



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

BIM y Diseño Pasivo: Estudio comparativo del uso de módulos de evaluación energética integrados en herramientas BIM aplicado al análisis de estrategias de diseño pasivo en un caso de vivienda unifamiliar en Concepción.

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: Fernando Díaz Martínez

PROFESOR GUÍA: Rodrigo García Alvarado

CONCEPCIÓN, 08 de mayo de 2020

Resumen

Esta tesis, se toma tanto, del potencial de la metodología BIM para desarrollar proyectos de edificación que integren análisis energético, como de la carencia de investigación actual que compare y aborde en detalle la capacidad individual de las herramientas BIM, para ejecutar evaluación energética. En este sentido, se busca evaluar el uso y definir capacidades de módulos de análisis energético integrados en programas BIM, aplicado al caso de una vivienda con estrategias de diseño pasivo en la ciudad de Concepción, analizando comparativamente su flujo de trabajo, junto a la comprobación de resultados en indicadores de desempeño energético, frente a lo obtenido en un programa especializado de referencia.

La metodología a utilizar se basó en la modelación y análisis de un caso base que representaba la vivienda usualmente construida en la región, el que fue evaluado en tres herramientas distintas, el primero DesignBuilder® para generar una comparación de resultados con un programa especializado, y dos herramientas BIM, Archicad Y Revit, analizando el caso base, más tres estrategias de diseño pasivo distintas, las que fueron definidas mediante un análisis de estrategias bioclimáticas recomendadas para el clima de Concepción, en base a un **gráfico psicométrico** del que se accedió mediante la herramienta **Climate Consultant**. Paralelo a esto, se ejecutó un estudio de capacidades evidenciadas en el flujo de trabajo, ejecutado a través de una rúbrica de evaluación, la que se alimentó del proceso llevado a cabo en la simulación de casos, generando un aporte cualitativo a la investigación.

Los resultados obtenidos fueron variados, destacando cada herramienta en distintas actividades del flujo de trabajo, por lo que no se puede determinar cuál de las dos herramientas tiene mejor capacidad para ejecutar evaluación energética, sin embargo, se pudo demostrar a nivel de resultados de demanda de calefacción y refrigeración, que la herramienta Revit, obtuvo mejor desempeño en esta variable del flujo de trabajo.

De esta forma se pudo concluir que efectivamente las herramientas BIM estudiadas permiten en general, ejecutar un flujo de trabajo equivalente en capacidades y resultados al logrado en una herramienta BPS, sin embargo, aún existen variables en las que se debe avanzar, para reducir cuestionamientos observados en esta investigación.

Palabras claves: BIM, BEM, Evaluación energética, Diseño pasivo, análisis energético de viviendas.

Abstract

This thesis is taken both from the potential of the BIM methodology to develop building projects that integrate energy analysis, and from the lack of current research that compares and addresses in detail the individual capacity of BIM tools, to implement energy assessment. In this sense, we seek to evaluate the use and define the capacities of energy analysis modules integrated in BIM programs, applied to the case of a house with strategies of passive design in the city of Concepción, analyzing comparatively its workflow, together with the verification of results in energy performance indicators, as opposed to what has been achieved in a specialized reference software.

The methodology to be used was based on the modelling and analysis of a base case representing the dwelling usually built in the region, which was evaluated in three different tools, the first DesignBuilder[to generate a comparison of results with a specialized program, and two BIM tools, Archicad and Revit, analyzing the base case , plus three different passive design strategies, which were defined by an analysis of bioclimatic strategies recommended for Concepción's climate, based on a psychometric graph accessed through the Climate Consultant tool. Parallel to this, a study of skills evidenced in the workflow was carried out through an evaluation rubric, which fed the process carried out in the simulation of cases, generating a qualitative contribution to the research.

The results obtained were varied, highlighting each tool in different workflow activities, so it is not possible to determine which of the two tools has the best capacity to execute energy assessment, however, it could be demonstrated at the level of heating and cooling demand results, that the Revit tool, obtained better performance in this workflow variable.

In this way it was possible to conclude that, in fact, the BIM tools studied allow, in general, to execute a workflow equivalent in capacities and results to that achieved in a BPS tool, however, there are still variables in which to advance, to reduce questions observed in this investigation.

Keywords: BIM, BEM, Energy Assessment, Passive Design Strategies, Residential Energy Analysis

Índice

Resumen.....	3
CAPITULO 1: Introducción.....	9
1.1 Problemática	9
1.2 Relevancia	10
1.3 Hipótesis.....	10
1.4 Objetivo General	10
1.5 Objetivos Específicos.....	11
1.6 Metodología	11
CAPITULO 2: Marco Teórico.....	14
2.1 Metodología BIM.....	14
2.1.1 BIM en Chile	15
2.2 La vivienda en el Chile	16
2.2.1 Caracterización de la vivienda promedio en la región del Bío-bio.....	16
2.2.2 Normativa térmica Vigente	16
2.2.3 Demanda y consumo energético de la vivienda en Chile	17
2.3 Energía en la edificación.....	17
2.3.1 Flujos de energía	17
2.3.2 Demanda energética.	18
2.3.3 Consumo energético.	19
2.4 Simulación energética y Herramientas BPS software's.....	19
2.5 Confort Térmico	20
2.5.1 Modelos de confort térmico	20
2.5.2 Estándares internacionales y herramientas BIM	20
2.6 Rubricas de Evaluación.....	23
CAPITULO 3: Estado del Arte.....	23
3.1 BIM y Simulación energética	23
3.2 BIM y el flujo de trabajo a BEM.....	24
3.2.1 Flujo de trabajo BEM en Archicad	24
3.2.2 Flujo de trabajo BEM en Revit.....	25
3.3 Estrategias de diseño pasivo en viviendas y su integración de herramientas BIM.....	27
CAPITULO 4: Definición de Caso de Estudio.....	28
4.1 Morfología vivienda unifamiliar	28

4.2	Materialidad	29
4.3	Condiciones de borde (Inputs)	30
4.4	Selección BPS de referencia	31
4.5	Desempeño energético Caso Base	31
4.6	Estrategias pasivas a estudiar	32
4.6.1	Estrategia de Mejora de Envolvente	33
4.6.2	Estrategia de redimensionamiento y mejora en ventanas	34
4.6.3	Estrategia Combinada de Mejora de envolvente y ventanas	35
CAPITULO 5: Análisis y evaluación de capacidades en flujo de trabajo para simulación energética en BIM		35
5.1	Definición rúbrica de evaluación.....	35
5.2	Clima.....	37
5.2.1	Descripción clima	37
5.2.2	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	38
5.2.3	Evaluación de variable.....	39
5.2.4	Capturas de proceso.....	39
5.2.5	Descripción de Actividad / Variable en Revit	39
5.2.6	Evaluación de variable.....	40
5.2.7	Capturas de proceso.....	40
5.3	Ubicación y entorno	41
5.3.1	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	41
5.3.2	Evaluación de variable.....	42
5.3.3	Capturas de proceso.....	42
5.3.4	Descripción de Actividad / Variable en Revit	42
5.3.5	Evaluación de variable.....	43
5.3.6	Capturas de proceso.....	43
5.4	Definición Geometría	44
5.4.1	Descripción de Geometría.....	44
5.4.2	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	45
5.4.3	Evaluación de variable.....	45
5.4.4	Capturas de proceso.....	46
5.4.5	Descripción de Actividad / Variable en Revit	46
5.4.6	Evaluación de variable.....	47

5.4.7	Capturas de proceso.....	47
5.5	Actividad y perfiles de ocupación	48
5.5.1	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	49
5.5.2	Evaluación de variable.....	49
5.5.3	Capturas de proceso.....	50
5.5.4	Descripción de Actividad / Variable en Revit	50
5.5.5	Evaluación de variable.....	51
5.5.6	Capturas de proceso.....	51
5.6	Definición Materialidad de Envolverte.....	51
5.6.1	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	53
5.6.2	Evaluación de variable.....	54
5.6.3	Capturas de proceso.....	54
5.6.4	Descripción de Actividad / Variable en Revit	55
5.6.5	Evaluación de variable.....	55
5.6.6	Capturas de proceso.....	56
5.7	Iluminación y aporte solar.....	57
5.7.1	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	59
5.7.2	Evaluación de variable.....	59
5.7.3	Capturas de proceso.....	60
5.7.4	Descripción de Actividad / Variable en Revit	60
5.7.5	Evaluación de variable.....	61
5.7.6	Capturas de proceso.....	61
5.8	Definición de HVAC	62
5.8.1	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	63
5.8.2	Evaluación de variable.....	63
5.8.3	Capturas de proceso.....	64
5.8.4	Descripción de Actividad / Variable en Revit	65
5.8.5	Evaluación de variable.....	65
5.8.6	Capturas de proceso.....	66
5.9	Obtención de Resultados	66
5.9.1	Descripción de Actividad / Variable en Archicad	67
5.9.2	Evaluación de variable.....	67
5.9.3	Capturas de proceso.....	68

5.9.4	Descripción de Actividad / Variable en Revit	69
5.9.5	Evaluación de variable.....	69
5.9.6	Capturas de proceso.....	70
CAPITULO 6: Discusión de Resultados.....		71
6.1	BIM y la importancia de la interfaz para la evaluación energética	71
6.2	El nivel de especificación logrado en BIM	72
6.3	Calidad de Resultados obtenidos	73
6.3.1	Definición de Geometría	73
6.3.2	Definición de cargas internas	74
6.3.3	La Materialidad y propiedades térmicas.....	75
6.3.4	Demanda y Cargas de HVAC.....	76
CAPITULO 7: Conclusiones		78
7.1	Capacidad de herramientas BIM para la evaluación energética.....	78
7.2	Calidad de resultados obtenidos.....	79
7.3	Investigaciones sugeridas.....	80
8	Bibliografía	81
9	Anexos	85
10	Resumen informes de resultados.....	85
10.1	Caso Base Design Builder	85
10.2	Estrategia 1 Modificación Envoltente.....	87
10.3	Estrategia 2, modificación ventanas Design Builder	89
10.4	Caso Base Archicad.....	91
10.5	Estrategia 1, mejora envoltente opaca, Archicad.....	92
10.6	Estrategia 2, modificación ventanas, Archicad	93
10.7	Estrategia 3, Estrategias Combinadas	94
10.8	Caso Base Revit	95
10.9	Estrategia 1, mejora de envoltente opaca.....	95
10.10	Estrategia 2, modificación ventanas	96
10.11	Estrategia 3, estrategias Combinadas	97
11	Revisión estadística materialidad viviendas CENSO 2017.....	98
12	Ejemplo Variación de resultados por motor de cálculo en BESTEST ASHRAE 140.....	100

CAPITULO 1: Introducción

1.1 Problemática

Conforme pasan los años, la industria de la construcción y todas las especialidades que ésta requiere (AEC), ha tenido que adecuar sus procesos y prácticas profesionales a las nuevas tecnologías que surgen, con el fin de acelerar procesos, minimizar pérdidas y optimizar recursos y resultados (Lazo y Ogueta 2017). Una de las últimas y más significativas actualizaciones, corresponde a la implementación de BIM (Building information Modelling). BIM, más que ser visto como una nueva tecnología dentro de la industria, se plantea como un cambio de paradigmas en torno a la forma que se desarrollan, construyen y monitorean los proyectos, estableciéndose como una nueva metodología, en la que se busca integrar a todas las disciplinas en torno a un ambiente de trabajo común, el modelo virtual.

Si bien, en los últimos años, el avance e implementación de ésta metodología ha sido potente en países desarrollados, en Chile su implementación sigue siendo incipiente, debido principalmente a que ésta requiere de la coordinación de múltiples factores de la industria, encontrándose por esta razón aún, en etapa de reconocimiento y adaptación a este sistema, según lo declarado en encuestas nacionales BIM (Loyola 2013; 2016). A pesar de esto, existen disciplinas que sí han alcanzado cierto grado de adaptación mayor, siendo el caso de la arquitectura, en la que los programas y su metodología, han penetrado con mayor fuerza, gracias en parte, a la familiaridad de sus profesionales con la Modelación 3D. Esto ha quedado demostrado, en la última encuesta nacional de implementación BIM (Loyola 2019), en la que se evidencia, que el 69% de los profesionales encuestados declara hacer uso de Softwares BIM directa e indirectamente, aunque, según se declara en el mismo informe, el uso de estas herramientas es aún, muy básico e inconexo con otras especialidades. Es de esperar, que el país entre en una etapa de madurez respecto al uso de BIM, avanzando hacia una mayor colaboración e integración entre especialidades, logrando así, abarcar todo el ciclo de vida de los edificios.

Es por la motivación de integrar más especialidades al uso de herramientas BIM, que la investigación pone el énfasis en los consultores y profesionales dedicados al diseño, análisis y certificación energética, ya que, la cantidad y calidad de la información que entregan estos modelos BIM, resultan óptimas para la aplicación de análisis energético, permitiendo generar un BEM (Building Energy Model) sin la necesidad de programas externos.

Sin embargo, actualmente, el desarrollo de investigaciones que busquen cualificar y comparar los módulos de análisis energético que traen integrados estos programas es incipiente, y nula en el caso de investigaciones que midan su efectividad de análisis, ante estrategias de diseño pasivo. Esto se debe, en parte, a que las investigaciones que vinculan Diseño sustentable y BIM (Lobos, Wandersleben y Castillo 2014; Kamel y Memari 2019; Cemesova, Hopfe y McLeod 2015; El Asmi et al. 2015) han sido planteadas mientras estos módulos se encontraban aún en desarrollo, encontrándose en desventaja frente al desarrollo de herramientas BPS. Es así como las investigaciones se relacionaron a la interoperabilidad de BIM con BPS, distinto del estado en el que se encuentran actualmente, donde las últimas versiones de software BIM, han integrado y generado módulos capaces de evaluar una multiplicidad de aspectos ligados al diseño sustentable, los que

además se basan en motores de cálculo energético comunes para los programas especializados, como lo son VIPcore, DOE-2, Energyplus, etc.

Con estos antecedentes, se evidencia un vacío de conocimiento que es necesario investigar, para así evaluar y estudiar, por una parte: (1) los avances en torno a análisis energético que se puede llevar a cabo a través de BIM, y de cómo estos pueden o no llegar a competir con software especializados utilizados actualmente en la industria. Además, (2) revisar los beneficios que significaría plantear y evaluar estrategias pasivas en BIM, sin tener que verificarlas en otros programas, como ocurre actualmente, o sin verificación en el peor de los escenarios.

1.2 Relevancia

La relevancia de esta investigación, pasa principalmente por estudiar el análisis energético de estrategias de diseño pasivo en programas BIM, desde las posibilidades de cálculo que ofrece la herramienta misma, sin realizar una exportación a software's BPS para su cálculo. Este es un punto que no ha sido tratado hasta ahora, tanto a nivel nacional como internacional, donde las investigaciones se han enfocado en: (1) definir y resolver problemas de interoperabilidad de software BIM y Building Performance Simulation, BPS (Lobos, Wandersleben y Castillo 2014; Cemesova, Hopfe y McLeod 2015; El Asmi et al. 2015), (2) plantear análisis de consumo energético por orientación generados en BIM y evaluados en BPS (Abanda y Byers 2016), (3) estudios de implementación de BIM en Chile (Eliash 2015; Lazo y Ogueta 2017), y (4) la utilización de BIM para monitorear desempeño de edificios construidos (Gerrish et al. 2017; Liu, Meng y Tam 2015) entre otras, resultando un vacío de información el abordar la perspectiva de uso de BIM y su vinculación con el diseño sustentable en etapas tempranas del proyecto.

Además, de la investigación se esperan resultados que pueden ser importantes a considerar por especialistas de la sustentabilidad, considerando que actualmente en el caso chileno, el tema de los software de evaluación energética solo se trata en los TDRe (DECON UC; CITEC UBB 2016), y se plantea como una recomendación de que software a utilizar, existiendo solo programas especializados en la actualidad, pero que gracias al aporte de esta investigación, quizás podrían en un futuro comenzar a considerar a las herramientas BIM de ser positivos los resultados de esta y futuras investigaciones.

1.3 Hipótesis

El análisis energético ejecutado en módulos integrados en las herramientas BIM Archicad® y Revit®, permite desarrollar un flujo de trabajo equivalente en capacidades y resultados al logrado en la herramienta BPS. Ambos programas, permiten obtener un puntaje en la evaluación de capacidades y resultados, que no difieren en más de 5 puntos al obtenido en la herramienta BPS para más del 50% de variables evaluadas y detalladas posteriormente, tanto a nivel de evaluación de capacidades generales, como en resultados de demanda y carga de calefacción y refrigeración.

1.4 Objetivo General

Evaluar el uso y definir capacidades de módulos de análisis energético integrados en programas BIM, aplicado al caso de una vivienda con estrategias de diseño pasivo en la ciudad de Concepción, analizando comparativamente su flujo de trabajo, junto a la comprobación de resultados en

indicadores de desempeño energético, frente a lo obtenido en un programa especializado de referencia.

1.5 Objetivos Específicos

1. Identificar estrategias de diseño pasivo con mayor impacto en el clima de Concepción en base a un análisis de gráfico psicométrico y revisión bibliográfica.
2. Identificar vivienda representativa de la región del Bío-bio, en base a revisión estadística y bibliográfica, para su utilización como caso base.
3. Analizar las actividades y flujos de trabajo necesarios de ejecutar por el usuario para la realización de una evaluación energética en las herramientas BIM estudiadas, comparándolas y cualificando sus capacidades y características.
4. Evaluar el caso base y las estrategias de diseño pasivo en los “módulos de evaluación energética” presentes en herramientas BIM Revit y Archicad, comparando entre ellos y el programa especializado de referencia Design Builder, los resultados de demanda y cargas de calefacción junto a refrigeración.
5. Definir capacidades y potencialidades en el uso de herramientas BIM para la evaluación energética de viviendas unifamiliares a lo largo de todo el flujo trabajo, destacando los resultados de demanda y cargas de calefacción junto a refrigeración.

1.6 Metodología

La metodología a utilizar en esta investigación, es de carácter experimental e incluye evaluaciones cuantitativas y cualitativas, estas se llevan a cabo en torno a un modelo base al que se le incorporarán distintas estrategias de diseño pasivo, las que serán posteriormente evaluadas en 3 herramientas distintas, una especializada, BPS y dos programas BIM. Esto permitirá generar un estudio comparativo que evalúa el uso de los programas BIM en torno al flujo de trabajo realizado para la obtención de resultados de desempeño energético, junto a un análisis adicional de estos indicadores, que compruebe los resultados obtenidos en los programas BIM frente a los resultados de referencia obtenidos en el programa BPS. A continuación, se muestra la metodología descrita anteriormente en un esquema de flujo presentado en la **figura 1**.

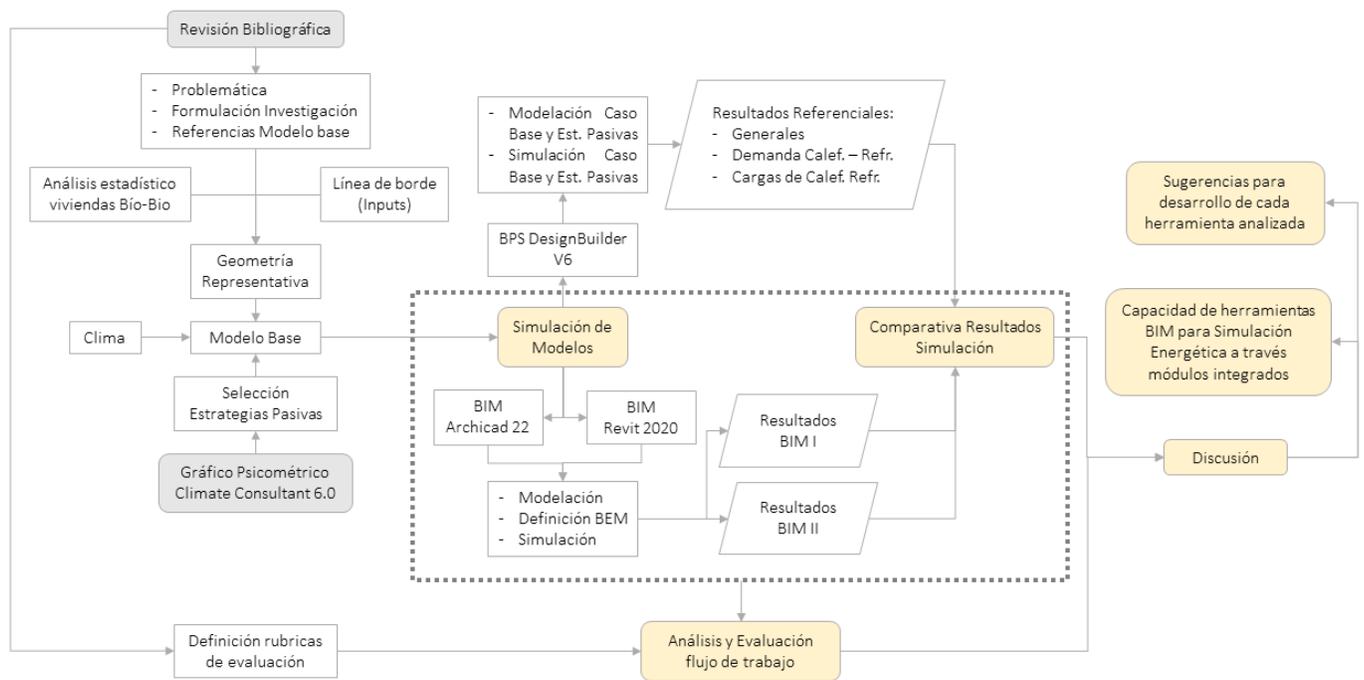


Figura 1

Fuente: Elaboración propia

El proceso metodológico graficado en la **Figura 1**, es detallado a continuación, señalando los objetivos específicos y las labores de la metodología que se realizan para alcanzar ese objetivo.

1. Identificar estrategias de diseño pasivo con mayor impacto en el clima de Concepción en base a un análisis de gráfico psicométrico y revisión bibliográfica.

- Con el objetivo de definir las estrategias de diseño pasivo de mayor impacto para el clima de Concepción, se ejecuta un análisis climático en la herramienta Climate Consultant 6.0, utilizando como referencia de confort la norma ASHRAE. En este análisis, y a través de un gráfico psicométrico desarrollado por Víctor Olgyay y Baruch Givoni, el software visualiza las estrategias tanto activas como pasivas, que poseen mayor impacto al momento de alcanzar el rango de confort deseado.
- Una vez obtenidas las estrategias de mayor impacto para el clima evaluado, estas, se enfocaron solo en estrategias de diseño pasivo, clasificándolas según tipo y parte de la edificación a la que impactan.
- Paralelamente se realiza revisión de normativas, definiendo unidades de medida y valores referenciales a tener presentes según cada estrategia seleccionada.

2. Identificar vivienda representativa de la región del Bío-bio, en base a revisión estadística y bibliográfica, para su utilización como caso base.

- Mediante revisión estadística de los permisos de edificación para viviendas aprobados entre los años 2014-2018, se definió la superficie de vivienda representativa de la región para diseñar el caso base.
- En base a un análisis estadístico de los resultados del Censo 2017 (**ver anexo0**), se define la materialidad más común en viviendas unifamiliares en la región del Bío-bio, para su implementación en el caso base.
- En base al informe de “Usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile”(Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2010), se definieron las tipologías de viviendas más comunes en la región, seleccionando una de ellas para su utilización en el caso base.

3. Analizar las actividades y flujos de trabajo necesarios de ejecutar por el usuario para la realización de una evaluación energética en las herramientas BIM estudiadas, comparándolas y cualificando sus capacidades y características.

- Seleccionar en base a revisión bibliográfica y comercial, las dos herramientas que actualmente tengan mayor presencia en la industria AEC en Chile.
- Identificar flujo de trabajo necesario para la realización de análisis energético en ambas herramientas BIM.
- Definir la estructura de comparación y rúbricas de evaluación cualitativa, para actividades del flujo de trabajo identificado.

4. Evaluar el caso base y las estrategias de diseño pasivo en los “módulos de evaluación energética” presentes en herramientas BIM Revit y Archicad, comparando entre ellos y el programa especializado de referencia Design Builder, los resultados de demanda y cargas de calefacción junto a refrigeración.

- Modelar caso base y mejoras de diseño pasivo en cada herramienta, ingresando nivel de información similar y robusta en cada una, registrando problemas que se presenten.
- Simular la línea base y estrategias de diseño pasivo aplicadas, partiendo desde el programa especializado DesignBuilder 6.0 y continuando con la simulación en los programas BIM seleccionados.
- Procesar los resultados obtenidos, comparándolos y clasificándolos según métricas, tipo de estrategia y herramienta utilizada.

5. Definir capacidades y potencialidades en el uso de herramientas BIM para la evaluación energética de viviendas unifamiliares a lo largo de todo el flujo trabajo, destacando los resultados de demanda y cargas de calefacción junto a refrigeración.

- Precisar capacidad de las herramientas BIM para ejecutar análisis energético de viviendas con estrategias de diseño pasivo, precisando porcentaje de resultados en demandas y cargas de calefacción y refrigeración que fueron obtenidos satisfactoriamente.
- Seleccionar la herramienta BIM dentro de las evaluadas, que actualmente resulta más apropiada para la realización de evaluación energética en viviendas que contengan estrategias pasivas.
- Concluir en base a toda la información recopilada, las capacidades y desempeño de las herramientas BIM para su uso en evaluación energética de viviendas con implementación de estrategias de diseño pasivo en desmedro de la realización de estas en un programa especializado.

CAPITULO 2: Marco Teórico

2.1 Metodología BIM

En el contexto de industria AEC, por muchos años se aceptó y fomentó el desarrollo individual por parte de cada especialidad involucrada en la ejecución de una edificación, dejando la convergencia de todas ellas para la etapa de construcción. Esto propició un estancamiento en la producción de la industria, producto de la constante aparición de diferencias entre especialidades en una etapa tardía, debiendo destinar tiempo valioso a la corrección de estos errores que se podían evitar con una interacción temprana y continua entre los actores.

Ante esto, la necesidad de implementar nuevas tecnologías y estrategias que permitieran enfrentar y resolver estas problemáticas tempranamente, se volvió una preocupación transversal en países desarrollados (EUBIM TASKGROUP 2017). Nace así, el interés por avanzar decididamente en la adopción de la metodología BIM en la industria AEC ligada tanto a proyectos privados como públicos.

BIM (Building Information Modeling) como es su definición en inglés, no es una metodología para nada nueva, si bien su conocimiento y uso en la industria viene en aumento en estos últimos 20 años, el término y significado de lo que comprendía se había comenzado a desarrollar en los años 70, teniendo a Charles Eastman como una figura importante en su surgimiento y desarrollo a lo largo de todos estos años. (Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks 2008) Su objetivo principal, es generar una réplica virtual de una edificación: replicar su geometría e información; su proceso constructivo; su comportamiento energético y vida útil; entre muchas otras cosas, todo esto manejado en un ambiente común para todos como lo es la modelación virtual (Lazo y Ogueta 2017). Si bien, existe consenso en los componentes generales de la metodología BIM, entender el significado del término no es tan claro, pues existe una amplia variedad de significados, siendo la propuesta por M.A

Mortenson Company, una de las definiciones mayormente aceptadas de BIM *...” una simulación inteligente de la arquitectura” ...* donde para poder lograr una entrega integrada, la simulación debe presentar seis características principales: **(1) ser digital**, **(2) Espacial (3D)**, **(3) medible** (cuantificable, dimensionable), **(4) Integral** (encapsular y comunicar la intención del diseño, el rendimiento del edificio, la constructibilidad, e incluir aspectos secuenciales y financieros de los medios y métodos), **(5) Accesible** (a todo el equipo AEC como al propietario por medio de una interfaz intuitiva e interoperable) y **(6) Duradero** (Para poder ser utilizado en todas las fases de vida de una edificación)(Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks 2008).

