso	Impacto percibido	Factor calculado
E1	Familiaridad con UML	1.5	3	4.5
E2	Trabajadores Part-time	-1	0	0
E3	Capacidad de análisis	0.5	5	2.5
E4	Experiencia con aplicación	0.5	5	2.5
E5	Experiencia con orientación a objetos	1	5	5
E6	Motivación	1	5	5
E7	Lenguaje de programación difícil	-1	0	0
E8	Requerimientos estables	2	3	6
<b>Factor ambiental total:</b>				<b>25,5</b>

**Tabla 68:Factor de complejidad ambiental (ECF)**

Por lo tanto el Factor de complejidad ambiental (ECF) corresponde a:

$$ECF = 1.4 + (-0.03 * T. Complejidad)$$

$$ECF = \mathbf{0,635}$$

Por lo cual los puntos de caso de uso (UCP) son:  $UCP = UUCP * TCF * ECF$

$$UCP = \mathbf{89 * 0,895 * 0,635}$$

$$UCP = \mathbf{50,580}$$

Considerando el factor de productividad de 20 horas hombre por punto de caso de uso ajustado.

El calculo de estimación de esfuerzo total es el siguiente:

$$\text{Esfuerzo total} = UCP * \text{Factor de Productividad}$$

$$\mathbf{\text{Esfuerzo total}} = 50,580 * 20$$

$$\mathbf{1015 H/H} = 50,580 * 20$$

Finalmente, la estimación de esfuerzo requerido total tiene que **1015 Horas Hombre** se utilización en la etapa de desarrollo del sistema web, lo que significa un 40% total de todo el proyecto. El 60% está dividido en partes iguales entre análisis/diseño y pruebas, lo que corresponde a una estimación de esfuerzo requerido en **761,25 Horas Hombre**.

## 15 ANEXO: CASO DE ESTUDIO

A continuación, se presenta el caso de estudio que se utilizó para el desarrollo de este proyecto.

### Datos caso de estudio:

- Programa de Protección del Patrimonio Familiar D.S. 255/06 de V. y U. Título II
- Provincia Concepción, Comuna Talcahuano
- Comité Los Guindos Térmico 2015 (15 postulantes)
- Ubicación: Avda. Las Golondrinas, población Diego Portales
- PSAT: Procas Ltda. Sotomayor 92, 41-2212568
- Constructora: Harol Mulchi
- Monto Proyecto 113 UF (110 Subsidio + 3 Ahorro)
- Proyecto CT-112/2015

### Situación actual - Reacondicionamiento

Ítem	Situación actual	Reacondicionamiento
Muro Frontal y Posterior (Zona Seca)	Ladrillo con doble estuco	Revestimiento Interior Poliestireno 20 mm más tablero
Muros Zona Húmeda	Ladrillo con doble estuco	Revestimiento Interior Poliestireno 20 mm más tablero
Ventanas	Vidrio	Cambio a DVH
Cielo	Tablero, madera, acero	Recambio cielo 100 mm con terciado 9 mm
Extractores	-	Se implementa extractores

Tabla 69: Situación actual - Reacondicionamiento

### Datos de reacondicionamiento

Presupuesto	Cantidad (m2)
Recambio cielo 100 mm con terciado 9 mm	37,85
Revestimiento interior en muros secos	12,74
Revestimiento interior en muros húmedos	4,46
Ventanas DVH	5,57
Incorporación Extractores	2