Es importante también señalar que, a pesar, de que la metodología ha ido en ascenso sostenido en su implementación, acompañado en muchos países por normativas que fomentan y obligan su uso, existen problemas y desafíos latentes relacionados a su implementación, centrándose en problemas técnicos. Entre estos problemas técnicos se cuentan: interoperabilidad de software, costo de software y capacitación de empleados, y problemas no técnicos como: incertidumbres legales, cambio cultural, interrupción en el flujo de trabajo, entrega de proyectos y contratos (Antwi-Afari et al. 2018). Todos estos, problemas comprensibles, evidencian lo dificultoso que resulta ser la adopción de nuevas metodologías que cambian completamente los paradigmas de una industria, pero que sin lugar a dudas será un aporte a la industria, y tendrá mucho mayor desarrollo futuro, en múltiples áreas.

2.1.1 BIM en Chile

La metodología BIM, si bien, registra su primera implementación a fines de los 90s en el país, es a mediados del 2000 en que se hace notar su presencia en el mercado, principalmente por parte de profesionales dedicados a la Inspección Técnica de Obras (ITO), así como también por gerencias de proyectos, enfocando el modelamiento de proyectos a partir de planimetría 2D y el uso de estos modelos principalmente para la detección y solución de interferencias entre especialidades. Esto último, fue lo que permitió expandir el conocimiento de estas herramientas en la industria, sin embargo, la utilización de estas herramientas en problemas de interferencia, además de expandir el uso, también sirvió para fomentar el desconocimiento del resto de facultades que ofrecía esta metodología a los profesionales(Loyola 2014).

Otro hecho significativo en la implementación en el país, fue que, a partir del año 2011, algunas instituciones del estado comenzaron a incluir su uso en las licitaciones, principalmente en proyectos de aeropuertos, centros médicos, entre otros, impulsando así, por medio del poder de compra del estado la utilización e integración de BIM en la industria AEC en Chile. Esto se vio aún más potenciado con la creación de organizaciones que buscaban expandir su uso en el país, como por ejemplo, Planbim, que en el año 2016 es creada gracias al aporte de la Corfo y otras instituciones ligadas a la construcción, teniendo como principal objetivo, la creación de estándares bajo los cuales se pudiera ejecutar BIM en Chile (Lazo y Ogueta 2017).

Si bien, en un inicio esta iniciativa declaraba que su meta era lograr una estandarización y uso transversal de BIM para todas las licitaciones de edificaciones públicas, esta meta fue demasiado ambiciosa y debido a múltiples factores se ha ido aplazando en el tiempo. A pesar de esto, este año, Planbim, publicó los estándares BIM para proyectos públicos, lo que sin duda es un impulso importante para toda la industria, ya que plantea estándares que se apegan a la realidad local,

trazando términos y definiciones para que sean de uso transversal en el país. La estructuración de estos estándares se da bajo cuatro conceptos claves: (1) usos BIM, (2) Tipos de información TDI, (3) Niveles de información NDI, y (4) Estados de avance de la información de los modelos (Soto, Manríquez y Godoy 2019).

Finalmente, una de las herramientas que ha permitido sacar la radiografía del estado de implementación de BIM en el país, ha sido la encuesta nacional BIM, reporte impulsado por la Universidad de Chile en el año 2013, y que se repite cada 3 años, siendo este año 2019, su última edición. Los datos arrojados por esta encuesta, han mostrado el aumento sostenido de BIM por parte de la industria AEC en Chile a través de estos 9 años de medición, destacando en este último año, que, si bien el uso va en aumento, el principal desafío a nivel país es poder avanzar en la maduración de su uso, saliendo del uso básico que se le da en general hasta ahora y perfeccionando su uso avanzado (Loyola 2019).

2.2 La vivienda en el Chile

2.2.1 Caracterización de la vivienda promedio en la región del Bío-bio

La región del Bío-bio, con poco más de 1.9 millones de metros cuadrados de vivienda autorizada y construida al año 2017, es la tercera región que mayor aporta a esta estadística, siendo superada sólo por la región de Valparaíso y Metropolitana respectivamente (INE 2018), consagrándose como una de las regiones con mayor construcción de este tipo, y por lo tanto de mayor interés para evaluar y medir la calidad de las viviendas.

En la actualidad, existen múltiples instrumentos estadísticos que permiten hacer la caracterización de la vivienda promedio de la Región del Biobío, la que es de 75m² en promedio, según análisis de permisos de edificación otorgados por los Departamentos de Obras de distintas comunas de la región (ver anexo 0), siendo las viviendas pareadas y aisladas las tipologías de agrupamiento más representativas (Corporación de Desarrollo Tecnológico 2010). La materialidad predominante es la albañilería armada combinada con tabiquería liviana de madera o perfilaría de acero, todo lo anterior, es en base a las viviendas construidas y correctamente recepcionadas por los organismos competentes, dejando de lado viviendas de autoconstrucción de las que no se cuenta con mayor registro de características, más que los Censos realizados cada cierto periodo de tiempo, los cuales tampoco arrojan un número de viviendas con su construcción debidamente legalizada.

2.2.2 Normativa térmica Vigente

Contenida en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), la normativa térmica tiene ya varias décadas de vigencia, y desde su presentación en el año 1994, ha ido estableciendo paulatinamente distintas exigencias en torno al comportamiento térmico y desempeño térmico de las edificaciones nuevas desde su promulgación.

Su estructuración se ha planteado en tres etapas generales, donde en la primera etapa se establecieron exigencias para los complejos de techumbre, luego en la segunda se integraron las exigencias a muros, pisos ventilados y ventanas, ambos puntos implementados y vigentes desde el año 2006, pero existe un tercer punto que aún no entra en vigencia, ni existe fecha aproximada para que esto ocurra. La tercera etapa anteriormente referida, es la que plantea exigencias sobre la certificación energética y térmica de las edificaciones (Encinas y de Herde 2009).

Si bien, esta etapa no entra en vigencia actualmente, si se han realizado labores que conducen y orientan a esta etapa, ejemplo de esto, son las certificaciones energéticas de edificaciones en su sigla CEV para la destinada a viviendas y CES para edificios, ambas, surgidas de la colaboración entre el Ministerio de Vivienda y urbanismo con el Ministerio de energía, y entradas en vigencia desde los años 2012 y 2014 respectivamente. Estas buscan fomentar la construcción sustentable tanto de viviendas como de edificaciones, inspirando su metodología de sistemas de certificación internacionales consolidados, como lo son LEED y BREEAM (MINVU 2012; Instituto de la Construcción 2014). Si bien ambas certificaciones actualmente son de carácter voluntario, la proyección de estas, se direcciona a llegar a ser obligatorias, ejemplo de esto, es lo que ocurre en edificaciones públicas, donde se ha hecho requisito obligatorio el poseer la certificación CES.

Finalmente, otro de los actores importantes y que si bien está destinado principalmente a edificios, apoya la reglamentación térmica, nos referimos a los Términos de referencia estandarizados (TDRé), desarrollados por DECON UC y CITEC UBB, son términos que, como se declara en el documento ...” tienen por objetivo incorporar exigencias, criterios de desempeño y estándares de eficiencia energética y confort ambiental, junto con procedimientos de verificación en diseño y obra para su incorporación en licitaciones de edificios públicos” ... (DECON UC; CITEC UBB 2016). Los términos se ordenan en cuatro puntos generales que abordan distintas temáticas: (1) Diseño pasivo, (2) Ahorro de energía, (3) Confort ambiental y (4) Ahorro de agua.

2.2.3 Demanda y consumo energético de la vivienda en Chile

Si bien, anterior a la llegada de la certificación energética de viviendas (CEV), la información oficial en torno a la demanda y consumo energético de viviendas promedio, era escasa y contradictoria (Escorcia Oyola et al. 2013), con la implementación de esta certificación se caracterizaron los consumos y demandas energéticas promedio de las viviendas chilenas, definiendo que, (1) más de la mitad del consumo de las viviendas estaba destinado, a suplir demandas de calefacción (56%), (2) el consumo actual en viviendas es en promedio 192 kWh/m²año, definiendo 88 kWh/m²año como el consumo óptimo a alcanzar. Por último se declara que, (3) desde la entrada en vigencia de la 2° etapa de la reglamentación térmica la demanda promedio de calefacción en una vivienda es de 111 kWh/m²año (Ditec 2014).

Como se puede apreciar anteriormente, en temas de consumo, se ha avanzado mucho estos últimos años, sin embargo, al no ser obligatorio el proceso de certificación de viviendas, muchas de las viviendas del país, no cumplen ni se acercan a los niveles de consumo promedios ni óptimos, ejemplo de esto es lo que se declara en documentos de la CEV, donde se declara que el promedio de consumo mayor puede llegar a superar los 340 kWh/m²año, lo que está muy distante de los 88 kWh/m²año que se declaran como consumo ideal (Ditec 2014).

2.3 Energía en la edificación

2.3.1 Flujos de energía

Tal como señala (Bustamante Gómez et al. 2009), existen tres mecanismos de movimientos de energía desde la zona caliente de los edificios a una fría, que son la radiación, la convección y la conducción. Este proceso físico se denomina "Flujo de calor" y varía según el clima, las temperaturas

máximas diarias, la orientación del edificio y la exposición a la radiación solar. La **Ilustración 1** muestra una representación gráfica de estos principios considerando las circunstancias del edificio.

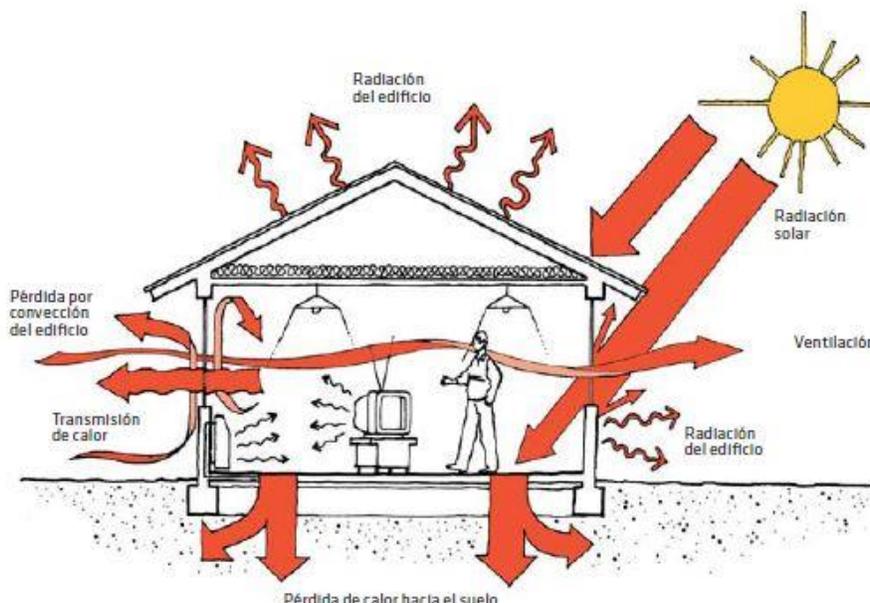


Ilustración 1 Mecanismos de transferencia de calor en un recinto

Fuente: (Bustamante Gómez et al. 2009)

El mismo autor, también describe a la conducción como el calor transferido por contacto directo entre los elementos, siendo el valor U (o U factor) la unidad de medida utilizada a nivel internacional para medir la velocidad de transferencia de calor por conducción. Las unidades utilizadas para expresar este proceso son vatios por metro cuadrado por grado Kelvin ($W / m^2 \cdot K$) (MINVU 2018)

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

Ilustración 2 Formula Transmitancia Térmica

Fuente: (MINVU 2018)

La convección por otro lado, corresponde al calor transferido por gases y líquidos, que es causado por el movimiento de las corrientes, resultando en la expansión y elevación de un gas o líquido caliente.

Finalmente, la energía transferida a través de ondas electromagnéticas directamente al edificio se llama radiación. Por ejemplo, la energía calorífica recibida en la Tierra desde el sol se transmite mediante un proceso de radiación (Bustamante Gómez et al. 2009).

2.3.2 Demanda energética.

“La demanda de energía está referida a la cantidad de energía que se necesita para satisfacer una necesidad” (Bustamante Gómez et al. 2009), se expresa en ($kWh/m^2 \cdot año$), y es la métrica que representa la cantidad de energía que es requerida para calefaccionar o refrigerar un edificio, considera los fenómenos térmicos que se dan en la edificación y se determina según la cantidad de

energía que se necesita para suplir una necesidad térmica en relación al balance energético que ocurre entre las pérdidas y ganancias de calor, definidas por múltiples factores que impactan en la edificación (infiltración, ventilación, características de la envolvente, radiación solar, cargas internas de equipos y ocupantes, etc.)

2.3.3 Consumo energético.

El consumo energético se refiere a las mismas variables descritas en la demanda, y que impactan en la edificación, lo que genera ganancias y pérdidas térmicas. La diferencia se encuentra en que el consumo agrega a esta ecuación, el factor de rendimiento del sistema utilizado para suplir esa necesidad, por lo que, si bien, se mide en (kWh/m²*año) al igual que la demanda energética, este valor siempre tiende a ser mayor al de la demanda, al tener un rendimiento que nunca será un 100% (Bustamante Gómez et al. 2009).

2.4 Simulación energética y Herramientas BPS software's

Luego de la crisis del petróleo ocurrida en los años 70s, explotó el desarrollo y preocupación por conocer las condiciones energéticas de las construcciones. Dentro de este contexto, y siendo impulsado por el uso y desarrollo masivo de las herramientas computacionales, permitió que desde ese momento comenzaran a desarrollarse múltiples herramientas informáticas tanto estáticas como dinámicas, que permitían calcular y cuantificar el desempeño térmico y energético ligado a las edificaciones. Destacándose dentro de este contexto múltiples herramientas que van desde, (1) herramientas gratuitas como DOE, eQUEST, DOE-2 y su derivación en Energy-Plus, (2) de uso científico desarrolladas por Universidades y de escasa distribución, (3) otros programas de pago, creados por desarrolladores independientes, o incluso (4) herramientas de cálculo surgidas a partir de certificaciones y legislaciones como LIDER, CEPE, PHPP o CTE PBDT en Chile (García-Alvarado et al. 2014), y la recientemente utilizada herramienta de cálculo para la certificación CES, herramienta que está vigente y con continuas mejoras desde el lanzamiento de la certificación en el año 2014.

Otro de los factores importantes que rodean los BPS, es la validación con que cuenta esta herramienta, ya sea algún estándar ISO o en su defecto el estándar ANSI/ASHRAE 140. Este último, es el método de evaluación de software de evaluación de desempeño energético líder en la industria, teniendo su última versión en el año 2017, 5ta versión desde que se lanzó en el año 2001 (Charron 2019), permitiendo avanzar y perfeccionar mucho más la estandarización y nivel de desarrollo que se le exigen a este tipo de herramientas de cálculo.

Finalmente, las herramientas que presenta mayor potencial en el análisis de desempeño energético de edificios, son las herramientas ligadas a la metodología BIM, donde, producto de la masificación e incremento de la adopción de BIM en la industria AEC (Habibi 2017), ha permitido que se generen esfuerzos para poder vincular directamente estas herramientas con análisis energético, ya sea mediante interoperabilidad de herramientas gracias a formatos IFC y gbXML (Lobos, Wandersleben y Castillo 2014; El Asmi et al. 2015), o también con el desarrollo energético llevado a cabo dentro de los mismos software's BIM, con la creación de BEM, esto logrado gracias a la incorporación de motores de cálculos comunes para software's BPS como lo son Energy-plus y DOE-2.

2.5 Confort Térmico

La definición de confort térmico y en especial los rangos que deben ser considerados óptimos, se han estado cuestionando continuamente en la última década, debido a que se entiende que la sensación de confort es personal y que puede cambiar entre culturas y personas. Una definición resumida es la expresada por ASHRAE 55, donde señala que el confort térmico es ...”la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y se aprecia por evaluación subjetiva” ... (ANSI/ASHRAE 2017). Desde el Berkeley Lab, aportan a esta definición señalando que el confort térmico es una evaluación subjetiva de una persona, que expresa su satisfacción con su ambiente térmico local, y que además, existe un número de variables que influyen en el equilibrio térmico del cuerpo con el medio ambiente, y a su vez influyen en la percepción del confort térmico de la persona, dentro de las cuales se encuentra: (1) La actividad del ocupante, (2) la vestimenta, (3) la temperatura del aire, (4) temperatura radiante, (5) velocidad de aire, y (6) humedad (Regnier 2012).

Es en este contexto, en el que se desarrollan conceptos como confort adaptativo, modelo implementado por ASHRAE 55 desde su versión 2010, y en donde en general se define como un ...” modelo que relaciona rangos de temperaturas interiores aceptables con parámetros climáticos exteriores” ... (DECON UC; CITEC UBB 2016)

2.5.1 Modelos de confort térmico

Tal como se ha señalado con anterioridad, el confort térmico es un factor determinante tanto en el diseño como vida útil de una edificación. Si bien se acepta el hecho de que es un factor que tiene mucho de subjetividad, desde los años 70s que se han venido desarrollando tanto investigaciones (PO Fanger 1970), como modelos que permitan estandarizar el confort térmico de los ambientes interiores, que a su vez a impulsado una serie de normativas internacionales ligadas al confort térmico interior.

Entre los principales modelos de confort térmico desarrollados durante estos años destacan dos:

- (1) **El modelo steady-State**, desarrollado por Fanger en los años 70, donde por medio de estudios realizados en una cámara climática, permitió predecir la sensación térmica de un grupo de personas y su porcentaje de insatisfacción en relación al ambiente térmico, surgiendo dos siglas que regían este modelo, PMV (predicted Mean vote) y PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied). Modelo que posteriormente fue la base para los estándares ASHRAE 55 1992 e ISO 7730 (Arballo et al. 2016).
- (2) **El modelo Adaptativo**, basado en los principios de adaptabilidad del cuerpo humano, declara en generar que si ocurre un cambio en las condiciones internas y externas que como resultado le produjese disconformidad a la persona, esta se adaptan para poder restaurar su situación de confort, por lo que este modelo determina ciertos límites de rangos de aceptación térmica y la temperatura de confort optima se adaptara según las condiciones interiores definidas (ANSI/ASHRAE 2004; Arballo et al. 2016).

2.5.2 Estándares internacionales y herramientas BIM

Para que una herramienta de cálculo energética sea útil en la industria, debe ser validada en relación a estándares internacionales, ejemplo de esto son los estándares ASHRAE 140 y 90.1.

El primero de ellos, es un método de prueba referencial, utilizado para identificar y diagnosticar diferencias predictivas de programas de simulación de energía de edificios enteros que pueden ser causadas por diferencias algorítmicas, limitaciones de modelado, diferencias de entrada, o errores de codificación (ASHRAE 2001), método de evaluación medido en general, en los motores de calculo que implementan posteriormente las distintas herramientas.

El método evalúa distintas características del programa agrupadas en cuatro secciones:

- a) Construcción de envolvente térmica y definición de cargas.
- b) Construcción de envolvente térmica y pruebas básicas de cargas.
- c) Construcción de envolvente térmica y pruebas de detalle de cargas.
- d) Rendimiento del equipo HVAC en caso base.
- e) Pruebas de variación de parámetros de rendimiento del equipo HVAC.

El método se compone por tres técnicas de validación (**ver Tabla 1**), siendo considerados validados para los casos en que se logró un resultado aceptable (Por ej. Para una tipología de edificios, climas y sistemas HVAC representados en los casos de prueba). Una vez que varios programas de simulación detallados hayan completado satisfactoriamente el procedimiento de validación, se pueden probar otros programas y herramientas de diseño simplificadas, sección en la que se enmarca esta investigación, por ejemplo.

Sin desmedro de lo anterior, cabe necesario señalar que un programa validado no necesariamente representa la verdad, representa un conjunto de algoritmos que se han demostrado, a través de un procedimiento repetible, realizado de acuerdo al desarrollo actual del área de conocimiento (Judkoff 2006).

Técnicas de Validación		
Técnicas	Ventajas	Desventajas
Empírica Prueba de modelo y proceso de solución	* Estándar de verdad aproximado dentro de la precisión experimental * Cualquier nivel de complejidad	* Incertidumbres experimentales: - Calibración de instrumentos, discretización espacial / temporal. - Conocimiento imperfecto / especificación del objeto experimental (construcción) que se simula. * Las mediciones detalladas de alta calidad son caras y requieren mucho tiempo. * Solo un número limitado de condiciones de prueba son prácticas.

<p>Analítica Prueba de proceso de solución</p>	<p>* Sin entrada incierta. * Estándar de verdad matemática exacta para el modelo dado. * Barato</p>	<p>* Sin prueba de validez del modelo * Limitado a casos altamente restringidos para los cuales se pueden derivar soluciones analíticas.</p>
<p>Comparativa Prueba relativa de modelo y proceso de solución.</p>	<p>* Sin entrada incierta. * Cualquier nivel de complejidad. * Muchas comparaciones de diagnóstico posibles. * Barato y rápido.</p>	<p>* Sin estándar de verdad absoluta (solo son posibles rangos de aceptación basados en estadísticas).</p>

Tabla 1 Técnicas de Validación en ASHRAE 140.

Fuente: Traducción en base a (Judkoff 2006)

En cuanto a los criterios que determinan la validez de resultados, ASHRAE declara que no existen como tal, y que deben ser determinados por el usuario, sin embargo, define que esta definición debe darse teniendo en consideración algunos puntos (ASHRAE 2001).

- a) La magnitud de resultados para casos individuales.
- b) La magnitud de la diferencia en los resultados entre distintos casos.
- c) La misma dirección de sensibilidad (positiva o negativa) para la diferencia en los resultados entre ciertos casos.
- d) Considerar si los resultados son lógicamente contradictorios con respecto al comportamiento físico conocido o esperado
- e) Tener disponibilidad de resultados de soluciones analíticas o cuasi-analíticas
- f) Para las pruebas de rendimiento del equipo HVAC, tener en consideración el grado de desacuerdo que se produjo para otros resultados de simulación versus los resultados de la solución cuasi-analítica.

Respecto a este estándar, los dos programas BIM líderes como lo son Revit y Archicad, cuentan con esta validación en los motores de cálculos que utilizan para su análisis energético, tanto Energy plus en Insight de Revit, como Vip-core en Ecodesigner Star de Archicad. Esto ha permitido generar un interés desde los especialistas en análisis energético para su utilización, al contar con esta estandarización fundamental en herramientas BPS.

Finalmente, otro estándar relevante que se tiene en consideración al ejecutar simulación energética es ASHRAE 90.1, estándar de alta consideración dentro de la industria y del cual se toman certificaciones internacionales importantes como lo es LEED y BREEAM, este, y tal como se describe en el documento ...” El propósito de esta norma es proporcionar los requisitos mínimos para el diseño energético-eficiente de edificios excepto los edificios residenciales de baja-altura” ... (ANSI/ASHRAE 2010) de esta forma, se establece requisitos de línea base por el cual las herramientas de cálculo deben evaluar la pertinencia de los resultados obtenidos en simulación, siendo considerada de igual manera que ASHRAE 140, por los motores de cálculo energético integrados en las herramientas de cálculo de los programas BIM.

2.6 Rubricas de Evaluación

Utilizadas comúnmente a nivel de evaluaciones académicas, las rubricas de evaluaciones se posicionan como una metodología de evaluación cualitativa que estandarizan los indicadores a valorar, y que buscan calificar una actividad o proyecto de forma objetiva en torno a criterios que determinen el desempeño y capacidad de la actividad o proyecto evaluado, generando finalmente una devolución informativa (Rica y Hernández-rivera 2012). La rúbrica se compone por tres elementos principales:

- Criterios: Son los factores de evaluación que reflejan los procesos y contenidos evaluados, determinando la calidad de la actividad realizada.
- Escalas de calificación: Es la estrategia de puntuación de la evaluación, en la que se determinan cuatro niveles, orientados a representar un desempeño excelente, maduro, en desarrollo e incipiente.
- Los descriptores: Proveen de una explicación detallada de los niveles de calidad incluidos en la evaluación, entregando la información necesaria para la comprensión de que concierne cada evaluación.

Finalmente, las rubricas de evaluación se clasifican dentro de dos grupos, las de carácter holístico, en la que se enfocan en una evaluación general donde el enfoque generalmente se da en torno a un solo criterio que represente el objetivo a evaluar. El segundo grupo corresponde a las rubricas de carácter Analítico, donde se evalúa la totalidad del proceso, para obtener una calificación completa de este (Gatica-Lara et al. 2013).

CAPITULO 3: Estado del Arte

3.1 BIM y Simulación energética

Si bien es un campo de investigación desarrollado desde pocos años atrás, la integración de cálculo energético para definir el desempeño de los edificios, siempre se encontró considerado dentro de los fundamentos de la metodología BIM (Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks 2008). Tal como declara Habibi ...” BIM puede desempeñar un papel clave en el análisis y determinación del consumo de energía en edificios existentes” ... (Habibi 2017), esto, producto de que BIM es una herramienta potente en la precisión de las edificaciones, por lo que su utilización para la predicción de rendimiento energético es completamente posible, en relación al nivel de información que puede contener un modelo BIM, ejemplo de esto son las aplicaciones probadas que tiene su utilización de cara a un análisis de ciclo de vida de las construcciones (Eleftheriadis, Mumovic y Greening 2017).

Sin desmedro de lo anterior, en la actualidad muchas de las investigaciones realizadas, se enfocan en las facultades de interoperabilidad de modelos BIM hacia programas BPS, entendiendo que la interoperabilidad es una de las características fundamentales que debe tener un modelo BIM (Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks 2008), y que los programas BIM tienen falencias en torno al nivel de información para BEM en comparación a un BPS (Pezeshki, Soleimani y Darabi 2019), estudiando de esta forma, formatos de traspaso como gbXML, IFCxml o DXF a partir de un modelo

BIM (ver Tabla 2), realizando esto al conocer el nivel de detalle que presentan las herramientas BPS (Lobos, Wandersleben y Castillo 2014)

BIM	DXF	GBxml	IFCxml
<i>Archicad</i>	DXF	x	IFC 2x3 XML IFC 2x3 XML
<i>Revit</i>	DXF	GBxml	x
<i>Microstation</i>	DXF	x	x
<i>Digital Project</i>		x	x
<i>Allplan</i>	DXF	x	IFCxml

Tabla 2 Capacidad de los software BIM de exportar a BPS.

Fuente: (Lobos, Wandersleben y Castillo 2014)

Sin embargo, debido al interés desarrollado en la interoperabilidad con herramientas BPS altamente validados, ha servido para dejar de lado el desarrollo investigativo en torno al análisis energético dentro de la interfaz de un programa BIM, lo que ralentiza el desarrollo de esta característica actualmente ofrecida en herramientas BIM, existiendo así, escasa investigación que desarrolle simulación energética exclusivamente en estos programas, destacando solo algunas realizaciones en Europa (Santiago 2017), Europa Oriental (Engineering 2017) ,y nula, en relación a comparación entre ellos.

3.2 BIM y el flujo de trabajo a BEM

El modelamiento energético de edificios (BEM) en su sigla en inglés, es descrito desde DOE en palabras de Amir Roth, como una herramienta en la que se debe incluir una descripción completa en relación al uso de energía del edificio, detallando y considerando características como tipo de uso, clima de emplazamiento, geometría, materiales de construcción e iluminación, HVAC, refrigeración, calentamiento de aguas, horarios de uso, configuración de termostatos, además de detallar sistemas de generación renovables en caso de contar con alguno (DOE 2017).

Si bien hablar de BEM siempre se ha referido a programas BPS, esta definición ha sido incluida al discutir de BIM, debido a que estos programas, como se ha señalado antes, incluyen módulos que permiten detallar la información necesaria para convertir un modelo BIM en BEM, permitiendo de esta forma realizar análisis de desempeño energético en herramientas BIM.

3.2.1 Flujo de trabajo BEM en Archicad

En el caso de Archicad 22, el flujo de trabajo se realiza por medio de su add-on Ecodesigner Star, el cual evalúa bloques térmicos identificados en el modelo BIM, considerando toda la información contenida en el modelo original como, geometría, materialidades, ubicación, aberturas, entre otras. Complementando esta información en Ecodesigner con inputs como: Clima, características de contexto cercano, sistemas de climatización, soluciones de energía renovables, horarios y cargas de uso, valores de infiltraciones, puentes térmicos, entre otros. Finalmente, la herramienta genera análisis, que se pueden filtrar varios resultados como, desempeño térmico según bandas de confort, consumos, emisiones CO₂, etc. (Graphisoft 2015)

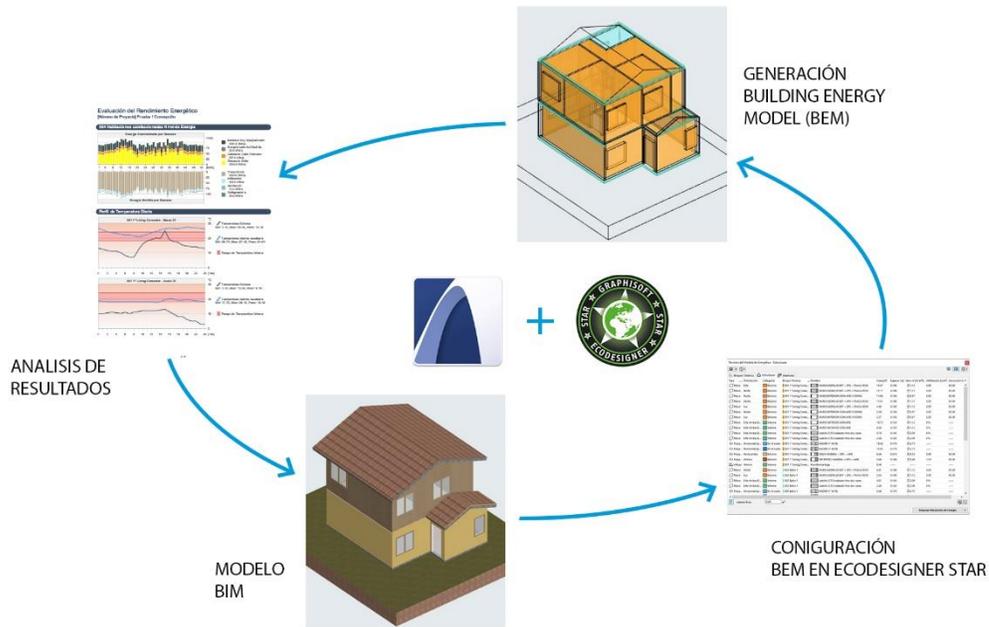


Figura 2 Flujo de trabajo análisis energético Archicad Ecodesigner Star

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Flujo de trabajo BEM en Revit

En su versión 2020.2.1, el flujo de trabajo se realiza en la interfaz de modelado de Revit, generando la simulación y obtención de resultados a través de Insight 360 (ver Figura 3 y Figura 4) o también directamente desde un reporte generado en el interior de Revit. De igual forma que en Archicad, la información general del edificio se toma del modelo BIM genérico creado en Revit complementando esta con la definición de una ubicación que vincula directamente con la estación meteorológica más cercana, luego se debe generar un modelo energético, para poder realizar el resto de configuraciones importantes para el BEM como lo son, tipo de uso, horarios, sistemas de climatización, entre otros puntos profundizados en esta investigación. La principal ventaja que presenta Revit para BEM, es el hecho de poder generar un modelo de geometría simplificado como se usa en otros programas BPS, o más complejo, pudiendo variar en la resolución de información a ingresar. Finalmente el análisis energético se genera en la nube con Insight360 permitiendo además optimizar la energía del edificio a través de recomendaciones que muestra la plataforma, (Autodesk Knowledge Network 2018) o bien, visualizando directamente el informe de Energyplus como reporte en Revit.

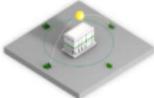
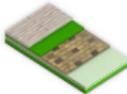
1. Proporción Vidriada/Muro Sur		13. Orientación del edificio	
2. Proporción Vidriada/Muro Norte		14. Tipo de muro	
3. Proporción Vidriada/Muro Este		15. Tipo de cubierta	
4. Proporción Vidriada/Muro Oeste		16. Infiltraciones	
5. Sombras en ventanas Sur		17. Eficiencia lumínica	
6. Sombras en ventanas Norte		18. Aparatos de control lumínico, ocupación	
7. Sombras en ventanas Este		19. Eficiencia eléctrica	
8. Sombras en ventanas Oeste		20. Eficiencia aparatos HVAC	
9. Propiedades del vidrio Sur		21. Perfil de usuario	
10. Propiedades del vidrio Norte		22. Eficiencia paneles solares	-
11. Propiedades del vidrio Este		23. Período retorno inversión paneles solares	
12. Propiedades del vidrio Oeste		24. Porcentaje cubierta cubierto por paneles solares	

Figura 3 Parámetros graficados en Insight 360

Fuente: <https://www.msistudio.com/>



Figura 4 Flujo de trabajo análisis energético en Revit Insight 360

Fuente: <https://www.msistudio.com/>

3.3 Estrategias de diseño pasivo en viviendas y su integración de herramientas BIM

Es de conocimiento general que la implementación de estrategias de diseño pasivo en viviendas pasa principalmente por propiedades de envolvente, % de aperturas para ganancias solares, nivel de compactidad, orientación sombreado y estrategias de ventilación, debido a que son las que tienen mayor impacto en los rangos de confort en estas edificaciones (Manzano-Agugliaro et al. 2015), lo que además puede ser verificado por medio de un gráfico psicométrico que también se utiliza en estándar ASHRAE 55 (ANSI/ASHRAE 2004).

Al ser esta información común e importante para la arquitectura sustentable, las herramientas BIM han integrado inputs y métodos de evaluación que se relacionen a las estrategias de diseño pasivo, tal como declaran los desarrolladores de estas herramientas, las principales consideraciones pasan por la asignación de propiedades relacionadas con la envolvente y aportes solares pasivos. Es así como Archicad permite configurar distintos tamaños de aperturas y modelamiento de control solar, considerando incluso la especificación de elementos de obstrucción externos al edificio, como vegetación y edificios cercanos, considerando el impacto de esto al realizar evaluación energética. En esta misma línea, Revit de igual manera permite configurar aperturas y sombreado, pero además por medio de su complemento Insight360, permite realizar cálculos de iluminación, entregando una información mucho más completa en relación al confort lumínico dentro de los espacios.(Graphisoft 2015; Autodesk Knowledge Network 2018)

En cuanto a envolvente, ambas herramientas permiten la configuración avanzadas de los complejos de envolvente, permitiendo configurar en detalle todas las propiedades de los materiales a utilizar, detallando además niveles de infiltración y cálculos de Transmitancia térmica, incluso, en el caso de Archicad, permite generar análisis especializado de puentes térmicos presentes en algún detalle constructivo.

Es así, como si bien, tienen alto grado de información y su influencia en el desempeño energético de las construcciones es altamente considerado en sus motores de cálculos (IBPSA-USA 2018a; 2018b), existe además falencias en torno a poder incluir otro tipo de estrategias, relacionadas con

los flujos de aire que se podrían diseñar en los programas, como efecto chimenea, pozos canadienses, entre otras estrategias pasivas de otra índole.

CAPITULO 4: Definición de Caso de Estudio

4.1 Morfología vivienda unifamiliar

El caso base está compuesto de una vivienda unifamiliar aislada de 75m², emplazada en Concepción, desarrollada en dos niveles, la que posee estructura de albañilería armada en el primer nivel y estructura liviana de madera con acabado por ambos lados en el segundo nivel, además el piso se compone de Radier con cerámica y entrepiso de madera, finalizando con acabado de zinc ondulado en la techumbre, componentes que deben cumplir con la reglamentación térmica vigente, resumida en la **Tabla 3**.

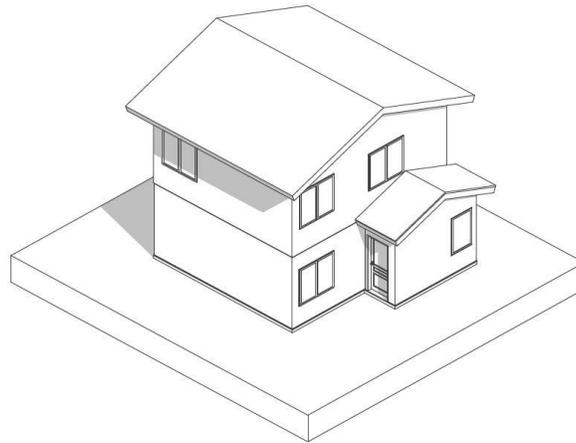
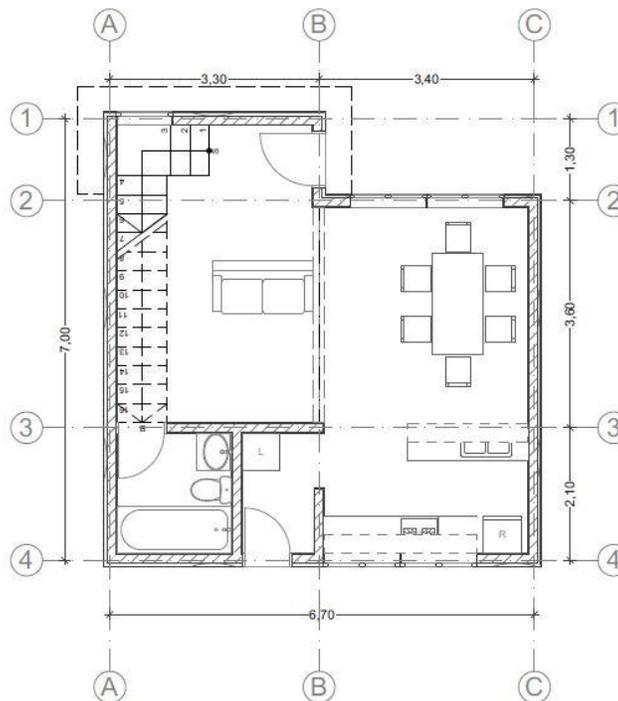


Ilustración 3 Axonometrica Caso Base

Fuente: Elaboración Propia



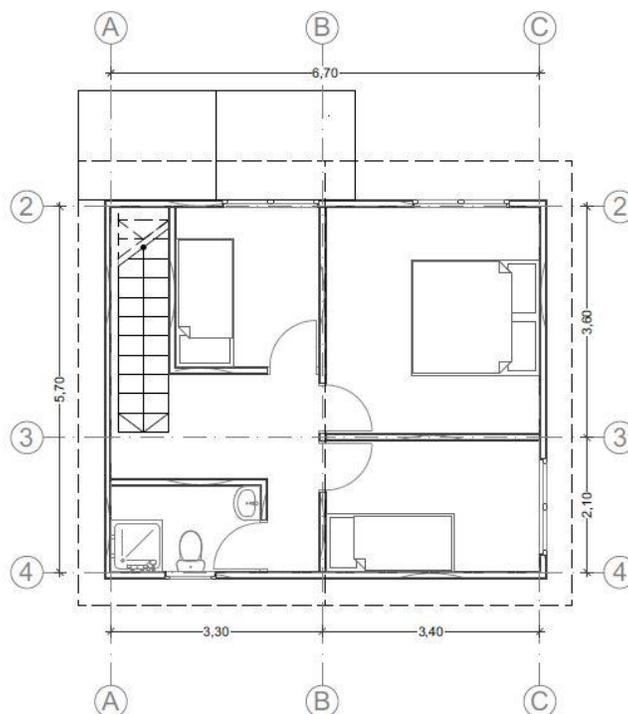


Ilustración 4 Plantas Arquitectónicas 1° y 2° nivel.

Fuente: Elaboración Propia

La definición de la superficie está dada en base a un estudio estadístico que promedió la superficie aprobada de permisos de edificación de viviendas en la región, con la cantidad de permisos aprobados entre los años 2014-2018, de esta forma se pudo calcular una superficie promedio de las viviendas construidas en la región. **(ver anexo X)**

La definición de tipología de vivienda unifamiliar, se obtuvo del informe de “Usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector de residencial de Chile” (Corporación de Desarrollo Tecnológico 2010) donde se clasifican las tipologías de viviendas más utilizadas en el país, destacando la vivienda pareada en primer lugar, seguida por la aislada en la región, siendo seleccionada esta última para el estudio.

4.2 Materialidad

La materialidad fue designada por medio de un análisis de los resultados obtenidos en el Censo 2017, donde se cruzó la información del tipo de vivienda, con las materialidades de sus componentes constructivos, seleccionándose de esta forma los materiales más utilizados para la tipología de Casa.

Paralelamente los componentes constructivos debían obedecer a los límites establecidos por la reglamentación térmica vigente en el país, respondiendo a lo establecido para la zona climática 4, valores límites mostrados en la **Tabla 3**.

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W	U W/m ² K	Rt m ² K/W
1	0.84	1.19	4.00	0.25	3.60	0.28
2	0.60	1.67	3.00	0.33	0.87	1.15
3	0.47	2.13	1.90	0.53	0.70	1.43
4	0.38	2.63	1.70	0.59	0.60	1.67
5	0.33	3.03	1.60	0.63	0.50	2.00
6	0.28	3.57	1.10	0.91	0.39	2.56
7	0.25	4.00	0.60	1.67	0.32	3.13

Tabla 3 Transmitancia térmica de elementos constructivos (Valor-U)

Fuente: (Instituto de la Construcción 2006)

De esta forma, la materialidad de la vivienda de caso base, se compuso en general de estructura de albañilería armada en el primer nivel y de estructura liviana de madera en el segundo nivel, siendo detallados los demás componentes en la **Tabla 4**.

Descripción elementos Constructivos			
Elemento	Espesor cm	Componentes	Valor-U W/(m ²)K
			DesignBuilder
Muro Exterior Albañilería	0.19	Estuco 15mm + EPS 20mm + Ladrillo 140mm + Estuco 15mm.	1.21
Tabique Exterior madera	0.13	Siding Madera 12mm + OSB 12mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 12mm.	1.11
Losa Hormigón	0.17	Porcelanato 8mm + Mortero 10mm + Hormigón A. 100mm + Capa Grava 50mm.	2.4
Cielo Raso madera	0.19	EPS 80mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 15mm.	0.34
Cristal ventanas	6mm	Cristal simple translucido	5.77

Tabla 4 Descripción elementos constructivos Caso Base

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Condiciones de borde (Inputs)

Los inputs a ingresar en los software's de simulación se basan en estudios de desempeño energético referenciales, tomados de la bibliografía, algunos de estos son ASHRAE 55, El Manual de hermeticidad al aire de edificaciones, manual CEV, entre otros.

Variable	Valor
Tipo edificación	Vivienda Unifamiliar
Cantidad de usuarios	4 personas
Horario de ocupación	18:00 a 07:00hrs /7días
Horario Iluminación	06:00 a 07:00 y 18:00 a 24:00 /7días

Horario Equipos	06:00 a 24:00 /7dias
Infiltración	15 ACH 50pa
Ventilación	5.2 l/s* per
Temperatura superior de confort	24°
Temperatura inferior de confort	18°
Carga de iluminación	13 W/m2
Carga de ocupación	18.50 m2/persona ; 115W/persona
Carga de equipos	6 W/m2
HVAC	Bomba de calor residencial de Sist. Partido / compacto 2.43 COP.

Tabla 5 Condiciones de borde para la simulación energética

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Selección BPS de referencia

Teniendo en consideración revisión bibliográfica que compara distintas herramientas de simulación de desempeño energético en edificios o BPS en su sigla en inglés, se determinó la utilización de Energy Plus a través del programa DesignBuilder para la obtención de resultados de referencia. Esto, considerando que es una de las herramientas que permite evaluar una mayor cantidad de variables, cumple con el estándar ASHRAE 140 y posee mayor penetración en el usos de consultorías e investigaciones académicas (Attia et al. 2009; Crawley et al. 2008; García-Alvarado et al. 2014).

4.5 Desempeño energético Caso Base

El desempeño energético de la vivienda de caso base fue determinada mediante simulación energética desarrollada en el software especializado Design Builder, simulación que teniendo en cuenta todos los componentes anteriormente caracterizados, arrojó el desempeño energético referencial de la vivienda, medido en primera instancia en régimen de oscilación libre, apreciando el comportamiento de la vivienda (verde) en relación a bandas de confort, frente a la temperatura exterior (Azul).

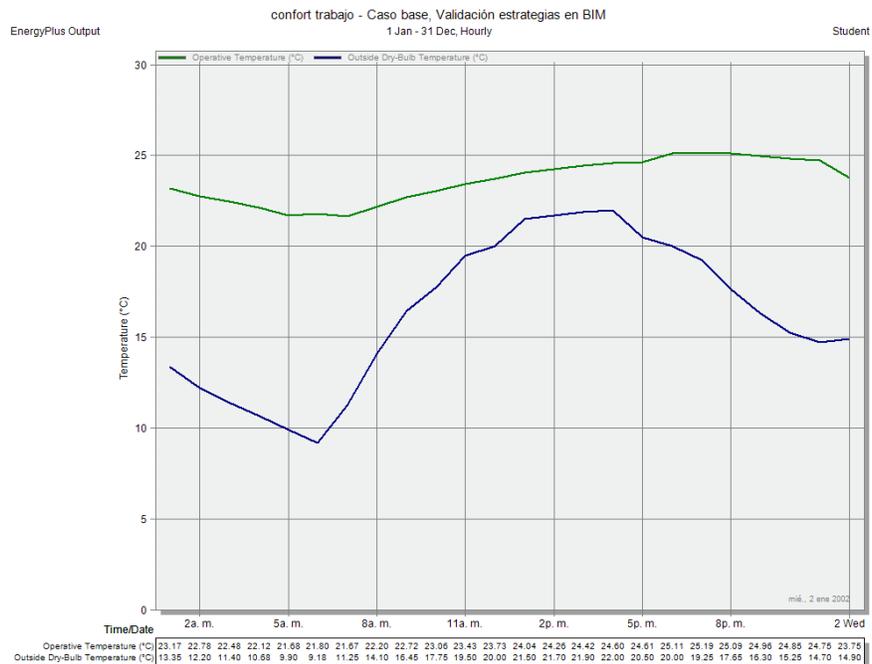


Ilustración 5 Gráfico desempeño térmico en bandas de confort con oscilación libre.

Fuente: DesignBuilder

Finalmente, se definió el desempeño energético de la vivienda una vez aplicado el sistema de climatización descrito anteriormente, apreciando la demanda de calefacción, de refrigeración necesarias para cumplir con los rangos de confort definidos, y la demanda total incluyendo el aporte del resto de cargas como iluminación y equipos. Todos estos valores serán referenciales y contrastables con las herramientas BIM y las estrategias pasivas evaluadas.

Desempeño energético Caso Base	
Demanda	kWh/m2año
Calefacción	24.92
Refrigeración	0.84
Iluminación	33.21
Otras	39.42
Total	98.39

Tabla 6 Desempeño energético caso base oscilación libre

Fuente: Elaboración propia

4.6 Estrategias pasivas a estudiar

La elección de estrategias a evaluar se definió mediante un análisis de estrategias bioclimáticas recomendadas para el clima de Concepción, en base al **grafico psicométrico** desarrollado por Víctor Olgyay y Baruch Givoni y adoptado por ASHRAE, el que mediante la herramienta **Climate Consultant**, permitió identificar a las categorías de *ganancias internas* y *calentamiento solar pasivo*, como las estrategias de diseño sustentable más influyentes para lograr temperaturas de confort en la vivienda de Concepción, tal como se puede apreciar en **Ilustración 6**.

Dentro de estas categorías se destacan:

- Maximizar dimensionamiento de ventanas al norte acompañando de protección solar para el sol de verano. (**% acristalamiento y orientación**)
- Preferir geometrías reducidas para favorecer los aportes internos de personas, luminarias y equipos. (**Compacidad y configuración de aportes internos**)
- Diseño de envoltente bien aislada, especialmente en cielo para reducir la fuga de ganancias internas y solares. (**Materialidad de envoltente**)
- Aplicación de DVH en ventanas (**Materialidad de envoltente**)
- Aplicación de tragaluces de tamaño reducido para generar aporte solar (no más del 5% de la superficie del proyecto)

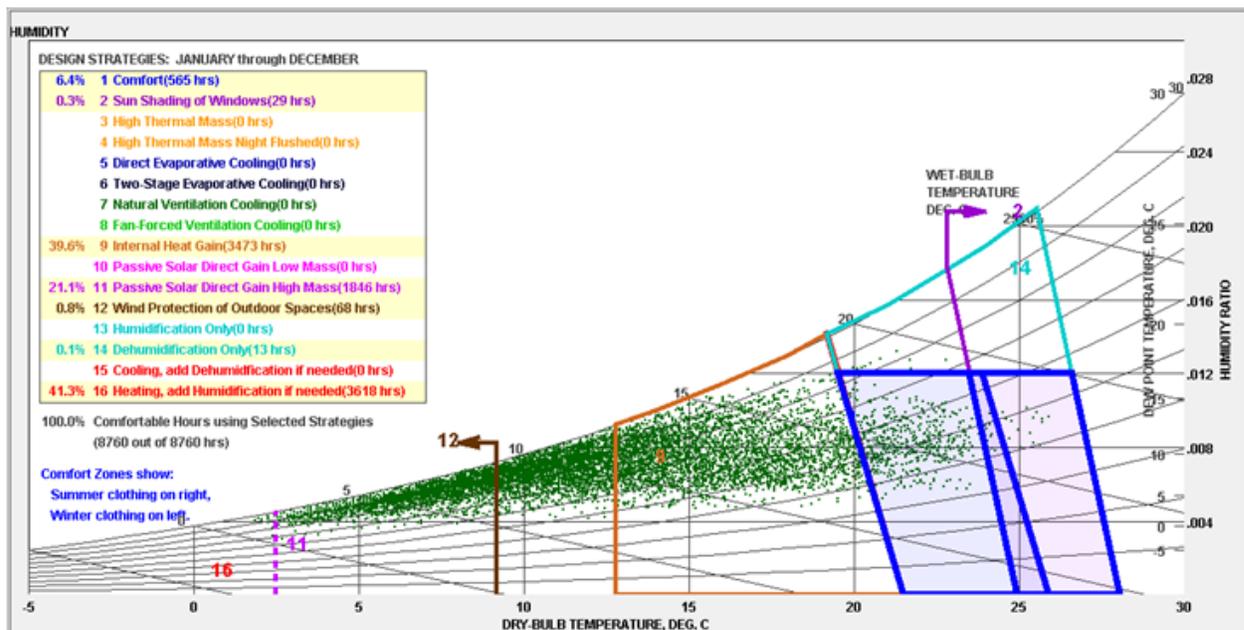


Ilustración 6 Gráfico Psicrométrico para clima de Concepción.

Fuente: Climate Consultant

De esta forma las estrategias definidas a evaluar son: **(1) tamaño y tipo de acristalamiento, (2) características de la envoltente**. Decisión tomada, considerando que el tamaño de la vivienda ya es compacta por lo que no sería coherente su reducción.

4.6.1 Estrategia de Mejora de Envoltente

La estrategia de mejora consistió en aumentar la aislación de la envoltente, tanto en cubierta, como en muro de albañilería y tabique de madera del segundo nivel, siendo en este último, incluido el aislante por el exterior, simulando ser un sistema EIFS. Esta modificación significó una mejora en el Valor U de cada elemento, tal como se ve en la **Tabla 7**.

Descripción elementos Constructivos Caso base y Mejora 1					
Elemento	Espesor cm	Valor-U W/(m2)K	Elemento Constructivo mejorado	Espesor cm	Valor-U W/(m2)K
		Caso Base			Mejora envolvente
Muro Albañilería	0.19	1.21	Estuco 15mm + EPS 50mm + Ladrillo 140mm + Estuco 15mm.	0.24	0.67
Tabique madera Ext	0.13	1.08	Estuco 5mm + EPS 20mm + OSB 12mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 12mm.	0.13	0.78
Losa Hormigón	0.17	2.41	Porcelanato 8mm + Mortero 10mm + Hormigón A. 100mm + Capa Grava 50mm.	0.17	2.41
Cielo Raso madera	0.19	0.38	EPS 100mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 15mm.	0.19	0.28

Tabla 7 Descripción elementos opacos mejorados

Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Estrategia de redimensionamiento y mejora en ventanas

La estrategia consistió en la modificación de tipologías de ventanas, eliminando divisiones internas quedando 100% translúcidas, y cambiando de cristal simple a doble, a la vez se redimensionaron todas las ventanas desde 1.4 x 1.5m del caso base a 1.4 x2m, excepto las de baño y cocina, finalmente se incluyó una ventana en el primer nivel orientada al este de igual dimensión a la existente en la cocina.

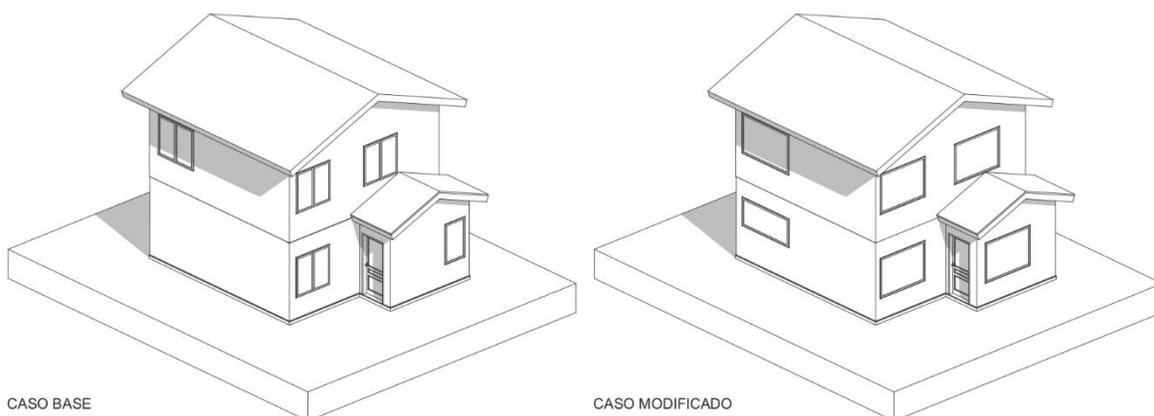


Ilustración 7 Comparativa caso base y modificado

Fuente: Elaboración propia

4.6.3 Estrategia Combinada de Mejora de envolvente y ventanas

Esta estrategia consideró la implementación de ambas estrategias antes presentadas, buscando favorecer aún más el desempeño de la vivienda, buscando captar mayor cantidad de aporte solar, pero a la vez potenciando las características de las superficies opacas, de forma tal que la energía conseguida no se perdiera con facilidad al mejorar su resistencia térmica.