Tabla 70: Datos reacondicionamiento - Caso de estudio



## 16 ANEXO: SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Sistema Internacional		Conversión Sistema Imperial	Cambio en 1 unidad
\$(m <sup>3</sup> /s)	=>	\$(ft <sup>3</sup> /min)	0.000472000059660808
\$(W/K)	=>	\$(Btu/h-F)	0.52667614683731
\$/kW	=>	\$(kBtu/h)	0.293083235638921
\$/m <sup>2</sup>	=>	\$/ft <sup>2</sup>	0.0928939733269818
\$/m <sup>3</sup>	=>	\$/ft <sup>3</sup>	0.0283127014102352
(kg/s)/W	=>	(lbm/sec)/(Btu/hr)	0.646078115385742
1/K	=>	1/F	0.555555555555556
1/m	=>	1/ft	0.3048
A/K	=>	A/F	0.555555555555556
C	=>	F	1.8 (plus 32)
cm	=>	in	0.3937
cm <sup>2</sup>	=>	inch <sup>2</sup>	0.15500031000062
deltaC	=>	deltaF	1.8
deltaJ/kg	=>	deltaBtu/lb	0.0004299
g/GJ	=>	lb/MWh	0.00793664091373665
g/kg	=>	grains/lb	7
g/MJ	=>	lb/MWh	7.93664091373665
g/mol	=>	lb/mol	0.0022046
g/m-s	=>	b/ft-s	0.000671968949659
g/m-s-K	=>	lb/ft-s-F	0.000373574867724868
GJ	=>	ton -hrs	78.9889415481832
J	=>	Wh	0.000277777777777778
J/K	=>	Btu/F	0.00042986
J/kg	=>	Btu/lb	0.00042986
J/kg-K	=>	Btu/lb-F	0.000239005736137667
J/kg-K <sup>2</sup>	=>	Btu/lb-F <sup>2</sup>	0.000132889924714692
J/kg-K <sup>3</sup>	=>	Btu/lb-F <sup>3</sup>	7.38277359526066E-05
J/m <sup>2</sup> -K	=>	Btu/ft <sup>2</sup> -F	4.89224766847393E-05
J/m <sup>3</sup>	=>	Btu/ft <sup>3</sup>	2.68096514745308E-05
J/m <sup>3</sup> -K	=>	Btu/ft <sup>3</sup> -F	1.49237004739337E-05
K	=>	R	1.8
K/m	=>	F/ft	0.54861322767449
kg	=>	lb	2.2046
kg/l	=>	lb/Btu	2325.83774250441
kg/kg-K	=>	lb/lb-F	0.555555555555556
kg/m	=>	lb/ft	0.67196893069637
kg/m <sup>2</sup>	=>	lb/ft <sup>2</sup>	0.204794053596664
kg/m <sup>3</sup>	=>	lb/ft <sup>3</sup>	0.062428
kg/m-s	=>	lb/ft-s	0.67196893069637
kg/m-s-K	=>	lb/ft-s-F	0.373316072609094
kg/m-s-K <sup>2</sup>	=>	lb/ft-s-F <sup>2</sup>	0.207397818116164
kg/Pa-s-m <sup>2</sup>	=>	lb/psi -s-ft <sup>2</sup>	1412.00523459398
kg/s	=>	lb/s	2.20462247603796
kg/s <sup>2</sup>	=>	lb/s <sup>2</sup>	2.2046
kg/s-m	=>	lb/s-ft	0.67196893069637
kJ/kg	=>	Btu/lb	0.429925
kPa	=>	psi	0.145038
L/day	=>	pint/day	2.11337629827348
L/GJ	=>	gal/kWh	0.000951022349025202
L/kWh	=>	pint/kWh	2.11337629827348
L/MJ	=>	gal/kWh	0.951022349025202
lux	=>	foot -candles	0.092902267
m	=>	ft	3.28083989501312
m/hr	=>	ft/hr	3.28083989501312
m/s	=>	ft/min	196.850393700787
m/yr	=>	inch/yr	39.3700787401575

m2	=>	ft2	10.7639104167097
m2/m	=>	ft2/ft	3.28083989501312
m2/person	=>	ft2/person	10.764961
m2/s	=>	ft2/s	10.7639104167097
m2-K/W	=>	ft2 -F-hr/Btu	5.678263
m3	=>	ft3	35.3146667214886
m3	=>	gal	264.172037284185
m3/GJ	=>	ft3/MWh	127.13292
m3/hr	=>	ft3/hr	35.3146667214886
m3/hr-m2	=>	ft3/hr-ft2	3.28083989501312
m3/hr-person	=>	ft3/hr-person	35.3146667214886
m3/kg	=>	ft3/lb	16.018
m3/m2	=>	ft3/ft2	3.28083989501312
m3/MJ	=>	ft3/kWh	127.13292
m3/person	=>	ft3/person	35.3146667214886
m3/s	=>	ft3/min	2118.88000328931
m3/s-m	=>	ft3/min -ft	645.89
m3/s-m2	=>	ft3/min -ft2	196.85
m3/s-person	=>	ft3/min -person	2118.6438
m3/s-W	=>	(ft3/min)/(Btu/h)	621.099127332943
N-m	=>	lbf -in	8.85074900525547
N-s/m2	=>	lbf -s/ft2	0.0208857913669065
Pa	=>	psi	0.000145037743897283
percent/K	=>	percent/F	0.5555555555555556
person/m2	=>	person/ft2	0.0928939733269818
s/m	=>	s/ft	0.3048
V/K	=>	V/F	0.5555555555555556
W	=>	Btu/h	3.4121412858518
W/(m3/s)	=>	W/(ft3/min)	0.0004719475
W/K	=>	Btu/h-F	1.89563404769544
W/m	=>	Btu/h-ft	1.04072
W/m2	=>	Btu/h-ft2	0.316957210776545
W/m2	=>	W/ft2	0.09290304
W/m2-K	=>	Btu/h-ft2 -F	0.176110194261872
W/m2-K2	=>	Btu/h-ft2 -F2	0.097826
W/m-K	=>	Btu -in/h-ft2 -F	6.93481276005548
W/m-K2	=>	Btu/h-F2-ft	0.321418310071648
W/m-K3	=>	Btu/h-F3-ft	0.178565727817582
W/person	=>	Btu/h-person	3.4121412858518

**Tabla 71: Conversión de Sistema Internacional a Unidades Imperiales**

kP	=>	inHg	0.29523
m	=>	in	39.3700787401575
m3/s	=>	gal/min	15850.3222370511
Pa	=>	ftH2O	0.00033455
Pa	=>	inH2O	0.00401463
Pa	=>	inHg	0.00029613
Pa	=>	Pa	1
W	=>	W	1
W/m2	=>	W/m2	1
W/m-K	=>	Btu/h-ft-F	0.577796066000163
W/person	=>	W/person	1

**Tabla 72: Otras conversiones admitidas (necesita el código de \ip-units)**

\$
1/hr
A
Ah
A/V
Availability
Control
cycles/hr
days
deg
dimensionless
eV
hr
J/l
kg/kg
kg-H2O/kg-air
kmol
kmol/s
m3/m3
minutes
Mode
ms
ohms
percent
ppm
rev/min
s
V
VA
W/m2 or deg C
W/m2, W or deg C
W/s
W/W
years

**Tabla 73: Unidades de atributos, sin conversión.**