Descripción elementos Constructivos Caso base y Mejoras combinadas					
Elemento	Espesor cm	Valor-U W/(m ²)K	Elemento Constructivo mejorado	Espesor cm	Valor-U W/(m ²)K
		Caso Base			Mejora envolvente
Muro Albañilería	0.19	1.21	Estuco 15mm + EPS 50mm + Ladrillo 140mm + Estuco 15mm.	0.24	0.67
Tabique madera Ext	0.13	1.08	Estuco 5mm + EPS 20mm + OSB 12mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 12mm.	0.13	0.78
Losa Hormigón	0.17	2.41	Porcelanato 8mm + Mortero 10mm + Hormigón A. 100mm + Capa Grava 50mm.	0.17	2.41
Cielo Raso madera	0.19	0.38	EPS 100mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 15mm.	0.19	0.33
Cristal ventanas	6mm	5.8	DVH translucido	14mm	2.8

Tabla 8 Descripción elementos opacos y ventanas mejoradas

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 5: Análisis y evaluación de capacidades en flujo de trabajo para simulación energética en BIM

5.1 Definición rúbrica de evaluación.

Se consideró una rúbrica de evaluación de carácter analítico, evaluando 8 actividades y/o variables del flujo de trabajo necesario para la obtención de resultados que revelasen el desempeño energético del objeto de estudio seleccionado junto a sus distintas variantes.

1. Clima
2. Ubicación y entorno
3. Definición de geometría
4. Ocupación y actividad
5. Materialidad de Envolvente
6. Iluminación y aporte solar
7. Definición HVAC
8. Obtención de Resultados

En primer lugar, las actividades y/o variables son clasificadas y descritas en factores de (1) métricas, procedimiento, resultados generados, observaciones del procedimiento y finalmente valorizadas.

La valorización, tiene como objetivo medir las capacidades de cada actividad y/o variable y su impacto dentro del flujo de trabajo general de cada herramienta BIM para la realización de simulación energética de viviendas.

La rúbrica de evaluación se compone de tres criterios descritos en la **Tabla 9**, y que se clasifican en cuatro niveles de calidad con un puntaje asociado cada una, las que, al generar un puntaje general, definen la capacidad de la herramienta en esa variable del flujo de trabajo evaluado (**ver Tabla 10**).

Criterios	Definición
Complejidad de resultados	Busca determinar la profundidad y nivel de desarrollo que presenta la herramienta en cuanto a la obtención de resultados característicos de la variable y que son necesarios para la obtención de resultados de desempeño energético.
Nivel de especificación permitido	Busca caracterizar y precisar el nivel de profundidad que permite la herramienta, al momento de introducir información que detalle la actividad o variable del flujo de trabajo.
Accesibilidad en Interfaz	Evaluar y caracterizar la accesibilidad y el nivel de usabilidad que presenta la herramienta en su interfaz al definir esta variable del flujo de trabajo

Tabla 9 Definición de criterios para rubrica de evaluación.

Fuente: Elaboración Propia

Criterios	Desempeño		
	Bueno	Medio	Bajo
	3 Pts.	2 Pts.	1 Pt.
Complejidad de resultados en variable y/o acción.	Genera más de un resultado aceptado que alimenta el análisis general.	Genera un resultado aceptado y profundiza en él.	Genera un resultado estático (numero, %) o cuestionable en relación a uno referencial.
Nivel de especificación permitido	Permite especificación avanzada en múltiples niveles de detalle.	Permite especificación superior a la básica necesaria.	Permite especificación elemental.
Accesibilidad en Interfaz	Posee una interfaz que vincula y facilita la inserción de múltiples variables	Posee interfaz que agrupa la inserción de variables elementales para tener resultados.	Presenta una interfaz que disgrega y dificulta la introducción de variables.

Tabla 10 Definición de rubrica para evaluación de capacidades en flujo de trabajo.

Fuente: Elaboración Propia

5.2 Clima

5.2.1 Descripción clima

El clima seleccionado para el estudio tal como se declaró anteriormente es Concepción, ubicada en el centro sur de Chile, pertenece a la zona climática Sur litoral y las temperaturas promedio de la ciudad van desde los 9°C como mínima y 17°C como máxima.

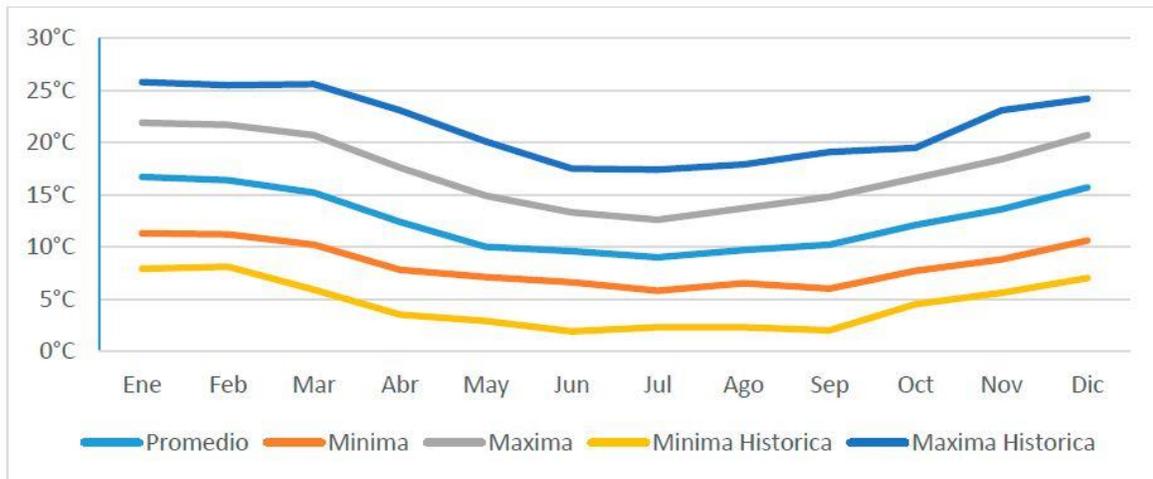


Figura 5 Temperaturas Concepción

Fuente: Elaboración propia en base a archive climático epw

Los vientos predominantes anuales, son desde el noreste en época más cálida y de suroeste en época fría, siendo este último, el que trasciende más durante el año.

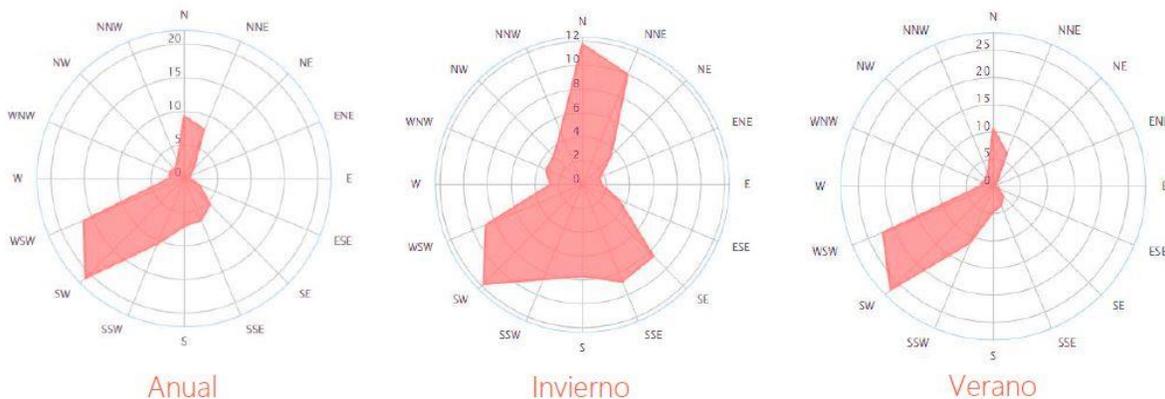


Figura 6 Distribución vientos Concepción

Fuente: Elaboración propia en base a archive climático epw

La iluminación presente en la ubicación se ve directamente relacionada al tipo de cielo que predomine en un periodo determinado, en este caso concepción se caracteriza por tener predominancia de cielo intermedio y nublado, logrando cielo claro predominante solo en enero y febrero, alcanzando iluminancia horizontal de 55000 lux de promedio en verano y 17000 lux de promedio en invierno.

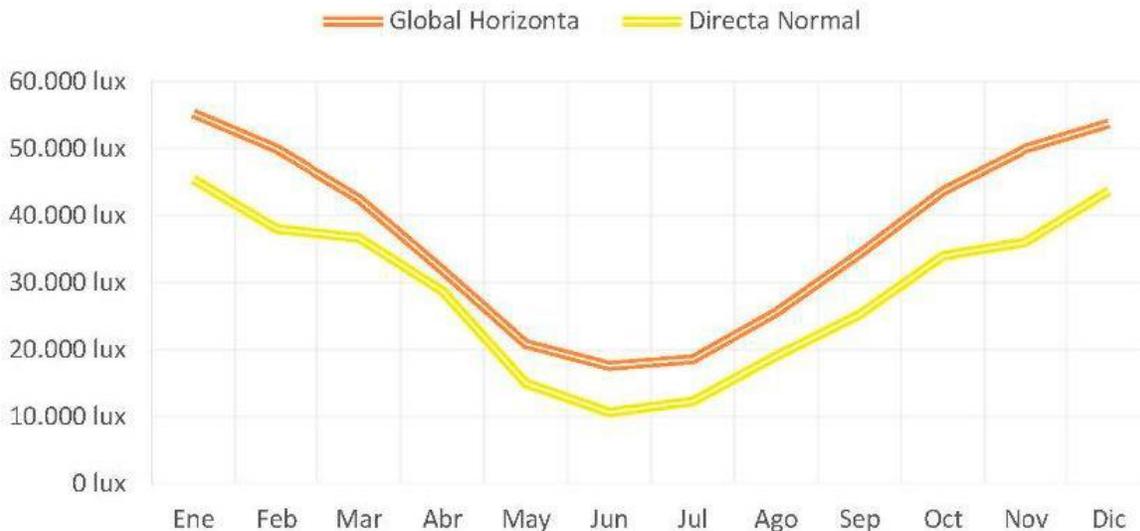


Figura 7 Radiación en Concepción

Fuente: Elaboración propia en base a archivo climático epw

5.2.2 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Introducción y análisis de clima	
Unidades de medida	Utiliza valores de Tº en (°C y °F) / (%) en Humedad Relativa / (Wh/m2) en radiación solar / (m/s) para velocidad de vientos.
Procedimiento	Introducir archivo climático (este se obtiene descargando de su base climática se Strusoft o cargando archivo en formato IWEK, TMY, WTECT2 O EPW)
Resultados	Se obtiene descripción de clima en valores de temperatura de aire, Humedad relativa, Radiación Solar y Velocidad de viento. Se clasifica automáticamente en el tipo de clima que corresponda (Húmedo, Seco, Marino). Se puede revisar en periodos de mes, semana, día, hora, y se muestran valores de máximas, mínimas y promedio según la unidad que se esté revisando. Además en velocidad de viento permite mostrar los resultados graficado en rosa de vientos.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - El clima descargado desde el servidor de Strusoft obedece a la ubicación que se le da al proyecto en la paleta de información general del proyecto, en otro apartado distinto del clima.

Tabla 11 Síntesis variable de Clima en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3 Evaluación de variable

Teniendo en consideración, que se trata de una actividad cuyo único valor a introducir es el archivo climático, esta evaluación se enfocó en la complejidad de resultados que muestra la herramienta, y en este caso se debería potenciar en detallar distintos tipos de t° junto con diferenciar entre radiación directa y difusa.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Medio (2 pts.)	8 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bueno (3 pts.)	

Tabla 12 Valoración de capacidades Variable Clima Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4 Capturas de proceso

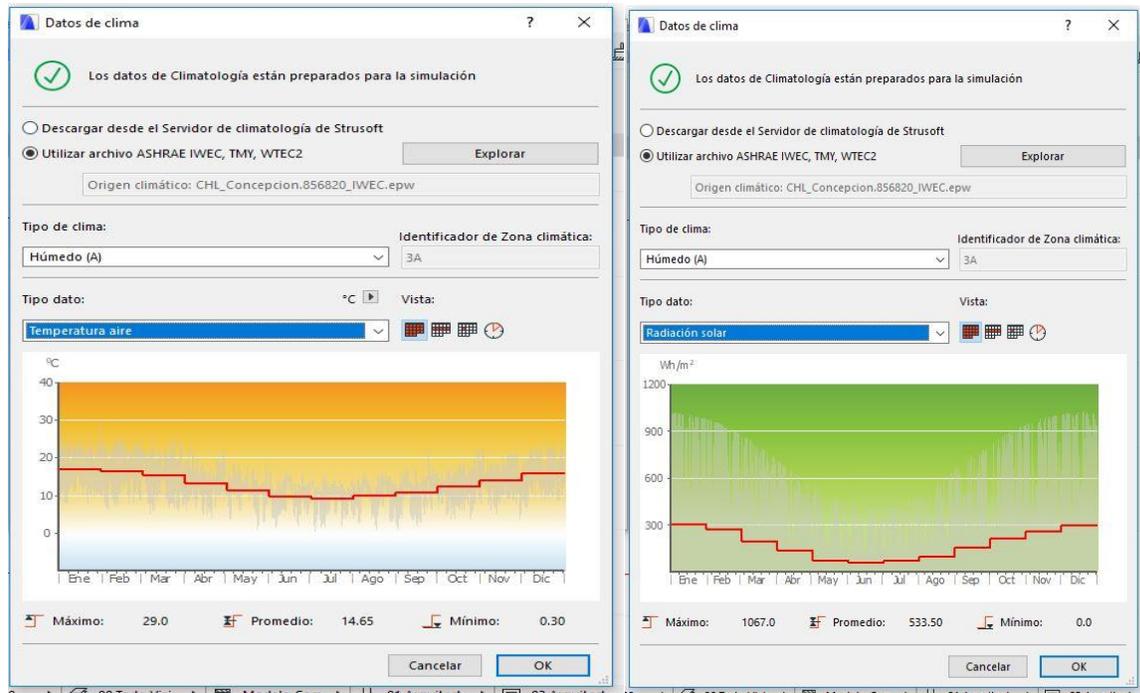


Ilustración 8 Interfaz datos climáticos

Fuente: Archicad 22

5.2.5 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Introducción y análisis de clima	
Unidades de medida	Utiliza valores de T° en ($^{\circ}$ C y $^{\circ}$ F)
Procedimiento	Ir a apartado de Analizar > Ubicación > Identificar datos climático (este se obtiene automáticamente de base de datos climática según la dirección del proyecto ingresada, permitiendo seleccionar la estación meteorológica más próxima que se desee ocupar.)

Resultados	Se obtiene descripción de clima en valores de temperatura seca, húmeda y oscilación media diaria. Se puede revisar solo en periodo de meses. Muestra una Temperatura de diseño de Calefacción y un valor o factor de claridad de los resultados. También permite editar he introducir nuestros propios valores sin considerar lo indicado por la estación meteorológica.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Se reconoce ausencia de múltiples indicadores de clima, permitiendo visualizar solo datos de tº, por lo que no es una fuente informativa del resto de las condiciones del clima, manejándolas solo a nivel interno del programa. - Se limita solo a descargar datos de bases meteorológicas cercanas a la ubicación del proyecto, perdiendo precisión en casos en que no se cuente con una estación cercana a la ubicación del proyecto. - Finalmente la opción de edición de estos solo enfocado en temperatura.

Tabla 13 Síntesis variable de Clima en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.2.6 Evaluación de variable

En base a las observaciones realizadas, se determina principalmente una falta de desarrollo en la visualización de los indicadores climáticos, ocultándolos del usuario y considerándolos solo a nivel interno al momento de realizar cálculos.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Bajo (1 pts.)	4 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bajo (1 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Medio (2 pts.)	

Tabla 14 Valoración de capacidades Variable Clima Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.2.7 Capturas de proceso

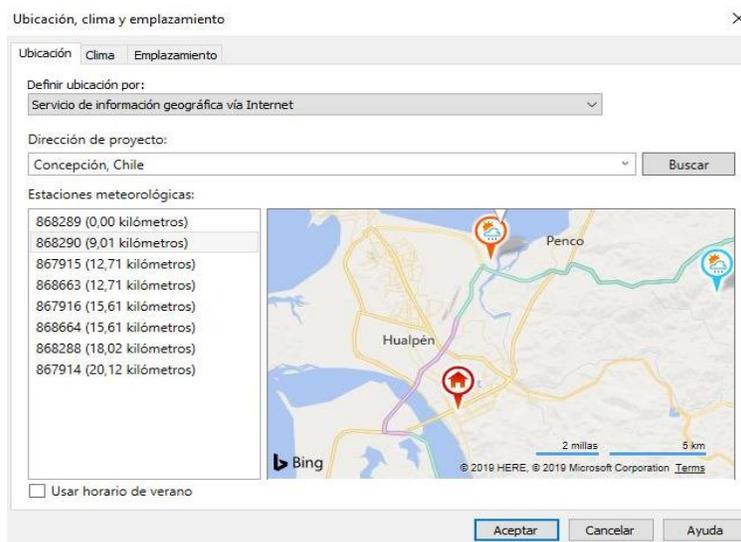


Ilustración 9 Selección estación meteorológica

Fuente: Revit 2020

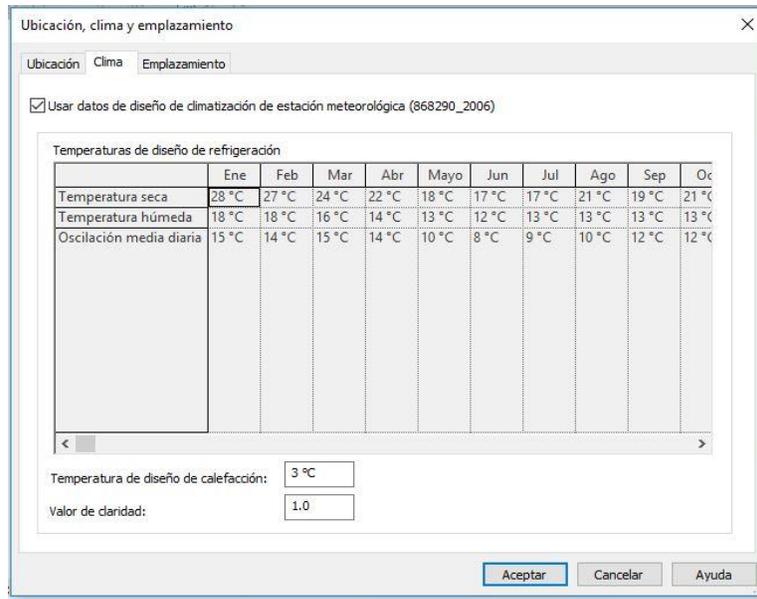


Ilustración 10 Edición de datos climáticos

Fuente: Revit 2020

5.3 Ubicación y entorno

5.3.1 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Ubicación y entorno	
Unidades de medida	Coordenadas (Latitud y longitud en °), (%) para reflectancias de suelo, (Wm2/K) (kg/m3) (J/kgK) para tipo de suelo, (m) para altitud.
Procedimiento	Diseño > Evaluación de Energía > Definiciones de Entorno (Vincula ubicación del proyecto junto con Datos de clima introducidos en otros apartados, permitiendo modificarlos) > Indicar altura de origen del proyecto (altitud) > Definir Transmitancia Térmica del suelo > Seleccionar Tipo de suelo > Definir reflectancias del Suelo adyacente al proyecto > Definir Protección y exposición al viento por orientación > Definir Sombreado Horizontal de contexto (arboles).
Resultados	Indica ubicación geográfica, altitud, permite editar condiciones del entorno inmediato, tanto a nivel térmico, visual e incluso de obstrucciones como vegetación sin necesidad de indicarlo en el modelo.
Observaciones	- Interfaz resulta completa, complementando la ubicación geográfica y altitud como dato general, con múltiples variables que impactaran en el desempeño energético de la edificación.

Tabla 15 Síntesis variable de Ubicación en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.3.2 Evaluación de variable

El desempeño de la interfaz de esta herramienta para la definición de esta variable, resulto altamente completa y detallada, aportando datos valiosos para la definición de desempeño energético.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Bueno (3 pts.)	9 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bueno (3 pts.)	

Tabla 16 Valoración de capacidades Variable ubicación y entorno Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.3.3 Capturas de proceso

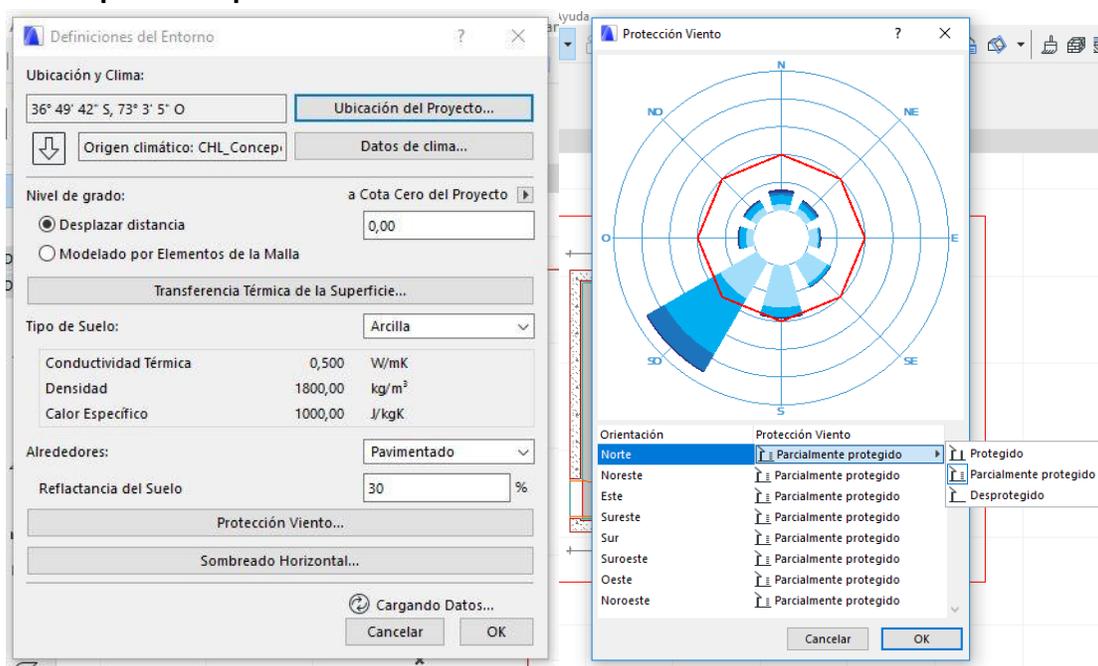


Ilustración 11 Definiciones de ubicación, entorno y apartado de protección a vientos

Fuente: Archicad 22

5.3.4 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Ubicación y entorno	
Unidades de medida	Coordenadas (Latitud y longitud en °), (m) para altitud.
Procedimiento	Analizar > Ubicación > Definir Ubicación por Lista de ciudades por defecto (seleccionar de lista) o servicio de información geográfica vía Internet (buscar por nombre) > indicar si desea utilizar horario de verano > Indicar emplazamiento (permite indicar el emplazamiento a utilizar en el caso que existiese más de uno dentro del archivo de proyecto.

Resultados	Indica ubicación geográfica del proyecto vinculándolo a una estación meteorológica para la selección de clima.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La interfaz resulta elemental - No permite especificar características del entorno, y considerando volúmenes u obstrucciones solo si son definidas con geometría en interfaz de modelo.

Tabla 17 Síntesis variable de Ubicación en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.3.5 Evaluación de variable

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Medio (2 pts.)	5 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bajo (1 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Medio (2 pts.)	

Tabla 18 Valoración de capacidades Variable Ubicación y entorno Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.3.6 Capturas de proceso

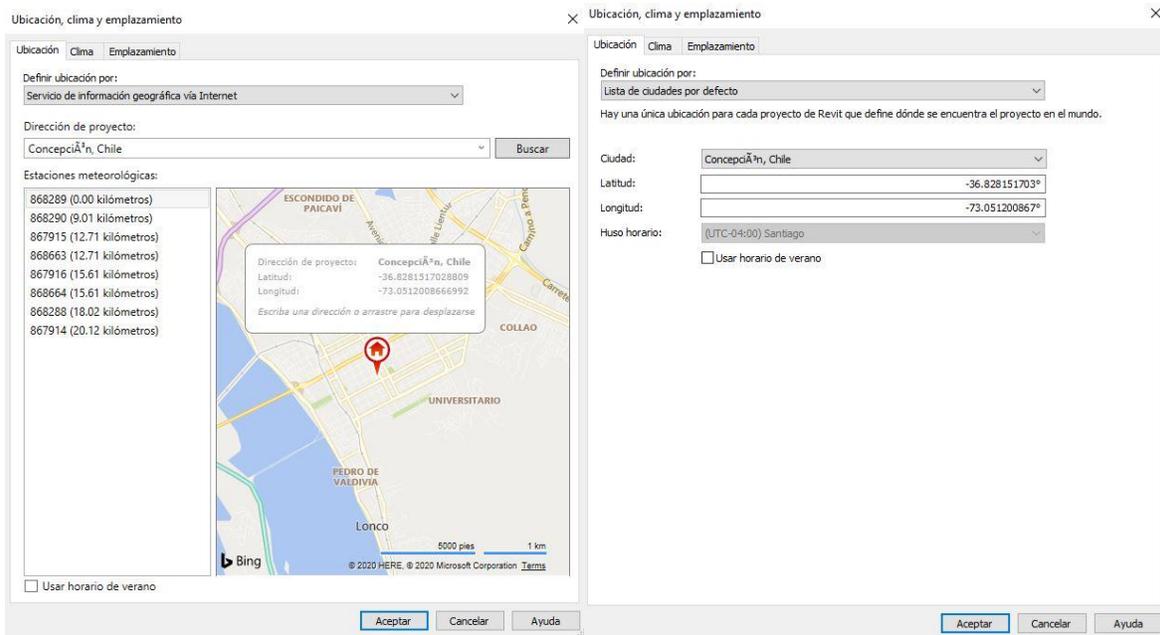


Ilustración 12 Definiciones de ubicación

Fuente: Revit 2020

5.4 Definición Geometría

5.4.1 Descripción de Geometría

La geometría correspondió a la definida en la Ilustración 3 e Ilustración 4, siendo desarrollados los 75 m² en la herramienta BPS mediante bloques térmicos simplificados, y donde solo se incluyen las superficies analíticas y componentes con incidencia en el soleamiento, como el complejo de techumbre que fue modelado como componente sin habitar, distinto de lo realizado en BIM.



Ilustración 13 Modelo energético Caso Base.

Fuente: Design Builder

Es importante que la creación de la geometría debe ir acompañada de la definición de los paquetes constructivos, puesto que de estos depende la superficie final de análisis. A continuación, se detallan las características de la geometría resultante por cada caso y modelo energético.

Síntesis comparativa geometría resultante de casos									
	Caso Simulado	Sup. Total (m ²)	Sup. Analizada (m ²)	Área total envolvente (m ²)	Área Total Pared (m ²)	Área abertura Ventanas (m ²)	Aberturas por Sup. De muros (%)	Aberturas por Sup. De envolvente (%)	Sup. De Cubierta (m ²)
DesignBuilder	Caso Base	74.94	74.94	-	137.7	12.40	9	-	40.77
	Mejora 1	74.94	74.94	-	137.7	12.40	9	-	40.77
	Mejora 2	74.94	74.94	-	137.7	18.58	13.5	-	40.77
	Mejora 3	74.94	74.94	-	138.7	18.55	13.47	-	40.77
Revit 2020	Caso Base	74.26	74.26	-	146.86	13.09	8.91	-	42.72
	Mejora 1	71.54	71.54	-	148.96	13.09	8.79	-	43.16
	Mejora 2	74.26	74.26	-	144.87	19.29	13.32	-	42.72
	Mejora 3	71.87	71.87	-	145.57	19.29	13.25	-	42.72
Archicad 22	Caso Base	85.12	74.48	234.19	-	-	-	4.13	-
	Mejora 1	85.12	74.18	232.57	-	-	-	4.16	-
	Mejora 2	85.12	74.48	231.52	-	-	-	6.87	-
	Mejora 3	85.12	74.18	229.70	-	-	-	6.93	-

Tabla 19 Comparativa de características Geométricas por caso y herramienta

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Definición y modelado de Geometría	
Unidades de medida	Dimensiones (m) (m2), volumen (m3)
Procedimiento	Modelamiento de geometría BIM > Creación de zonas por recinto > Interfaz de Evaluación de energía > Añadir nuevo bloque Térmico > Actualizar Zonas > Añadir zonas a bloque térmico > Revisar zona generada en volumen 3D > Verificar geometría de bloques térmicos > Repetir proceso de haber errores.
Resultados	Genera automáticamente bloques térmicos en base a zonas y geometría del modelo BIM. Genera envolvente identificando elementos interiores, exteriores, y superficies translucidas.
Observaciones	La velocidad de la creación del modelo de energía es rápida, esto considerando un correcto modelado en BIM. Los bloques térmicos se crean automáticamente por la superficie interior de la envolvente. El generar aberturas de escalera o similar genera errores en la creación del modelo energético.

Tabla 20 Síntesis variable de Geometría en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.4.3 Evaluación de variable

El desempeño general de la variable de modelado y definición de geometría tiende a bueno, sin embargo, si comparamos las dimensiones de envolvente que se obtiene en esta herramienta, con los otros dos programas, existen diferencias en cómo se genera el modelo energético, lo que sin lugar a dudas tendrá un impacto en el desempeño energético.

	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Valoración Capacidades	Complejidad de resultados	Medio (2 pts.)	7 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Medio (2 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bueno (3 pts.)	

Tabla 21 Valoración de capacidades Variable de Geometría Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.4.4 Capturas de proceso

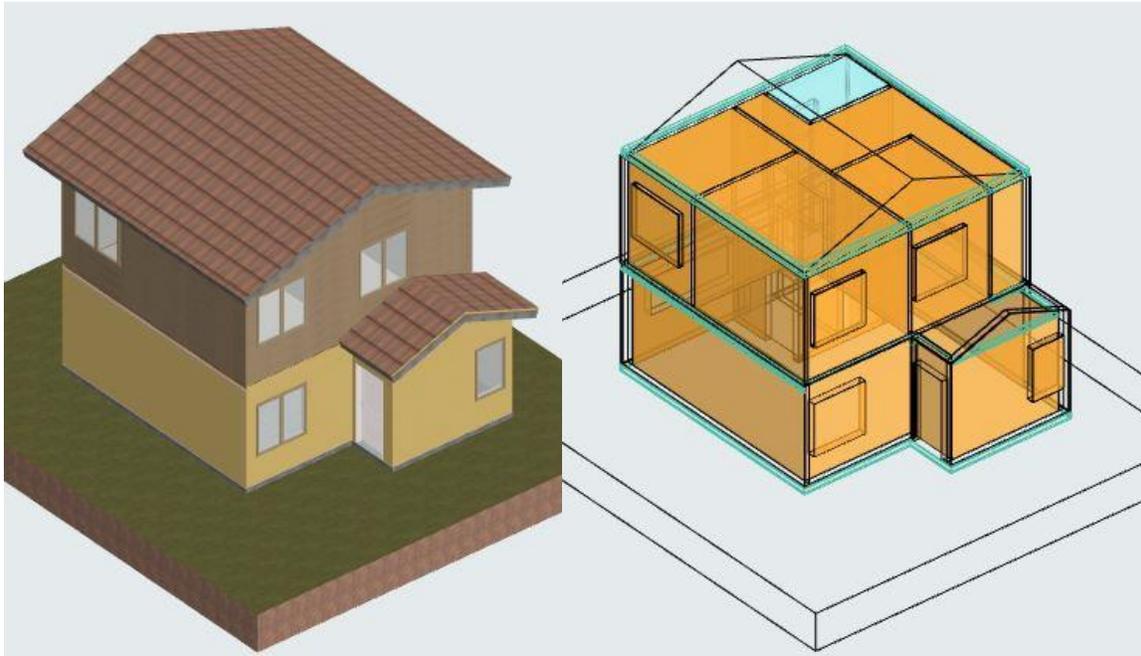


Ilustración 14 Creación automática de BEM a partir de modelo arquitectónico detallado.

Fuente: Archicad 22

5.4.5 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Definición y modelado de Geometría	
Unidades de medida	Dimensiones (m) (m2), volumen (m3)
Procedimiento	Modelamiento de geometría BIM > Creación de "espacios" o "habitaciones" por recinto > Analizar > Configuración de energía > Indicar Modo de selección de geometría (Masas conceptuales o elementos detallados) > Identificar plano de suelo > Resolución de espacio y superficie analítica > Optimización de energía > Generar modelo energético > Verificar geometría de Espacios analíticos > Repetir proceso de haber errores
Resultados	Genera automáticamente bloques térmicos en base a espacio o habitaciones contenidos en la geometría del modelo BIM. Genera envolvente identificando elementos interiores, exteriores, y superficies translucidas.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La velocidad de la creación del modelo de energía es rápida, esto considerando un correcto modelado en BIM. - Los espacios analíticos se crean automáticamente por la superficie interior de la envolvente. - Error en el modelado puede generar espacios analíticos abiertos en el modelo de energía lo que influye en el desempeño energético resultante. - La modificación en los niveles de resolución de superficies y espacios analíticos, minimiza la posibilidad de errores en la transformación de modelo BIM a BEM.

Tabla 22 Síntesis variable de Geometría en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.4.6 Evaluación de variable

Similar a lo ocurrido con la otra herramienta BIM, el desempeño de esta herramienta en la definición y modelado es bueno en general, esto producto de que obtiene valores en su geometría similares a los obtenidos en el programa BPS, lo que se debe en parte, a tener mejor control de la definición de espacios analíticos, distinto de lo ocurrido en la otra herramienta BIM.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Medio (2 pts.)	8 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bueno (3 pts.)	

Tabla 23 Valoración de capacidades Variable de Geometría Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.4.7 Capturas de proceso

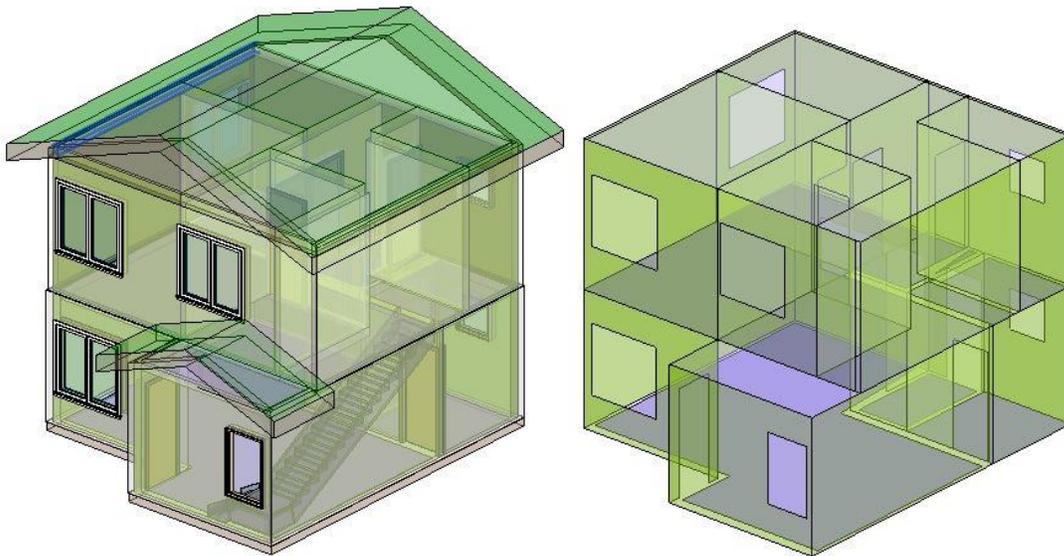


Ilustración 15 Creación automática de BEM a partir de modelo arquitectónico detallado.

Fuente: Revit 2020

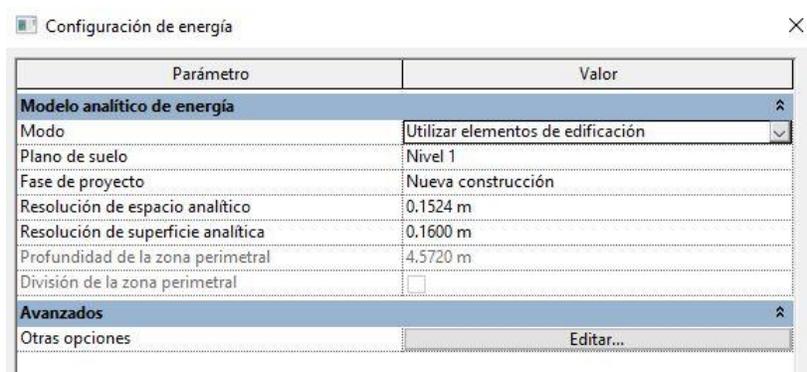


Ilustración 16 Configuración de resolución de geometría BEM.

Fuente: Revit 2020

5.5 Actividad y perfiles de ocupación

En base a la **Tabla 5** indicada en el capítulo de definición de caso base, se elabora esta síntesis que considera solo las variables que fueron utilizadas para caracterizar la ocupación y actividad dentro de la vivienda.

Variable	Valor	
Tipo edificación	Vivienda Unifamiliar	
Cantidad de usuarios	4 personas	
Área por persona	18.50 m2/persona	
Horario de ocupación	18:00 a 07:00hrs /7días	
Horario Iluminación	06:00 a 07:00 y 18:00 a 24:00 /7días	
Horario Equipos	06:00 a 24:00 /7días	
Temperatura superior de confort	24°	
Temperatura inferior de confort	18°	
Carga de iluminación	13 W/m2	
Carga de ocupación	70W Calor sensible/Persona	45W Calor Latente/Persona
Carga de equipos	6 W/m2	

Tabla 24 Condiciones de actividad y ocupación de casos simulados

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se detalla una síntesis del aporte energético (Kwh/año) que significó la inserción de datos en la variable de actividad y perfiles de ocupación. Se observa que en general, el aporte resulta variado, situación esperada considerando que este valor es directamente proporcional a la superficie analizada, existiendo una diferencia en superficie creada del 1% a 4.5% entre las herramientas BIM y la superficie del programa BPS.

Las variaciones que más se destacan son en el valor de aporte por cargas de personas entre la herramienta BPS y Archicad, donde este último resulta muy distante del valor de referencia, caso similar ocurrió en la variable de carga de equipos, donde Revit se distancia del valor de referencia en un 24%.

Aporte energético Cargas Internas (Kwh/año)			
Herramienta	Aporte Cargas de Iluminación	Aporte Cargas de Equipos	Aporte Cargas de Personas
DesignBuilder V6	2489	2954	4302
Archicad 22	2463	2924	2333
Revit 2020	2333	2239	3888

Tabla 25 Síntesis Aporte energético de cargas internas

Fuente: Elaboración Propia

5.5.1 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Definición de Actividad y Perfiles de Ocupación	
Unidades de medida	Temperaturas de confort (C°), Ganancias internas (W/pers) (W/m2) (m2/pers), Periodo de ocupación (Hrs), Carga ACS (lt/día*Pers), Carga de Humedad (gr/día/m2)
Procedimiento	Evaluación de Energía > Perfiles de Operación > Seleccionar Perfil de lista predefinida o crear propio > Nuevo > Asignar Nombre > Seleccionar tipo de ocupación (residencial o no residencial) > Especificar Ganancia Calorífica por persona, Carga ACS y Carga de Humedad o dejar datos recomendados para tipo de ocupación > Definir Esquemas diarios > Editar Esquemas Diarios > Indicar > Indicar tº de confort > Ganancias de calor interna (Ocupación, Iluminación y Equipamiento) > Seleccionar periodos del día en los que aplica > Aceptar cambios > Asignar perfil de operación a bloques térmicos.
Resultados	Considerando la ocupación y cargas internas definidas, se identifican los aportes energéticos por cada variable indicada en unidad de energía, las que son necesarias para realizar una evaluación apegada a la realidad.
Observaciones	- El ingreso y definición de esta variable es íntegramente tratada en la interfaz del programa, permitiendo usar datos predefinidos y recomendados por el desarrollador, o bien introducir los datos que representen de mejor forma la situación que deseamos evaluar.

Tabla 26 Síntesis variable de Actividad y ocupación en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.5.2 Evaluación de variable

Si bien uno de los resultados apreciados en la **Tabla 25**, resultado cuestionable en relación a lo señalado en las otras dos herramientas, el resto de resultados resulta aceptado, lo que sumado a lo completa que resulta ser la interfaz de esta variable, permite que su desempeño general sea bueno.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Bueno (3 pts.)	9 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bueno (3 pts.)	

Tabla 27 Valoración de capacidades Variable de actividad y ocupación Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.5.3 Capturas de proceso

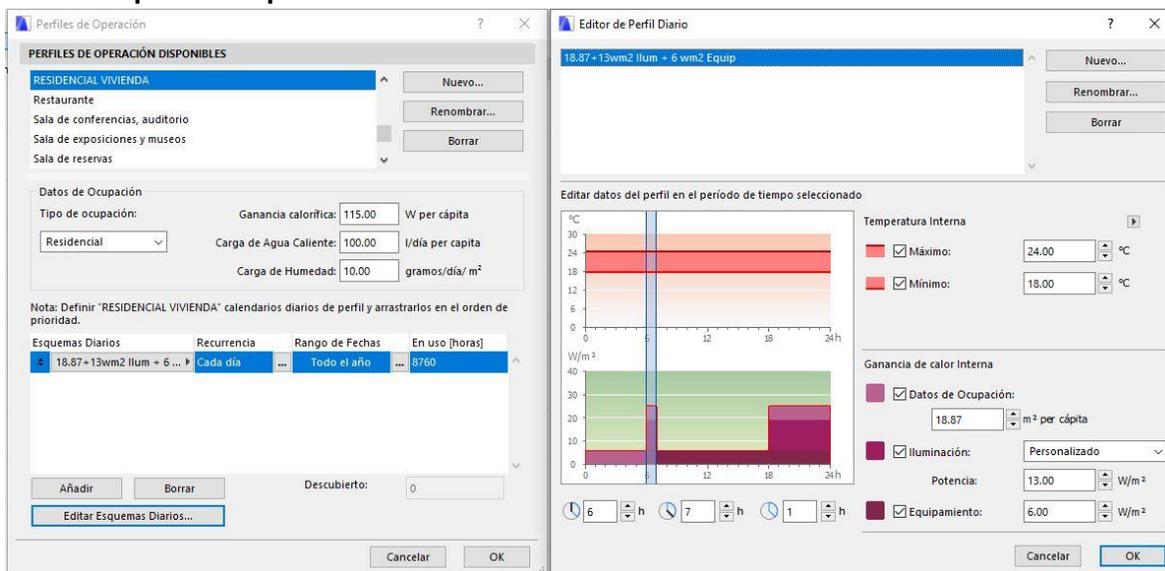


Ilustración 17 Definición de Actividad y Perfiles de Ocupación Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.5.4 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Definición de Actividad y Perfiles de Ocupación	
Unidades de medida	Temperaturas de confort (C°), Ganancias internas (W/pers) (W/m2) (m2/pers), Periodo de ocupación (Hrs)
Procedimiento	Método Simplificado: Analizar > Config, de Energía > Config. Avanzada > Datos de Construcción > seleccionar una tabla de panificación de operaciones predefinida y no editable. Método Avanzado: Gestionar > Config. MEP > Config. De tipo de edificio y espacio. > Seleccionar un Tipo de Edificio o espacio de una lista predefinida y que contiene los datos de Perfiles de ocupación o editar uno nuevo > Nuevo > Nombrar > indicar las variables de Perfil de ocupación (cargas internas, periodos de uso) > Aceptar > Seleccionar espacio en modelo > En sus propiedades desplegadas indicar el tipo de espacio que se creó.
Resultados	Se obtiene el aporte calórico anual de las cargas internas ingresadas, considerando en el cálculo, las la energía por variable (kWh) y los periodos de tiempo en la que intervienen.
Observaciones	- La definición resulta correcta en relación a que permite especificar lo necesario para determinar las cargas internas, sin embargo la dificultad que se genera en tener que ingresar a la interfaz de MEP si se desea especificar valores propios, le minimiza un poco su evaluación, entendiendo que sería ideal vincular esta opción de especificación a la interfaz de análisis energético.

Tabla 28 Síntesis variable de Actividad y ocupación en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.5.5 Evaluación de variable

El desempeño de la herramienta en esta variable es bueno, pero presenta limitaciones de definición de esta variable en la interfaz que agrupa todo lo referente a la definición de parámetros energéticos, teniendo que acceder desde otra interfaz lo que entorpece el flujo de trabajo.

Valoración Capacidades	Crterios	Desempeño	Puntaje Final
	Complejidad de resultados	Bueno (3pts.)	7 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bajo (1 pts.)	

Tabla 29 Valoración de capacidades Variable de actividad y ocupación Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.5.6 Capturas de proceso

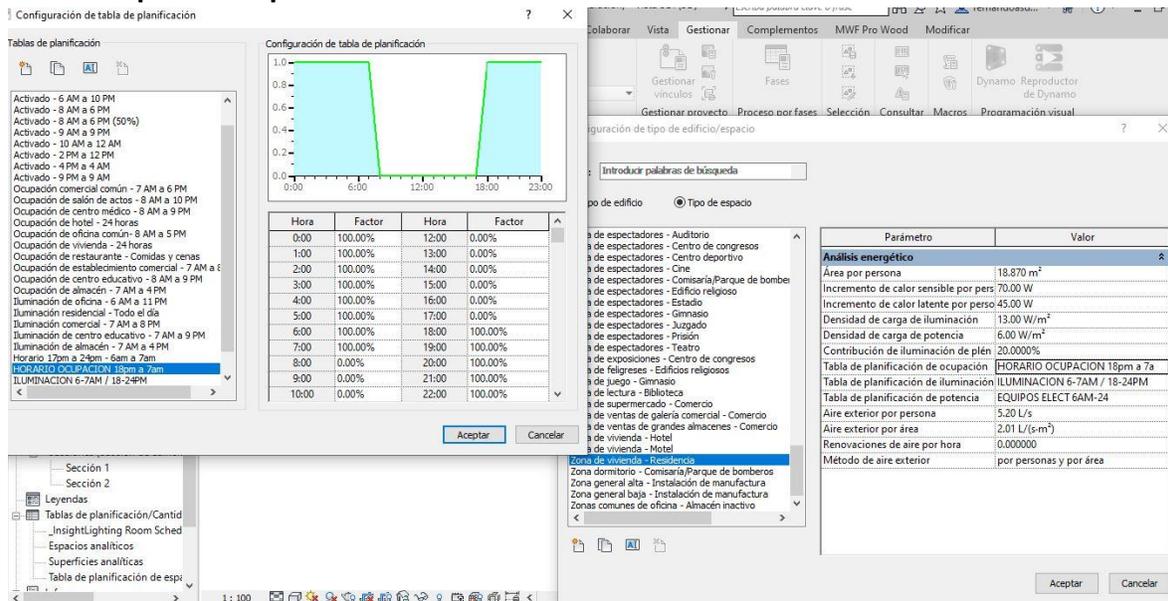


Ilustración 18 Definición de Actividad y Perfiles de Ocupación Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.6 Definición Materialidad de Envoltante

Se evaluaron nueve variables de envoltante en total, incluyendo dentro de éstas las superficies translúcidas, estos paquetes constructivos fueron definidos bajo mismas condiciones y características de materiales, ocurriendo solo una ausencia de información en relación a los factores de Resistencia superficial Interior y exterior (Rsi y Rse), fundamentales en el cálculo de transmitancia térmica, que no fueron informados en la herramienta Revit. A continuación, se describen las características consideradas por material utilizado.

Materiales	Espesor (mm)	Conductividad Térmica (W/mK)	Calor Específico (J/KgK)	Densidad (Kg/m3)
Ladrillo	140	0.72	840	1920
Poliestireno Exp.	20; 30; 40; 50	0.046	1400	10
Placa Yeso cartón	15	0.16	1150	640
Placa OSB	15	0.055	100	320

Hormigón A.	100	2.3	837.36	2321
Mortero cemento	20	1.4	650	2100
Porcelanato	8	1.3	840	2300
Listón madera Pino	100; 200	0.17	2120	650
Siding	12	1	1000	1000
Alfombra	8	0.06	1300	200
Estuco	15	1	840	1858
Grava	(-)	0.36	840	1840
Aire	(-)	0.3	1000	1

Tabla 30 Característica de materiales utilizados

Fuente: Elaboración Propia

Los Principales resultados considerados fueron la Transmitancia Térmica (Valor U) y la Resistencia Térmica (Rt), ambas consideran tanto espesor, conductividad y Resistencias Térmicas Superficiales. Los resultados obtenidos (**ver Tabla 31**) fueron variados, demostrando menor capacidad la herramienta BIM Revit, donde se carece de información respecto al Rsi y Rse que se considera por cada elemento constructivo, generando resultados cuestionables sobre todo en la definición de losa, donde su Valor U se dispara en relación a los otros dos programas.

Descripción elementos Constructivos								
Elemento	Espesor cm	Componentes	Valor-U W/(m2)K			Valor-R m2K/W		
			Design Builder	Revit 2020	Archicad 22	Design Builder	Revit 2020	Archicad 22
Muro Albañilería	0.19	Estuco 15mm + EPS 20mm + Ladrillo 140mm + Estuco 15mm.	1.21	1.58	1.13	0.83	0.63	0.88
Tabique madera Ext	0.13	Siding Madera 12mm + OSB 12mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 12mm.	1.08	1.18	1.15	0.93	0.85	0.87
Losa Hormigón	0.17	Porcelanato 8mm + Mortero 10mm + Hormigón A. 100mm + Capa Grava 50mm.	2.41	5.3	2.36	0.41	0.19	0.42
Cielo Raso madera	0.19	EPS 80mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 15mm.	0.38	0.41	0.37	2.62	2.44	2.70
Cristal ventanas	6mm	Cristal simple translucido	5.80	5.80	5.80	0.17	0.17	0.17
Muro Albañilería Mejorado	0.19	Estuco 15mm + EPS 50mm + Ladrillo	0.67	0.78	0.64	1.49	1.28	1.56

		140mm + Estuco 15mm.						
Tabique madera Ext Mejorado	0.13	Estuco 15mm + EPS 30mm + OSB 12mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 12mm.	0.78	0.94	0.81	1.28	1.06	1.23
Cielo Raso madera Mejorado	0.19	EPS 100mm + Est. Madera con aire 100mm + Tablero Yeso Cartón 15mm.	0.33	0.34	0.32	3.05	2.94	3.13
Cristal ventanas Mejorado	6mm	Cristal DVH translucido	2.80	2.80	5.8	0.36	0.36	0.17

Tabla 31 Comparación elementos constructivos

Fuente: Elaboración Propia

5.6.1 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Definición Materialidad de Envoltente	
Unidades de medida	Dimensiones (m ²) (m), Características térmicas componentes (W/m ² k) (m ² k/W), Absorción Solar (%), Infiltraciones (l/sm ²), Características Térmicas materiales (W/mK) (J/kgK) (kg/m ²).
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Crear Paquete constructivo: Opciones > Atributos de elementos > compuestos > Definir Capas asignando materiales y espesores > Confirmar. - Asignar y editar: Seleccionar superficies del modelo > asignar paquete constructivo desde las propiedades > Volver a interfaz de evaluación energética > Actualizar zonas > Ir a apartado de estructuras > Revisar Valores de superficie reconocida, Transmitancia Térmica > Indicar o mantener valor de infiltración para la superficie > Ir a apartado de aberturas > Indicar y seleccionar tipo de marco y cristal para ventanas.
Resultados	Se obtiene Valores de Transmitancia Térmica, Resistencia Térmica, Cantidad de Superficie reconocida en el BEM. Se obtiene un valor de infiltración por bloque térmico (n50) a base de la infiltración indicada por cada superficie. También se obtienen valores TST y DST en % para superficies vidriadas. Finalmente la herramienta trae un apartado que permite calcular e ingresar puentes térmicos en base a un detalle del modelo BIM.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La interfaz, permite editar gran parte de los valores para optimizar la envoltente, por ejemplo, se puede editar, Valor U, RT, %TST, %DST, Infiltración, así como también modificar características térmicas de los materiales a utilizar. - Una ventaja es que para el cálculo de Transmitancia Térmica, se permite conocer y editar la variable de Rsi y Rse. - Se reconocen diferencias entre los valores obtenidos en la herramienta y los logrados en el programa BPS.

Tabla 32 Síntesis variable de Materialidad en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.6.2 Evaluación de variable

El desempeño obtenido se medio-alto esto considerando el gran desarrollo que presenta la herramienta en cuanto a cantidad de variables a considerar y editar, sin embargo, en cuanto a resultados estos no resultan del todo buenos a nivel del Valor U y RT, por lo que su puntaje bajo.

Valoración Capacidades	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
	Complejidad de resultados	Medio (2pts.)	7 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
Accesibilidad en Interfaz	Medio (2 pts.)		

Tabla 33 Valoración de capacidades Variable de Materialidad Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.6.3 Capturas de proceso

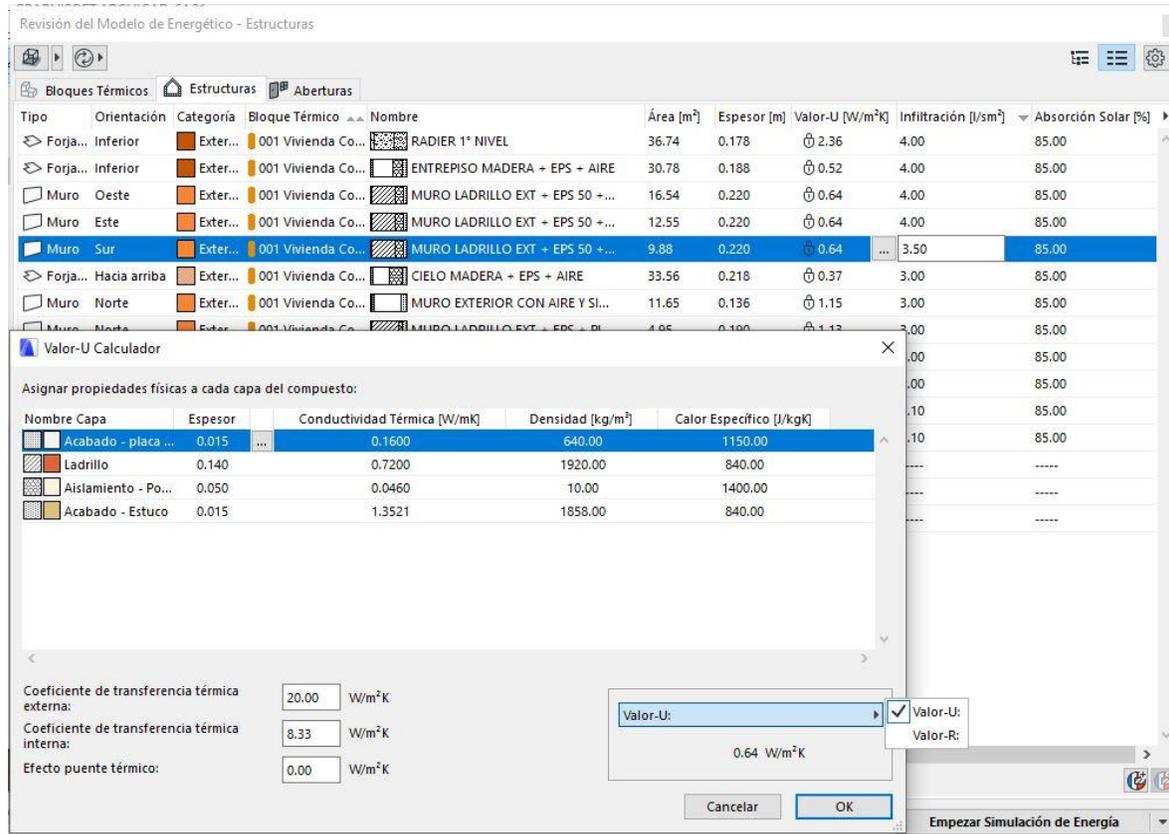


Ilustración 19 Interfaz Config. De materialidades y componentes constructivos Archicad

Fuente: elaboración Propia

5.6.4 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Definición Materialidad de Envolvente	
Unidades de medida	Dimensiones (m ²) (m), Características térmicas componentes (W/m ² k) (m ² K/W), Absorción Solar (%), Masa Térmica (kJ/K), Características Térmicas materiales: Conductividad (m*K), Calor Esp. (kg*°C), Densidad (kg/m ³).
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Crear Paquete constructivo: Seleccionar elemento constructivo > Propiedades de tipo > Duplicar > Editar Estructura > Indicar capas asignándole materiales, espesor, terminación y función (acabado, estructura o Capa térmica) > Abrir material asignado y verificar si contiene propiedades Térmicas y agregar en caso que no posea > Confirmar. - Asignar materialidad a superficies opacas: Seleccionar superficies del modelo > asignar paquete constructivo desde las propiedades. - Asignar Materialidad a superficies vidriadas: Seleccionar abertura > Editar montaje > material y acabados > seleccionar materiales > Propiedades analíticas > Definir propiedades térmicas > indicar Transmitancia térmica, % de TST y DST > Confirmar.
Resultados	Se obtiene Valores de Transmitancia Térmica, Resistencia Térmica, Masa térmica y % de TST y DST para superficies vidriadas.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La interfaz resulta simple, permitiendo ingresar los valores elementales para caracterizar la envolvente. - Se producen ausencia de especificación de Rsi y Rse, que resulta fundamental para definir el comportamiento térmico de los elementos constructivos. - Los valores de Transmitancia y Resistencia Térmica resultan muy dispares cuestionables en relación a los valores obtenidos tanto por el programa de referencia, como por la herramienta BIM Archicad.

Tabla 34 Síntesis variable de Materialidad en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.6.5 Evaluación de variable

La evaluación se definió como media-baja, teniendo fuerte influencia en la evaluación de capacidades, el hecho de lo cuestionables que resultan ser los valores de Transmitancia y Resistencia Térmica, donde el caso más crítico se presentó en el cálculo de losa de piso, donde existe una diferencia del 45% en relación al valor de referencia.

Valoración Capacidades	Crterios	Desempeño	Puntaje Final
	Complejidad de resultados	Bajo (1pts.)	5 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Medio (2 pts.)	
Accesibilidad en Interfaz	Medio (2 pts.)		

Tabla 35 Valoración de capacidades Variable de Materialidad Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.6.6 Capturas de proceso

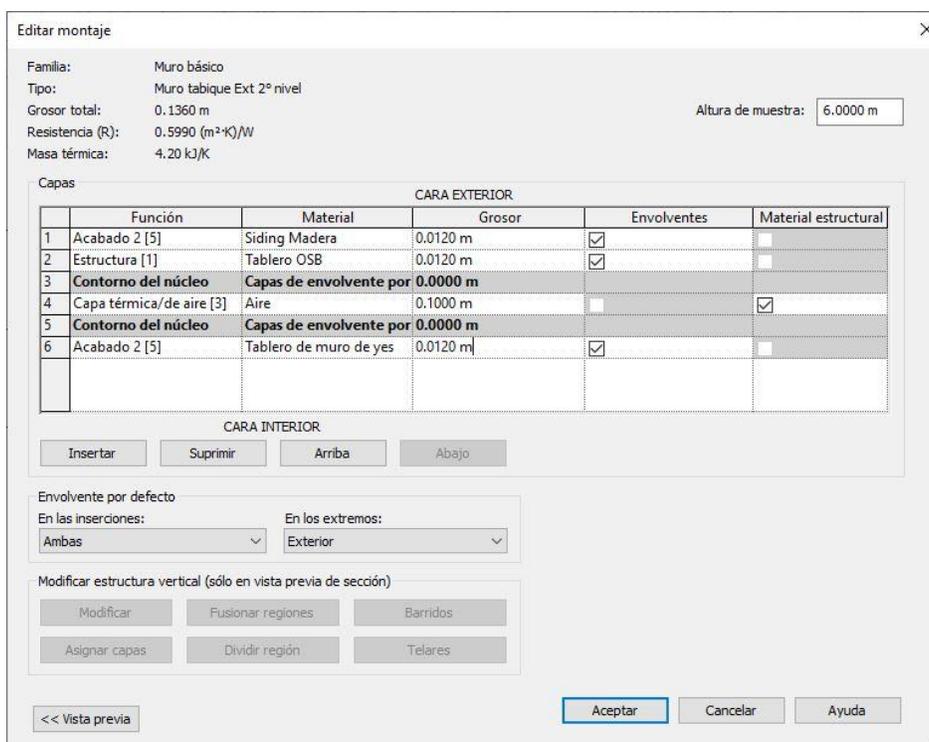


Ilustración 20 Ejemplo de interfaz para componente constructivo.

Fuente: Revit 2020

Propiedades analíticas	
Coefficiente de transferencia de calor (U)	1.6694 W/(m ² ·K)
Resistencia térmica (R)	0.5990 (m ² ·K)/W
Masa térmica	4.20 kJ/K
Absortancia	0.700000
Aspereza	3

Ilustración 21 Propiedades de incidencia en modelo energética

Fuente: Revit 2020

5.7 Iluminación y aporte solar

Mediante la utilización del programa de referencia se pudo obtener un estudio que determinara el impacto del sol tanto en desempeño lumínico, con estudio de iluminancias (ver **Ilustración 22 e Ilustración 23**) como también un estudio de autonomía lumínica (ver **Ilustración 24 e Ilustración 25**). Paralelamente además se evaluó la incidencia de la radiación solar como carga térmica que ingresa por medio de la superficie de ventanas.

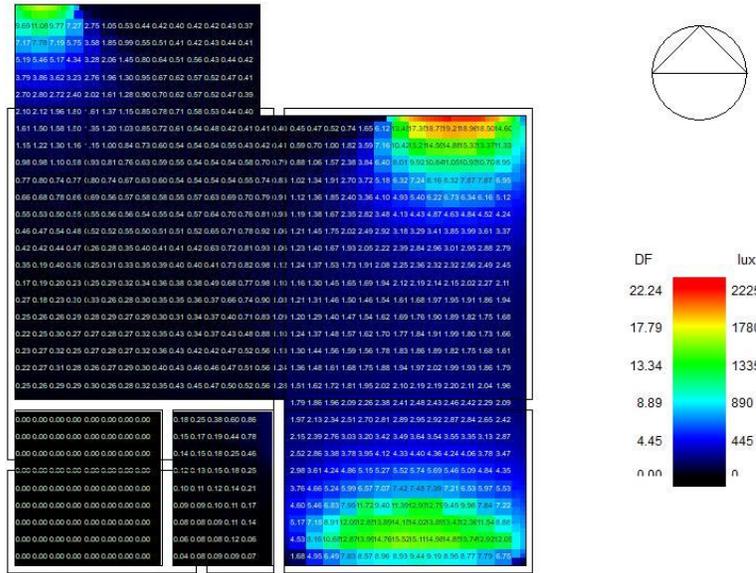


Ilustración 22 Mapa iluminancia en Primer Nivel

Fuente: DesignBuilder V6

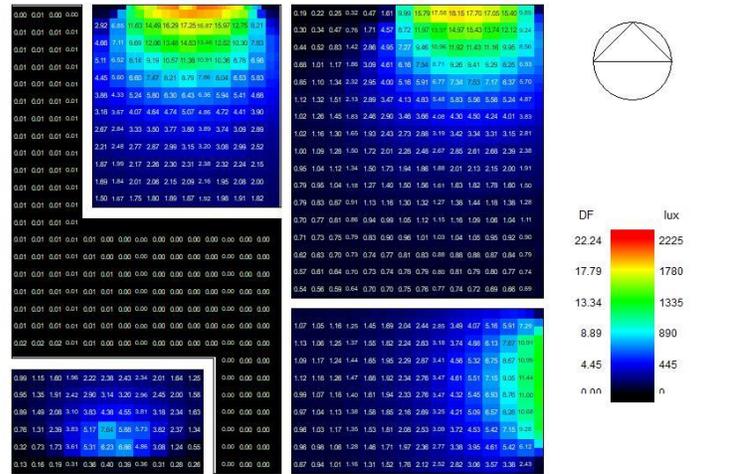


Ilustración 23 Mapa iluminancia en Segundo Nivel

Fuente: DesignBuilder V6

Se puede apreciar cómo tanto en el primer como en el segundo nivel, la iluminancia disponible no se distribuye uniformemente dentro de las plantas, si bien en el primer nivel el acceso junto con la cocina tiene buena disponibilidad de luz, el centro del estar tiene un déficit de iluminación. Situación similar a la observada en el segundo nivel, donde, mientras las habitaciones poseen buena iluminación que se distribuye dentro de toda la habitación, el pasillo no posee iluminación natural.

En tanto, el indicador de autonomía lumínica, respalda lo observado en los mapas de iluminancia, donde efectivamente es necesario mejorarlos niveles de iluminación en el centro de las plantas, tanto a nivel de estar, como también en el pasillo.

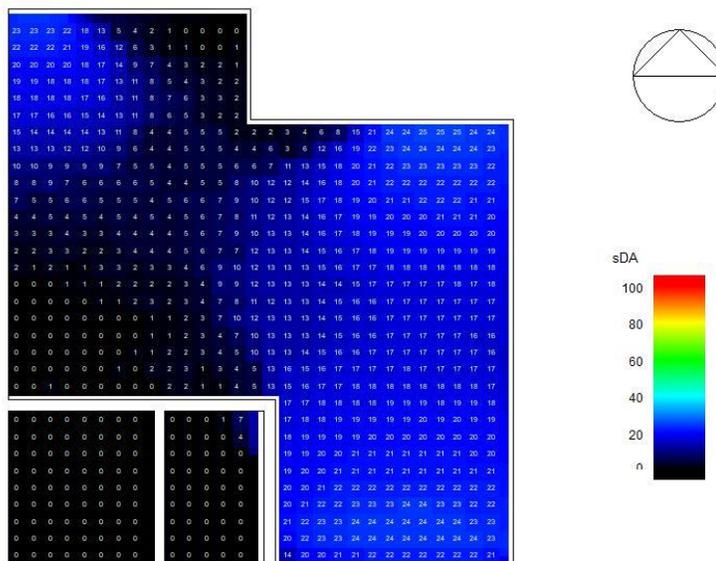


Ilustración 24 Mapa autonomía lumínica Primer Nivel

Fuente: DesignBuilder V6

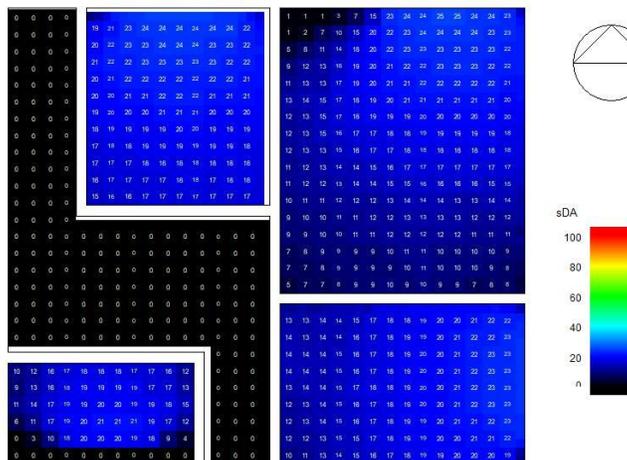


Ilustración 25 Mapa autonomía lumínica Segundo Nivel

Fuente: DesignBuilder V6

5.7.1 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Definición análisis de Iluminación y Radiación Solar	
Unidades de medida	Acristalamiento expuesto al sol (%), Radiación directa sobre Superficie acristalada (W)
Procedimiento	Revisión del Modelo energético > Aberturas > Seleccionar ventanas > Análisis solar > Calcular > visualizar resultado de % de acristalamiento expuesto y radiación solar directa en superficie de ventana (ambas calculadas para todas las horas del año).
Resultados	<ul style="list-style-type: none"> - Valor en % de acristalamiento expuesto al sol en cada hora del año. - Valor de Radiación solar directa en superficie acristalada expresada en W/h y kWh/año.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - El desarrollo de la herramienta en este ámbito resulta básico e insuficiente. - No se permite conocer el aporte lumínico ya sea en métricas de Iluminancia, Factor de luz día u otro, análisis que está presente en las otras dos herramientas estudiadas.

Tabla 36 Síntesis variable de Iluminación y ganancia solar en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.7.2 Evaluación de variable

La evaluación evidenció un bajo nivel en la capacidad de la herramienta para evaluar y tratar esta variable, existiendo una cantidad reducida de factores a evaluar, resultando insuficiente la información para comparar con respecto a las otras dos herramientas.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Bajo (1pts.)	4 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bajo (1 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Medio (2 pts.)	

Tabla 37 Valoración de capacidades Variable Iluminación y ganancia solar Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.7.3 Capturas de proceso

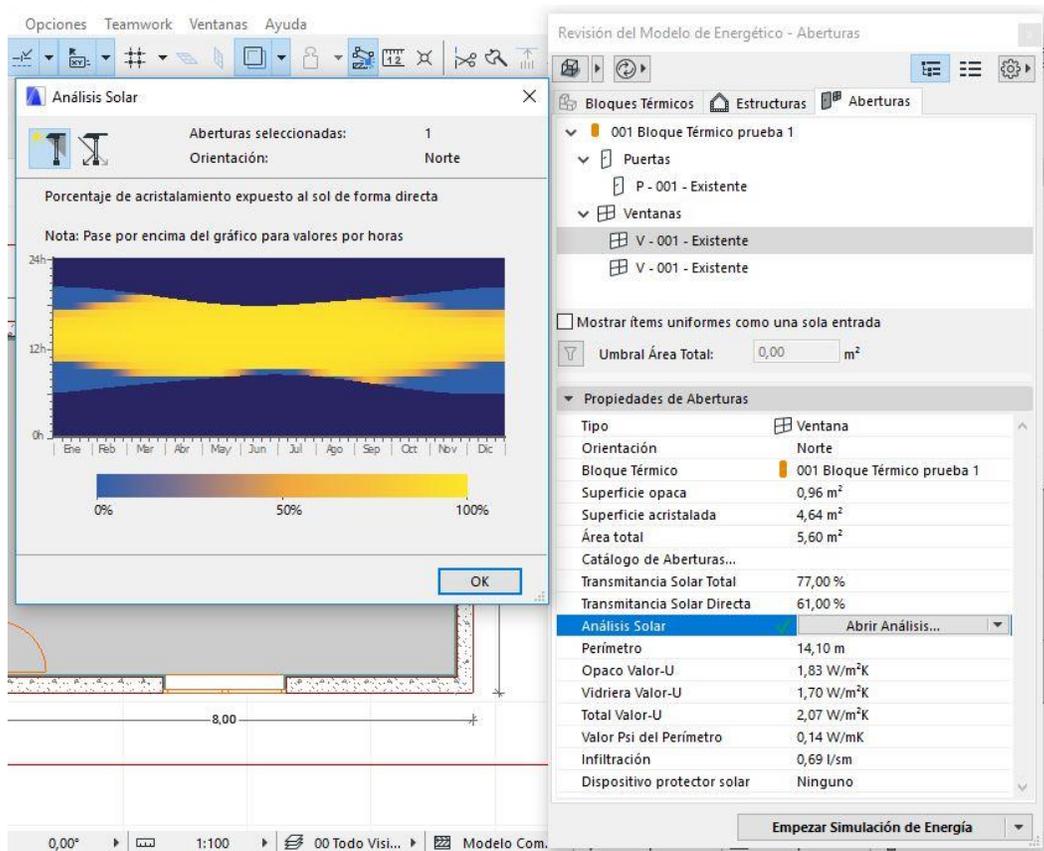


Ilustración 26 Definición de aporte solar Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.7.4 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Definición análisis de Iluminación y Radiación Solar	
Unidades de medida	Energía Solar por superficie (kWh/m ²), Producción Energía Fotovoltaica (kWh/año), Iluminancia (LUX), Autonomía Lumínica (sDA), Factor de luz día (DLF).
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Calculo energía Solar: Análisis > Solar > Tipo de Estudio (Personalizado por superficie seleccionada o Estudio Fotovoltaico considerando solo cubierta) > Actualizar > visualizar resultados en ventana y modelo 3D. - Cálculos Lumínicos: Analizar > Iluminación > Generar un nuevo análisis > Indicar que análisis se desea hacer (Iluminancia, FDL, sDA, LEED 2009, LEED v4, Acceso Solar) > comenzar > calculo automático en nube > aviso y visualización 3D cuando están listos.
Resultados	Iluminancia, Factor de luz día, Autonomía lumínica, LEED 2009, LEED v4, Acceso Solar
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Variable altamente tratada en la herramienta, permitiendo realizar un estudio completo en relación a la luz y energía Solar. - Una desventaja es que se deben pagar créditos para realizar algunos estudios de iluminación.

Tabla 38 Síntesis variable de Iluminación y ganancia solar en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.7.5 Evaluación de variable

La herramienta para esta variable, obtiene el puntaje máximo en cuanto a capacidades reconocidas, esto logrado por el amplio nivel de detalle y variables que permite procesar, dejándola al mismo nivel de una herramienta especializada.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Buena (3 pts.)	9 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Buena (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Buena (3 pts.)	

Tabla 39 Valoración de capacidades Variable Iluminación y ganancia solar Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.7.6 Capturas de proceso

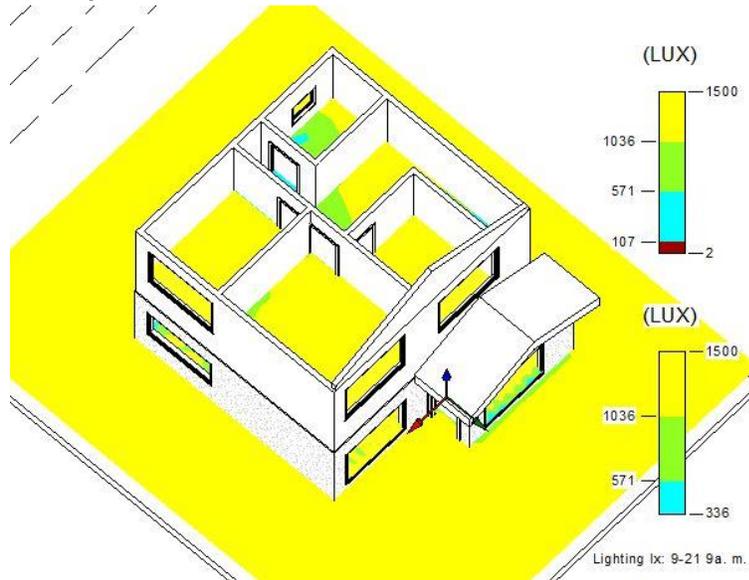


Ilustración 27 Visualización resultados análisis de Iluminancia Revit

Fuente: Elaboración Propia

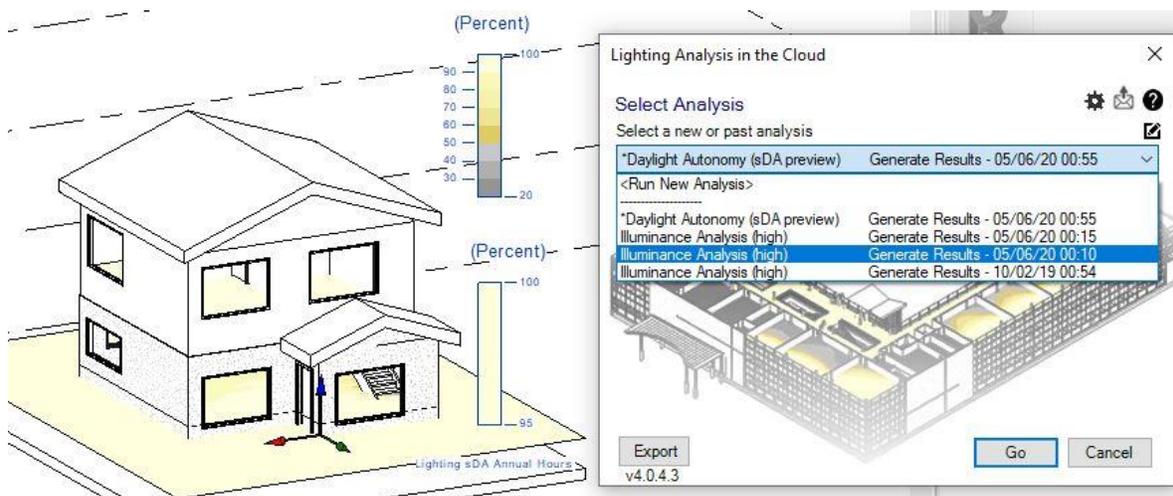


Ilustración 28 Visualización resultados análisis de Autonomía Lumínica Revit

Fuente: Elaboración Propia

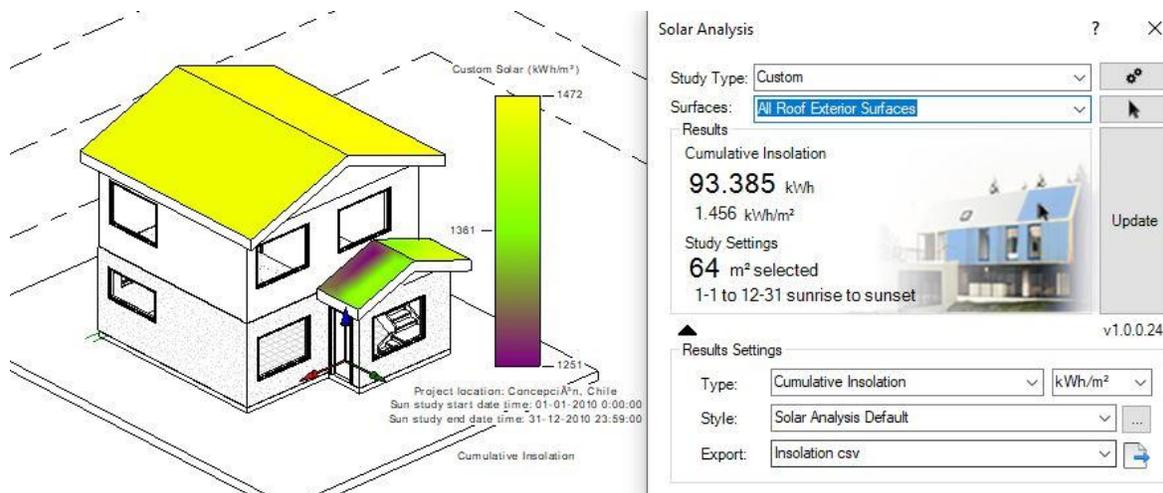


Ilustración 29 Visualización resultados análisis Solar Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.8 Definición de HVAC

La definición de sistema HVAC a utilizar en la investigación se vio influenciada por la ausencia de especificación de sistemas propios o genérico, por lo que se debió seleccionar de una lista de sistemas de climatización disponibles para la evaluación energética optando por:

- Bomba de calor residencial de Sist. Partido / compacto residencial 2.43 COP.

A continuación, se aprecian los resultados dimensionamiento y días en que se produce mayor demanda tanto en carga de calefacción, como de refrigeración.

Herramienta	Caso Analizado	Carga de Calefacción			Carga de Refrigeración		
		Total Día Peak	Tº de Config.		Total Día Peak	Tº de Config.	
Design Builder V6	Caso Base	2.26 kW	(15 de Julio)	18°	2.18 kW	(15 de enero)	24°
	Estrategia 1	1.26 kW	(15 de Julio)	18°	2.19 kW	(15 de enero)	24°
	Estrategia 2	1.75 kW	(15 de Julio)	18°	3.02 kW	(15 de enero)	24°
	Estrategia 3	0.91 kW	(15 de Julio)	18°	2.68 kW	(15 de enero)	24°
Revit 2020	Caso Base	4.33 kW	(21 de Julio)	18°	3.59 kW	(21 de febrero)	24°
	Estrategia 1	3.30 kW	(21 de Julio)	18°	3.30 kW	(21 de febrero)	24°
	Estrategia 2	3.89 kW	(21 de Julio)	18°	4.50 kW	(21 de febrero)	24°
	Estrategia 3	3.23 kW	(21 de Julio)	18°	4.10 kW	(21 de febrero)	24°

Archicad 22	Caso Base	3.70 kW	(05 de Julio)	18°	1.50 kW	(16 de febrero)	24°
	Estrategia 1	2.30 kW	(05 de Julio)	18°	1.50 kW	(16 de febrero)	24°
	Estrategia 2	2.90 kW	(05 de Julio)	18°	1.50 kW	(16 de febrero)	24°
	Estrategia 3	1.90 kW	(05 de Julio)	18°	1.50 kW	(16 de febrero)	24°

Tabla 40 Síntesis cargas de Calefacción y refrigeración.

Fuente Elaboración Propia

5.8.1 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Definición HVAC	
Unidades de medida	Dimensionamiento Carga (W), Día de mayor demanda (kW)
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Definición Básica: Evaluación de energía > Sistemas de construcción > Básico > Seleccionar sistema > Seleccionar bloques térmicos a los que se desea asignar el sistema > Confirmar > Calcular. - Definición Avanzada: Evaluación de energía > Sistemas de construcción > Experto > Seleccionar sistema > Especificar sistema con múltiples variables a ingresar > Seleccionar bloque térmico al que se desea asignar > Confirmar > Calcular.
Resultados	Se obtienen las Cargas de calefacción y refrigeración para los días de mayor demanda según sistema.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La inserción de variables para dimensionar y configurar los sistemas es completo, en cuanto a resultados obtenidos, estos resultan elementales con poca profundización y difieren de los obtenidos con el programa BPS, pero en menor cantidad que los obtenidos en BIM Revit.

Tabla 41 Síntesis variable de definición HVAC en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.8.2 Evaluación de variable

La capacidad mostrada por la herramienta es alta, si bien los resultados difieren de los de referencia, al igual que en la otra herramienta BIM. El nivel de desarrollo y especificación permitida es alto, sin embargo, en cuanto a variedad de resultados, solo muestra lo fundamental, pudiendo agregar otras variables para profundizar sobre los resultados.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Medio (2 pts.)	8 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bueno (3 pts.)	

Tabla 42 Valoración de capacidades Variable de definición HVAC Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.8.3 Capturas de proceso

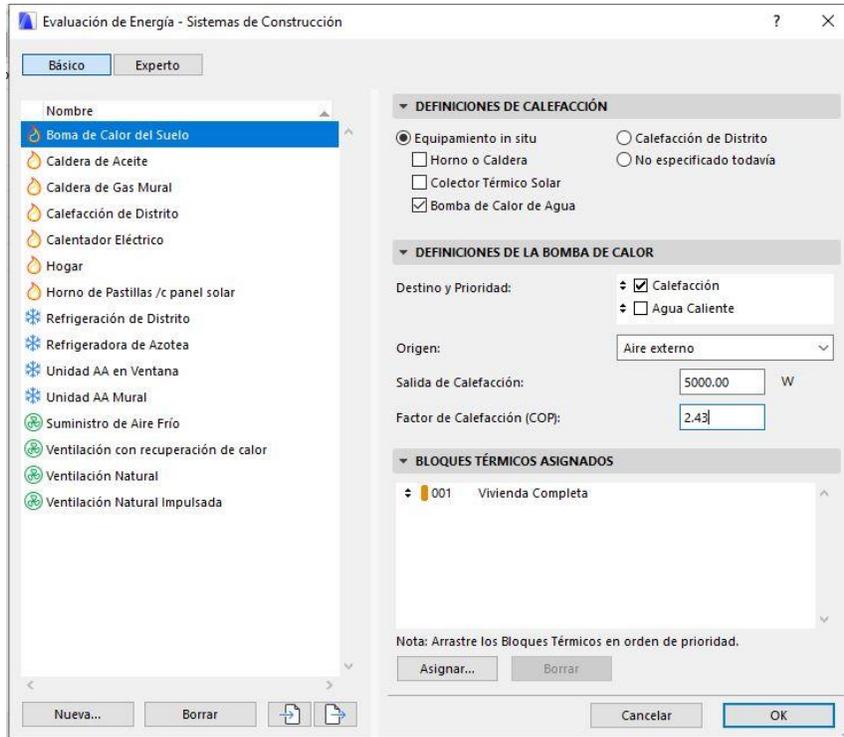


Ilustración 30 Definición de Sistemas HVAC en modo Básico

Fuente: Archicad 22

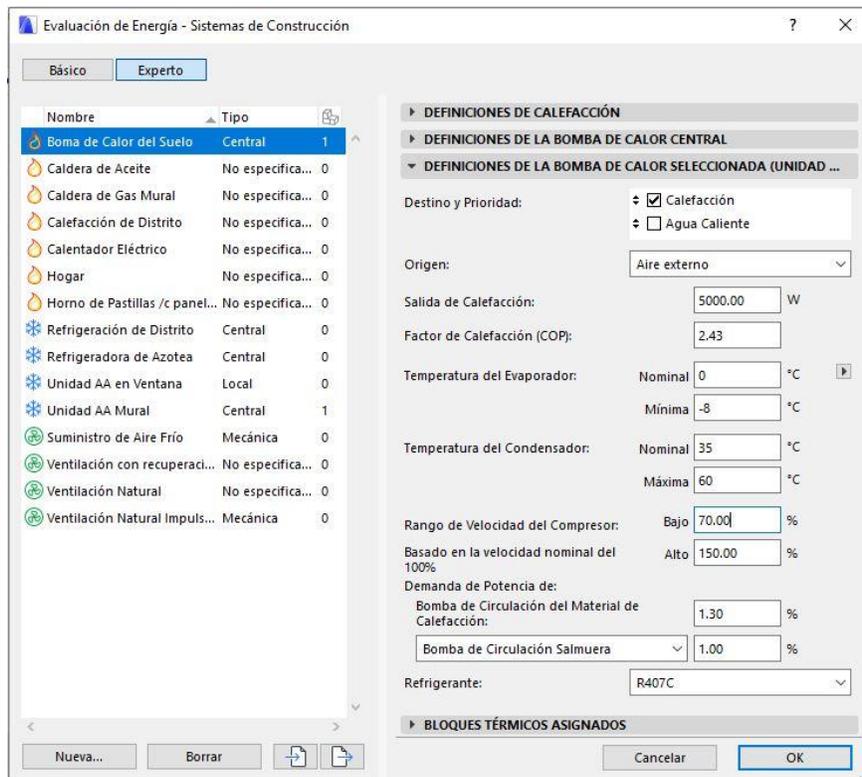


Ilustración 31 Definición de Sistemas HVAC en modo Experto

Fuente: Archicad 22

5.8.4 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Definición HVAC	
Unidades de medida	Dimensionamiento Carga (W), Día de mayor demanda (kW)
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Definición Básica: Analizar > Config. De energía > Opciones Avanzadas > Datos de la construcción > Sistema de Climatización > Seleccionar desde lista predefinida > Confirmar > Actualizar modelo de energía > Calcular. - Definición Avanzada: Analizar > Espacios y zonas > Definir Zonas de climatización > Seleccionar Zona > Propiedades > Análisis energético > Seleccionar sistema > Indicar configuración para Calefacción, Refrigeración y aire > Actualizar modelo de energía > Calcular.
Resultados	<ul style="list-style-type: none"> - Se obtienen los mismos resultados que en el programa BPS al utilizar el mismo motor de cálculo (Energyplus). - Los datos principales de dimensionamiento es Cargas por recintos calculada y de diseño, definida para cada recinto en el día de mayor demanda (día de invierno en calefacción y día de verano en refrigeración).
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La disponibilidad de resultados es la misma que el BPS por utilizar el mismo motor de cálculo, pero la introducción de los datos necesarios para su cálculo, vienen desde la herramienta BIM. Por esto, las Cargas tienen el mismo comportamiento que el BPS en torno a subir y bajar según cada caso, pero los valores obtenidos resultaron muy altos en relación a los de referencia, esto se debe a las diferencias presentadas en los otros puntos del flujo de trabajo analizados (características de envolvente, cargas internas, clima, etc.)

Tabla 43 Síntesis variable de definición HVAC en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.8.5 Evaluación de variable

El nivel de capacidad resultante fue mayoritariamente medio, esto porque si bien en cuanto a cantidad y complejidad de resultados a los que se puede acceder, la herramienta es bien variada y completa al ser las mismas arrojadas del programa BPS, la especificación de sistemas no se puede realizar teniendo solo la opción de seleccionar de casos predefinidos. Además, la introducción de variables necesarias para dimensionar los sistemas depende de la inserción de datos en la interfaz de BIM, donde como se analizó en puntos anteriores tiene discrepancias en relación a lo conseguido por el BPS (características de envolvente, ocupación, clima, etc.)

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Bueno (3 pts.)	6 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bajo (1 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Medio (2 pts.)	

Tabla 44 Valoración de capacidades Variable de definición HVAC Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.8.6 Capturas de proceso

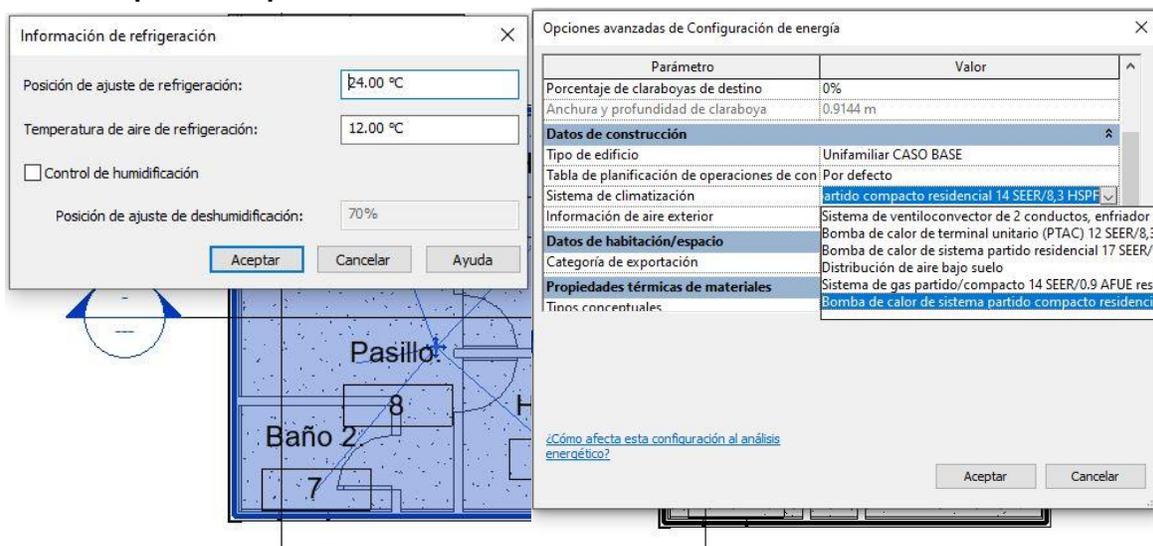


Ilustración 32 Definición y configuración de HVAC

Fuente: Revit 2020

5.9 Obtención de Resultados

La gama de resultados disponibles y comparables dentro de las dos herramientas BIM evaluadas, es amplia en detalles y tipos de resultados por obtener. Sin embargo, para la evaluación de esta variable del flujo de trabajo, se consideraron los resultados que representan de mejor forma el impacto global del caso base y sus múltiples estrategias pasivas simuladas, profundizando así, en demanda de calefacción y refrigeración.

A continuación, se detallan las demandas de calefacción y refrigeración calculadas para los distintos casos analizados por las tres herramientas.

Síntesis de Casos									
Casos	Demanda energética (kWh/m2año)								
	Design Builder			Archicad			Revit		
	Calefac.	Refrig.	Total	Calefac.	Refrig.	Total	Calefac.	Refrig.	Total
Caso Base	30.90	0.69	104.2	32.63	1.13	118.6	28.59	1.44	102
Estrategia 1 (Mejora envolvente)	21.84	0.76	95.23	26.04	1.19	114.4	19.51	1.52	94.82
Estrategia 2 (Modificación Ventanas)	22.77	1.81	97.22	30.79	2.04	131.6	20.82	1.91	102.7
Estrategia 3 (Est. 1 y 2 combinadas)	14.50	1.93	89.07	16.16	2.21	116.9	12.86	2.57	90.02

Tabla 45 Síntesis de desempeño energético totalidad de casos

Fuente: Elaboración Propia

5.9.1 Descripción de Actividad / Variable en Archicad

Nombre Actividad: Obtención de Resultados	
Unidades de medida	Demanda de calefacción y refrigeración, consumo total (kWh/m2año) (kWh/año)
Procedimiento	Revisión del modelo energético (verificar que estén asignadas todas las variables a los bloques térmicos) > Actualizar Zonas > Actualizar revisión de modelo > Empezar a Simular > Indicar si existe un edificio de referencia o no se vincula a otra simulación > Continuar > Guardar los resultados en PDF o Exportar a XLS o XML.
Resultados	Se obtiene desempeño energético anual, Balance energético, Perfiles de Tº, Datos de diseño HVAC, Consumo por fuentes de energía, Impacto Medioambiental.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La herramienta ofrece gran variedad de resultados incluyendo impacto medioambiental si se quiere conocer. - Hay que tener mucha precaución de estar actualizando la revisión de modelo constantemente, y es recomendable enviar a simular cada cierto tiempo, para verificar si los cambios realizados no generan conflicto en la simulación (envía un mensaje de que las zonas calculadas no son convergentes) debido a que luego de modificar muchos datos, se dificulta encontrar la variable que genera el error y detiene el flujo de trabajo.

Tabla 46 Síntesis variable de obtención de Resultados en flujo de trabajo Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.9.2 Evaluación de variable

La obtención de resultados es destacable, existe una variedad de resultados de distinto nivel de detalle. Sin embargo, el motor de cálculo arroja constantemente errores en la simulación por lo que denota una cierta limitación frente a todas las variables o geometrías que pueda procesar. En cuanto a los resultados de desempeño energético de casos, estos resultaron en general mayores a los referenciales, sin embargo, esta diferencia resulta coherente considerando que existen algunas diferencias en algunas variables estudiadas (Sup. Analizada, Valor U, Cargas HVAC, etc.)

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Bueno (3 pts.)	7 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Medio (2 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Medio (2 pts.)	

Tabla 47 Valoración de capacidades Variable de obtención de resultados Archicad

Fuente: Elaboración Propia

5.9.3 Capturas de proceso

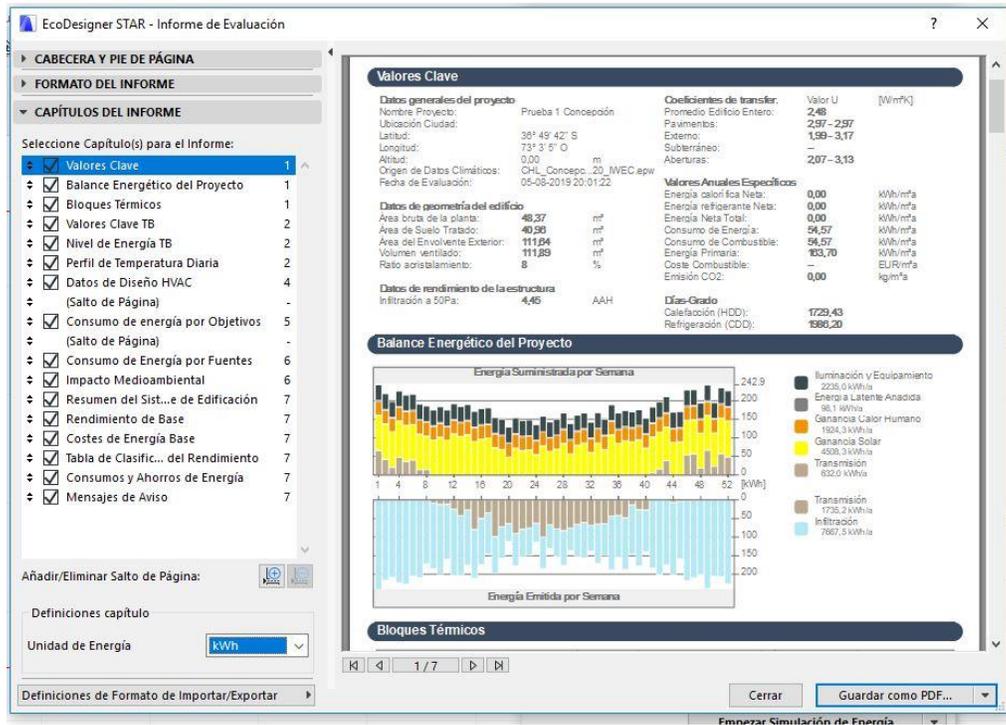


Ilustración 33 Generación de informe con resultados

Fuente: Archicad 22

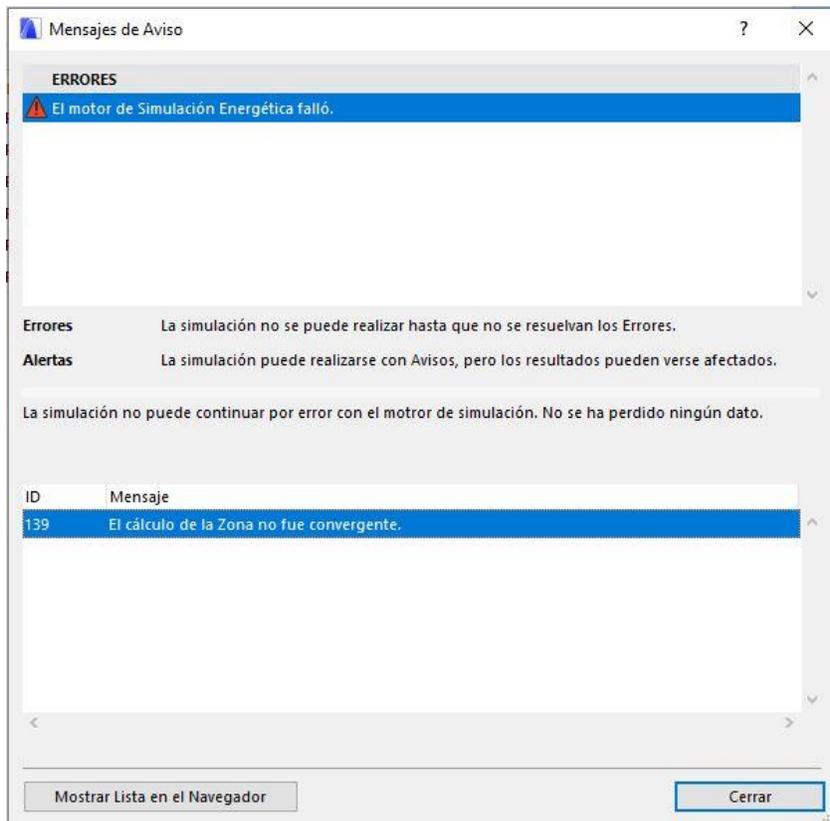


Ilustración 34 Mensaje de error en proceso de cálculo.

Fuente: Archicad 22

5.9.4 Descripción de Actividad / Variable en Revit

Nombre Actividad: Obtención de Resultados	
Unidades de medida	Demanda de calefacción y refrigeración, consumo total (MJ/m2año) (kWh/año) (GJ/año)
Procedimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Visualización Insight 360: Analizar > Configuración de energía > Verificar que este indicada toda la información necesaria > Confirmar > Generar modelo energético > Generar > Calculo en nube > visualización de resultados por la plataforma Insight 360. - Visualización informe Energyplus en Revit: Analizar > Configuración de energía > Verificar que este indicada toda la información necesaria > Confirmar > Generar modelo energético > Análisis de sistemas > Simulación energética anual de edificios > Ejecutar análisis > Visualizar informe en Revit.
Resultados	Se obtiene la mayoría de los resultados obtenidos en DesignBuilder, entre ellos: Desempeño energético anual, Usos y fuentes de la energía, Dimensionamiento HVAC, informes por cada tipo de carga, informe de Clima, información LEED, etc.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> - La herramienta con la versión (2020.2.1) incluyó un análisis y creación de informe detallado de desempeño energético dentro de la interfaz de Revit. - Respecto de los resultados obtenidos, estos difieren de los resultados de referencia, sin embargo, parecen diferencias coherentes considerando las variaciones que existieron en el proceso y que se indicaron en puntos anteriores.

Tabla 48 Síntesis variable de obtención de Resultados en flujo de trabajo Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.9.5 Evaluación de variable

Las capacidades de esta variable resultaron excelentes, la inclusión de un nuevo flujo de trabajo para simular donde ya no es necesario acceder a Insight o Green Building Studio, potenció de gran forma la herramienta y las posibilidades que esta ofrece a los usuarios. Además, en cuanto a resultados de desempeño energético de los casos, si bien, difieren un poco de los resultados de referencia, se muestran coherentes en relación a las diferencias existentes en el modelo.

Valoración	Criterios	Desempeño	Puntaje Final
Capacidades	Complejidad de resultados	Bueno (3 pts.)	9 Pts.
	Nivel de especificación permitido	Bueno (3 pts.)	
	Accesibilidad en Interfaz	Bueno (3 pts.)	

Tabla 49 Valoración de capacidades Variable de obtención de resultados Revit

Fuente: Elaboración Propia

5.9.6 Capturas de proceso

Annual Overview

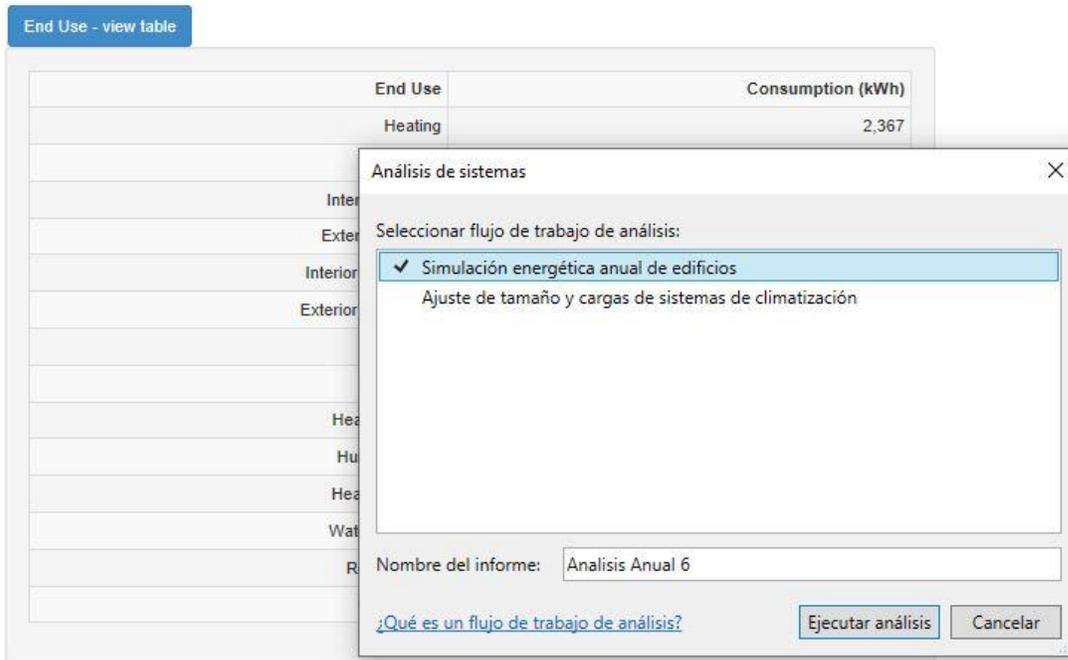


Ilustración 35 Creación de reporte con resultados de simulación energética

Fuente: Revit 2020

Detailed Report

Program Version: EnergyPlus, Version 9.1.0-fafb9d5652, YMD=2020.04.30 00:44

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Nombre de proyecto

Environment: RUN PERIOD 1 ** Concepcion Carriel Sur Intl AP BI CHL ISD-TMYx WMO#=856820

Simulation Timestamp: 2020-04-30 00:44:53

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2020-04-30 00:44:53

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	28.15	379.07	379.07
Net Site Energy	28.15	379.07	379.07



Ilustración 36 Extracto reporte Simulación Energética

Fuente: Revit 2020

CAPITULO 6: Discusión de Resultados

6.1 BIM y la importancia de la interfaz para la evaluación energética

Esta investigación ha abordado múltiples actividades y variables necesarias para poder llevar a cabo una simulación energética. Un punto importante a evaluar fue el ítem de interfaz, ya sea en cuanto a vinculación de variables, como también complejidades o problemas que le generasen a los usuarios.

En este sentido, tanto Archicad y Revit en general, demostraron tener una interfaz capaz de ejecutar un flujo de trabajo que facilitase la obtención de resultados de desempeño energético. Si bien, ambas herramientas tuvieron buen desempeño en esta área del estudio, hubo dos actividades del flujo de trabajo en que ambas destacaron.

La primera es la definición de modelos geométricos, aplicado en este caso a los modelos de energía, esta, es una variable del flujo de trabajo en la que siempre ha destacado cualquier herramienta BIM, debido a que es el principal activo de la metodología BIM como definió (Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks 2008) en su origen y han confirmado múltiples autores ligados al desarrollo de esta metodología a lo largo del tiempo. Siendo también, uno de los motivos del por qué un área de la investigación en BIM, abordada por ejemplo por (Lobos, Wandersleben y Castillo 2014) se ha enfocado en investigar la interoperabilidad y exportación desde herramientas BIM a BPS. Las ventajas que esto significa en un ahorro de trabajo y tiempo son conocidas, y confirmadas también en esta investigación, donde al contar con un modelo BIM desarrollado correctamente, la interfaz de las herramientas estudiadas generaba automáticamente un modelo de energía, logrando en menos de un minuto lo que en una herramienta BPS significarían varias horas de trabajo dependiendo de la complejidad del proyecto.

Sin desmedro de lo anterior, en la investigación se identificó una limitante para esta creación y utilización de modelos energéticos generados en BIM. El problema se encontró en la definición de aperturas interiores como huecos de escaleras o dobles alturas, donde se observó, tanto en Revit y Archicad, que estas situaciones generaban conflictos en la traducción del modelo BIM al BEM, dejando superficies sin cerrar y por lo tanto quitando validez al modelo creado. Problema detectado que se solucionaba dividiendo ese volumen compartido, a un volumen por nivel, manteniendo de esta forma, su excelente desempeño en el resto de la traducción y confirmando sus capacidades para la creación de modelos.

La segunda interfaz que destacó, fue la de obtención de resultados, esta interfaz, demostró ser capaz de abordar múltiples variables, presentando un nivel de información detallada y confiable. Logro no menor, considerando que en el caso de Revit, los resultados a los que se puede acceder con la nueva metodología de cálculo, resultan comparables en cantidad con los obtenidos en un BPS. Esto resulta posible, gracias al nuevo reporte completo de Energyplus que se entrega en la herramienta, sin necesidad de ingresar a Insight 360 o a la plataforma ya desactualizada, Green Building Studio para visualizar y ordenar la información, logrando así agilizar notablemente el flujo de trabajo para usuarios especialistas.

En cuanto a la herramienta Archicad, de igual forma que Revit, resulto tener una interfaz que detalla y precisa gran variedad de resultados, incluyendo incluso, la posibilidad de calcular impacto

medioambiental a través del cálculo de huella de carbono, lo que la convierte también en una herramienta con gran capacidad al momento de buscar obtener distintos resultados.

Finalmente, es justo señalar también, que existieron etapas del flujo de trabajo, que al ser evaluadas mostraron ser poco capaces en la definición de esa actividad, obteniendo Revit los peores casos evaluados, siendo la interfaz para el dimensionamiento de HVAC y la definición de Perfiles de Ocupación, las con peor capacidad medida. Situación ocurrida principalmente, por lo disgregado que resultó ser la inserción de datos, cuando se quiere detallar alguna de estas variables, teniendo que ingresar a la interfaz de MEP incluso, lo que resulta poco accesible para el común de los usuarios y que además no es indicado por Autodesk dentro de las acciones a realizar para la realización de evaluación energética.

6.2 El nivel de especificación logrado en BIM

Otro criterio abordado es esta investigación para evaluar las capacidades de los programas BIM en cada etapa del flujo de trabajo, son los niveles de especificación que estas herramientas presentaron al momento de abordar cada actividad. En este sentido se determinó que un bajo nivel de especificación en la herramienta, en la mayoría de las variables evaluadas, se traducía también, en una baja cantidad y nivel de los resultados que se pudiesen generar por esa actividad. Tendencia que se pudo apreciar en la evaluación de capacidades en la definición de Clima en Revit e iluminación Archicad, siendo las actividades en las que los programas obtuvieron peor rendimiento en este criterio de evaluación.

Sin desmedro de lo anterior, el nivel de especificación permitido en las herramientas evaluadas resultó ser alto, superando Archicad a Revit en el total de puntos conseguidos en la evaluación de todo el flujo de trabajo, pero solo con 1 punto de diferencia, acercándose ambos a los 24 puntos que era el máximo que se podía conseguir. Esto evidencia los avances que han tenido los módulos de evaluación energética en estas herramientas BIM a lo largo de los años, lo que comprueba además la necesidad de realizar este estudio comparativo, para dimensionar el estado actual de desarrollo que se presenta, y conocer las debilidades de cada herramienta en la actualidad.

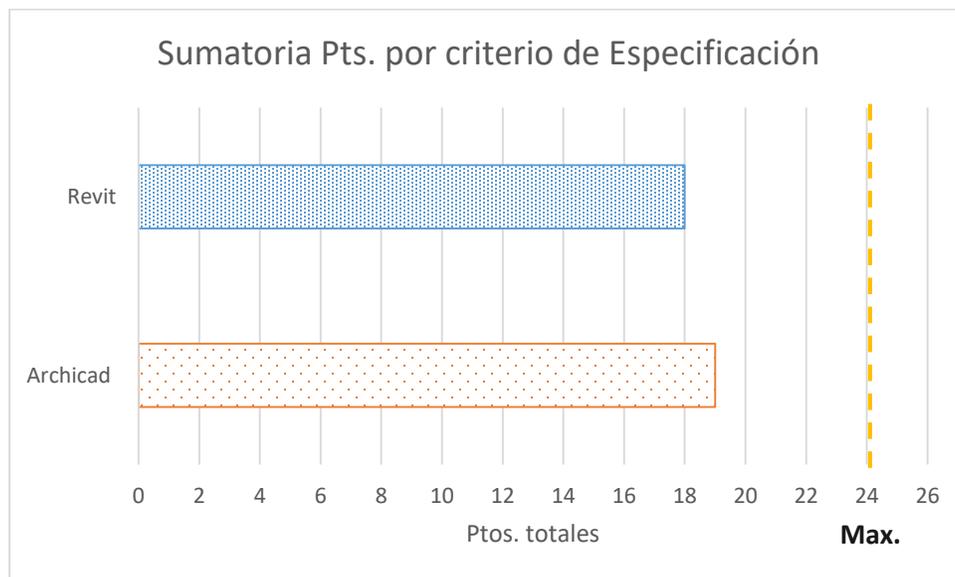


Figura 1 Comparativa capacidades BIM en criterio de especificación

Fuente: Elaboración Propia

6.3 Calidad de Resultados obtenidos

En total se evaluaron ocho actividades o variables del flujo de trabajo necesario para conocer el desempeño energético de una edificación. En este sentido, hubo resultados que presentaron distintos niveles de discrepancia, lo que llevo a obtener un desempeño energético distinto por cada herramienta y caso analizado, en menor y mayor medida. Sin embargo, en cuanto a tendencia de resultados en la mayoría de los casos, se presentó un comportamiento similar y esperado. A continuación, se detallan algunos de los resultados más relevantes conseguidos.

6.3.1 Definición de Geometría

Tal como se puede apreciar en la **Tabla 50**, uno de las variables evaluadas que resulto más interesante, fue la definición de la geometría del modelo energético, puesto que si bien la capacidad de generar geometrías en las herramientas BIM es alta y reconocida por múltiples autores como (Pezeshki, Soleimani y Darabi 2019), las dimensiones finales del modelo energético se demostró que varían según herramienta, debido a que si bien, ambas herramientas partieron de un mismo modelo BIM, al transformar el modelo a BEM, se generan pequeñas discrepancias en el trazado de las superficies analíticas, lo que termina incidiendo en el resto de variables analizadas, ya que los m² de envolvente y superficie analizada son datos vinculados a lo largo de todo el flujo de trabajo, motivo por el cual se aceptaban las diferencias en las demandas de calefacción y refrigeración obtenidas al final del estudio.

Síntesis comparativa geometría resultante de casos					
	Caso Simulado	Sup. Interior BIM (m2)	Sup. Total (m2)	Sup. Analizada (m2)	Área total envolvente (m2)
Design Builder V6	Caso Base	75	74.94	74.94	225.04
	Mejora 1	75	74.94	74.94	225.04
	Mejora 2	75	74.94	74.94	231.22
	Mejora 3	75	74.94	74.94	232.19
Revit 2020	Caso Base	75	74.26	74.26	234.21
	Mejora 1	75	71.54	71.54	233.59
	Mejora 2	75	74.26	74.26	238.42
	Mejora 3	75	71.87	71.87	236.73
Archicad 22	Caso Base	75	85.12	74.48	234.19
	Mejora 1	75	85.12	74.18	232.57
	Mejora 2	75	85.12	74.48	231.52
	Mejora 3	75	85.12	74.18	229.70

Tabla 50 Síntesis superficies modelo BEM

Fuente: Elaboración Propia

Si bien, las diferencias entre modelos energéticos de las distintas herramientas analizadas en general promedia un 74.08 m² de superficie analizada, se evidencian diferencias considerables en los casos en que se aumentó el espesor de envolvente en Revit, disminuyendo la superficie analítica en un 3.6%, lo que es una variación considerable, si se compara con el programa de referencia, donde se mantuvieron las dimensiones de los modelos y también con el programa Archicad, donde la variación entre estas estrategias significó una reducción en la superficie analizada solo del 0.4%.

Lo anteriormente señalado hace pensar que es un hecho que las herramientas BIM se guían de la superficie interior contenida en zonas o espacios térmicos, pero el aumento de espesor de envolvente evidenció que en Revit el modelo BEM considero un aumento de muros en mayor cantidad hacia el interior que el exterior, distinto de lo apreciado en Archicad.

Otro punto interesante observado es la definición de altura dentro de las zonas o espacios térmicos, porque tal como ocurrió en la superficie analítica, el programa BPS no varió su altura según aumento de espesor, y la mantuvo estática en 2.7m. Distinto de lo ocurrido en BIM, donde a pesar de contar con una altura interior de 2.7m en ambas herramientas, los valores variaron según caso y herramienta, lo que es evidenciado en la cantidad de superficie de envolvente total, donde ambas herramientas BIM resultaron tener superficie mayor a la del modelo de referencia.

Es así, como se evidencia, que si bien, la interfaz y posibilidades de reducir tiempo en creación de modelos energéticos a través de BIM es cierta, se deben tomar las precauciones de revisar si las superficies analizadas son las esperadas por el usuario, porque en la investigación se comprobó que pueden existir variaciones, que impactaran de mayor o menor medida, según qué tan altas sean las diferencias entre modelos.

6.3.2 Definición de cargas internas

Otro de los factores relevantes que definen el desempeño energético de la edificación, son las cargas internas aportadas, por personas, iluminación y equipos. En este sentido el desempeño que tuvieron las herramientas fue en parte el esperado, considerando que hubo variaciones menores en cargas de iluminación y de quipos por parte de Archicad. Sin embargo, como se puede apreciar en la se generaron discrepancias importantes como la de Aporte de equipos en Revit y Aporte de personas en Archicad.

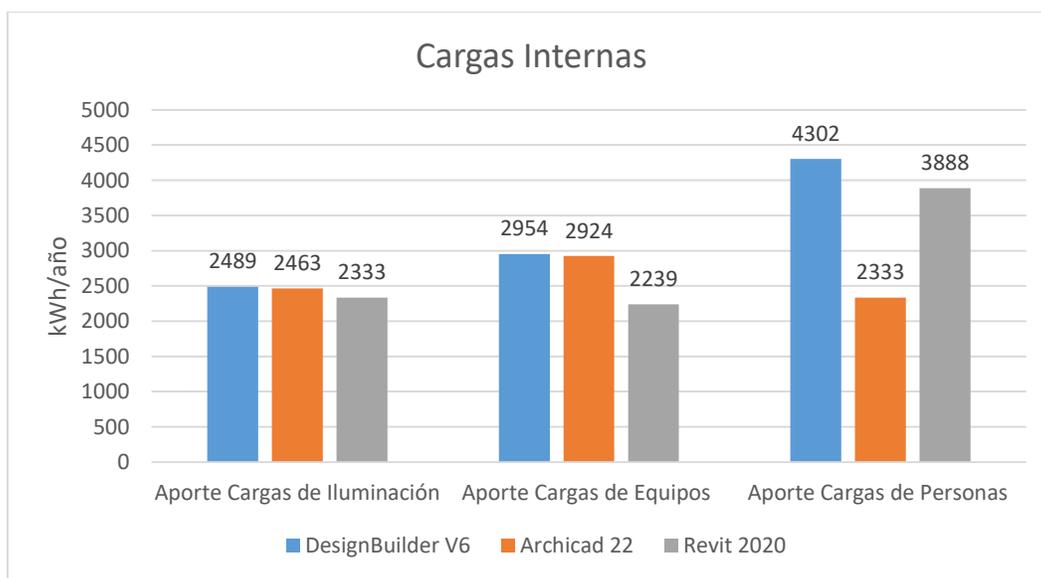


Figura 2 Comparación de cargas internas

Fuente: Elaboración Propia

El resultado que más llama la atención es el de carga térmica por personas, considerando que al igual que en resto de variables se ingresó la misma cantidad de energía por persona (115W), sin embargo, se aprecia una diferencia en el resultado de un 45%, situación que no se conoce el motivo,

debido a que si bien, existen pequeñas variaciones en la superficie analizada, no es tal, como para generar una diferencia tan alta.

6.3.3 La Materialidad y propiedades térmicas

Resultados interesantes se dieron en la definición de esta variable, lo que sin lugar a dudas tuvo un impacto en los resultados finales. En primer lugar tal como se puede revisar en la **Tabla 30** se consideraron la mismas características de materiales para las tres herramientas, por lo que se generaron discrepancias que fueron externas al usuario, y que se evidenciaron con mayor fuerza en la herramienta Revit, generando las mayores discrepancias en Transmitancia y Resistencia térmica, con relación a lo obtenido en BPS.

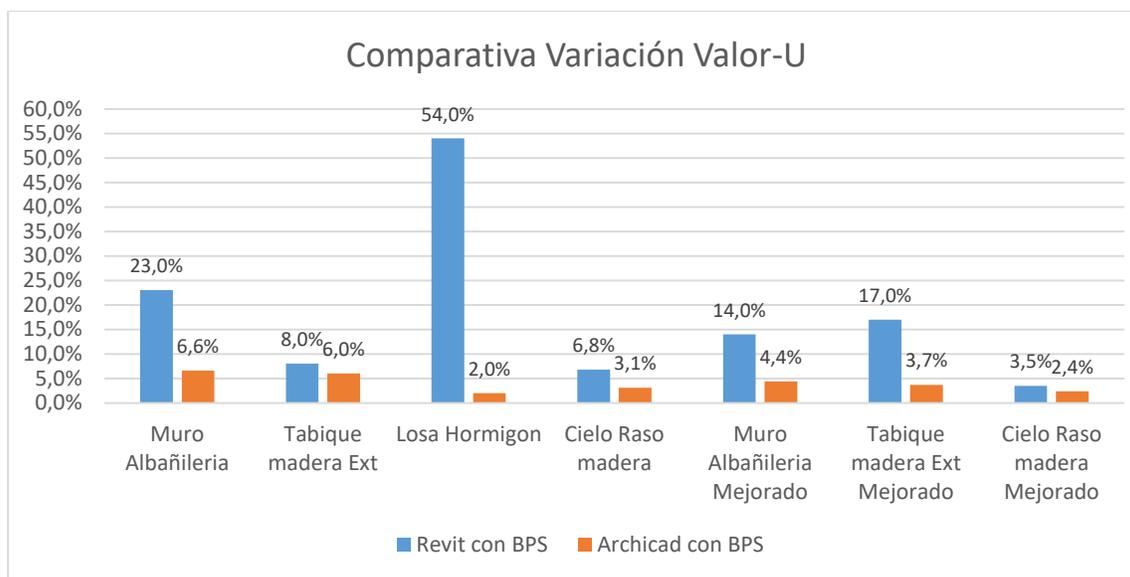


Figura 3 Comparativa de variación Valor-U según Herramienta

Fuente: Elaboración Propia

Tal como se indicó anteriormente y se puede ver en el gráfico superior, existen discrepancias altas en algunos componentes de la envolvente, siendo el caso más extremo, el de la losa en Revit (54%), si bien, sabemos que las pérdidas térmicas por suelo son menores al estar en contacto con una superficie de t° estable, distinto al impacto que puede tener una cubierta. La diferencia observada es notoria, y se cree que es producida por una configuración errónea en las resistencias superficiales Externas e internas (R_{se} y R_{si}) para poder calcular su transmitancia, factores que a diferencia de lo que ocurre en Archicad, en Revit no pueden ser manejados por el usuario. Por lo que son errores externos al usuario.

Caso similar ocurre en Archicad, donde a pesar de tener las mismas resistencias superficiales que la herramienta BPS, de igual forma se producen diferencias, siendo el muro de albañilería el que presenta mayor discrepancia (6.6%) en relación al resultado del BPS, pero que de igual forma resultan menores a las presentadas por la herramienta Revit.

De esta forma se confirma deficiencias en el cálculo de esta variable en ambas herramientas BIM, siendo un error externo al usuario.

6.3.4 Demanda y Cargas de HVAC

Finalmente, los resultados definidos como indicadores de desempeño energético fueron las demandas de calefacción, refrigeración y demanda total, además de revisar las cargas de calefacción y refrigeración para los días de mayor demanda. En torno a los resultados, podemos revisar en la **Figura 4** que en general la herramienta BIM Revit fue la que obtuvo resultados más cercanos a los de referencia, y Archicad obtuvo resultados que en relación al programa BPS, resultaron ser los valores más altos de las 12 simulaciones realizadas, promediando una diferencia de 19% entre todas las demandas totales.

Uno de los motivos del porque se cree que Revit obtuvo valores similares a los de DesignBuilder a nivel general, tomando en cuenta que presento falencias en cálculos de transmitancia térmica, es el hecho de que comparten motor de cálculo (Energyplus), distinto de lo presentado en Archicad donde (Vip-core), por lo que puede haber diferencias en el impacto que significa cada variable ingresada para cada motor de cálculo, diferencias que son normales que ocurran entre distintos motores de cálculo y que siempre son evidenciados en Test de ASHRAE 140 como se ejemplifica en el **Anexo 12**.



Figura 4 Síntesis de desempeño energético

Fuente: Elaboración Propia

Analizando desde la variable de demanda de calefacción (ver Figura 5) el desempeño de las herramientas arrojó resultados, que si bien difieren de la tendencia de las demandas totales donde Archicad presentaba mayor diferencia que Revit con BPS. A nivel de demanda de calefacción, la mayor diferencia producida es en la estrategia de Ventanas entre Archicad y BPS con una diferencia de 8.0 kWh/m2a, lo que supera el límite propuesto por la investigación de 5 kWh/m2a, pero si estarían siendo aprobados las otras simulaciones realizadas.

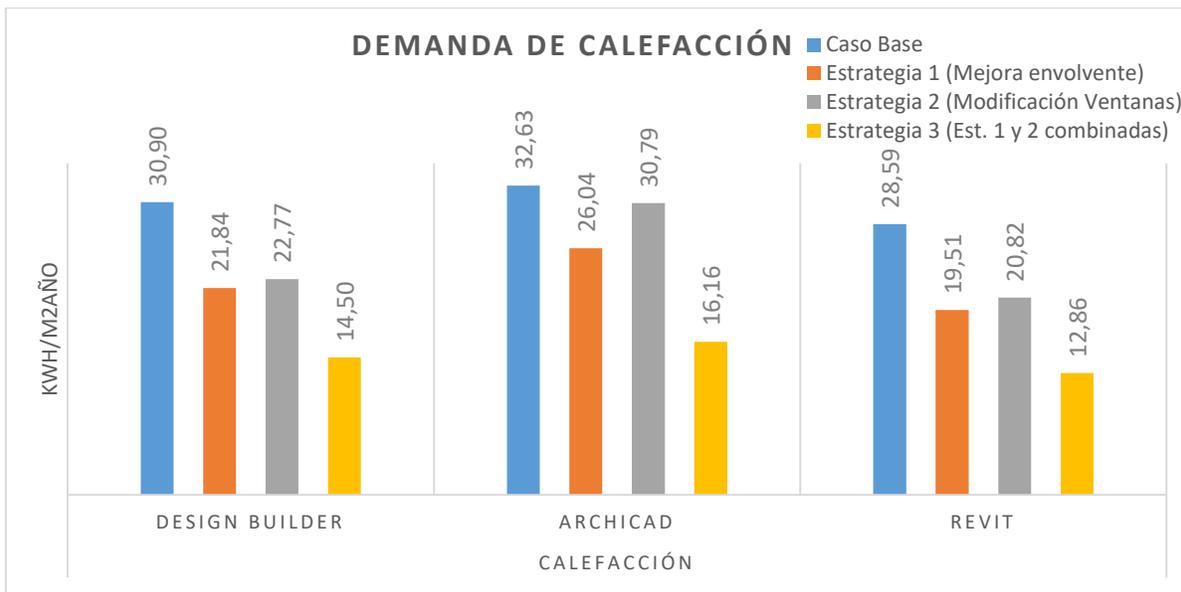


Figura 5 Síntesis demanda de calefacción

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a las variaciones presentadas a nivel de demandas de refrigeración, ninguna de las simulaciones realizadas supera los 5 kWh/m2a de diferencia definidos en hipótesis, pero esto se ve directamente influenciado por el tipo de clima en el que se emplazaron los casos de estudio, donde las demandas de refrigeración tienen a ser bajas para este tipo de edificación.

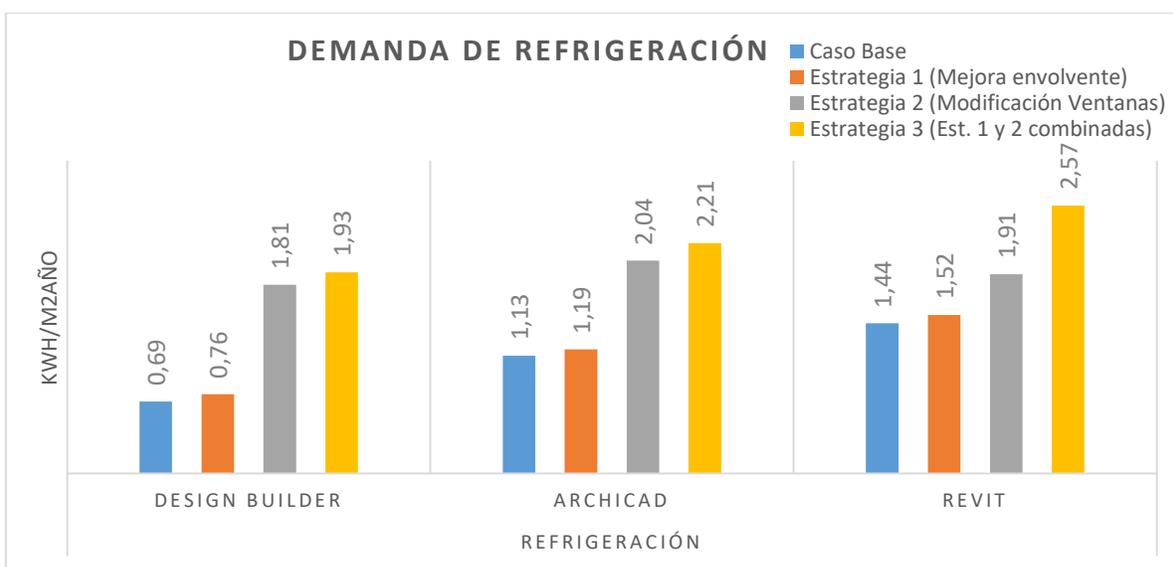


Figura 6 Síntesis demanda de Calefacción

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto a las cargas de calefacción y Refrigeración descritos en la Tabla 40, podemos apreciar hechos interesantes, que dicen relación con los días de mayor demanda de estas cargas, donde, en primer lugar, para la estrategia 3 y 4, tanto en la herramienta BPS como en Revit, las demandas de carga de refrigeración superan incluso a las de calefacción, hecho extraño considerando el clima de los casos de estudio, donde como se ha señalado anteriormente la demanda de refrigeración tiende a ser baja, por lo que se cree que esta carga de refrigeración debe ser necesaria para un periodo de tiempo muy acotado, considerando que las demanda de refrigeración anuales no difieren tanto de las del programa BPS, pero si efectivamente tienden a aumentar en estos dos casos.

El Segundo hecho que llama la atención, es que en la herramienta Archicad, los resultados de carga de refrigeración no varían según estrategia, lo que hace pensar que puede haber un error, en el dimensionamiento o en el cálculo de este mismo.

De esta forma se evidencia, que, tanto en los indicadores de demanda de calefacción como de refrigeración, los resultados obtenidos en general son aceptados, salvo la simulación ejecutada en Archicad para la estrategia 3, donde si supero el límite permitido, teniendo un desempeño que no resulta aceptable.

CAPITULO 7: Conclusiones

7.1 Capacidad de herramientas BIM para la evaluación energética.

Los resultados obtenidos de la cualificación del flujo de trabajo general de las herramientas BIM para poder realizar simulación Energética resultaron variados e interesantes.

Tal como se puede ver en la **Figura 7**, las capacidades medidas por medio de los criterios definidos en la rúbrica de evaluación, arrojaron desempeños variados para cada herramienta, por lo que no se puede concluir señalando que una herramienta resulta mejor que otra.

En cuanto a mejores desempeños, de la evaluación se puede concluir que, las actividades del flujo de trabajo en el que demostró mejor desempeño la herramienta Archicad, fue en las variables de (1) ocupación, (2) entorno, (3) Geometría y (4) HVAC, sin embargo este último, como se comentó anteriormente en cuanto a cargas de refrigeración resulto cuestionable sus resultados al ser estáticos para todos los casos analizados, es por esto que su principal fortaleza en contraste con Revit, es la posibilidad de poder dimensionar e ingresar gran variedad de datos de distinto nivel de dificultad.

En cuanto a las variables en las que destaca Revit, se evidencia que son, (1) Resultados (2) Iluminación y aporte solar y (3) geometría. Si se ve desde el punto de vista de la información que se puede obtener, Revit, con su informe de Energyplus, destaca de sobre manera, al dejarlo al mismo nivel de un informe entregado por una herramienta BPS, lo que genera muchas expectativas de cara al desarrollo futuro de la herramienta.

Otro punto interesante que definió esta investigación es el hecho de que indistintamente del programa BIM analizado, la capacidad que demostraron en la variable de definición de Geometría, es alta, lo que era hasta ahora su principal ventaja frente a un programa BPS.

Sin embargo, luego de esta investigación, se puede determinar que las brechas entre los módulos de evaluación integrados en herramientas BIM y las herramientas BPS, cada día se acortan más, por lo que es coherente pensar que, en un futuro, puedan equipararse como opción válida para un especialista, o incluso volverse más atractivas que las opciones especializadas tradicionales como lo son DesignBuilder, TAS o eQUEST.

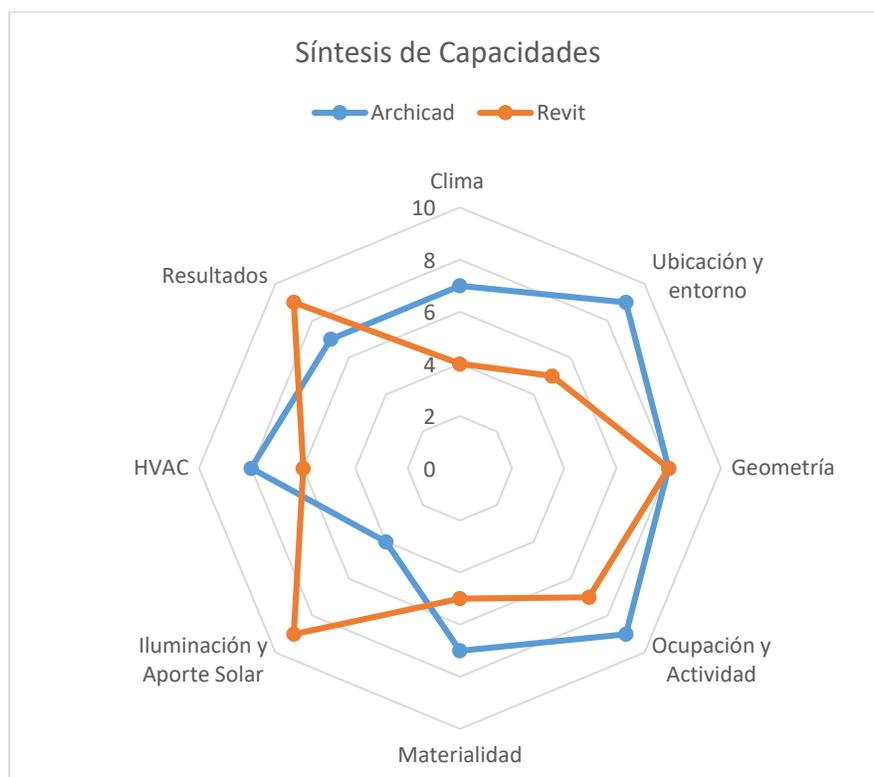


Figura 7 Síntesis resultados evaluación de capacidades BIM

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a la verificación de la hipótesis planteada, se determina que, si se cumplió el en términos generales, ya que la evaluación de capacidades mostro que solo dos evaluaciones concluyeron con un puntaje menor a 5 pts., el que era el límite, debido a que se definió con anterioridad que la herramienta BPS al ser un programa especializado obtenía la puntuación máxima en todos los aspectos evaluados (10 Pts.). Siendo la variable de Iluminación y Aporte solar en Archicad, y la variable de definición de Clima en Revit, las que no demostraron tener una capacidad mínima equivalente a la del programa BPS.

7.2 Calidad de resultados obtenidos

En cuanto a las simulaciones y resultados obtenidos, se puede concluir que en el caso de esta investigación en particular el mejor desempeño lo obtuvo la herramienta Revit, siendo destacada su nueva generación de reporte directo desde Energyplus a la interfaz de Revit, opción que, al ser muy reciente, no se había considerado aun en las investigaciones, desarrollando hasta ahora solo investigaciones con la utilización de Insight 360 y Green Building Studio.

En cuanto a la herramienta Archicad, el potencial evidenciado en la investigación en cuanto a resultados obtenidos, también resultó alta, considerando, el gran nivel de especificación que contiene la herramienta. Sin embargo, si revisamos los resultados obtenidos en esta investigación, se define que en cuanto a la implementación de una estrategia que combina redimensionamiento de Ventanas con mejora de envolvente opaca, las demandas observadas se distanciaron demasiado de los mismos valores obtenidos en la herramienta de referencia.

Respecto a los resultados obtenidos, y tal como se declaró anteriormente, la hipótesis si se cumpliría en la mayoría de los casos, siendo solo la estrategia 3, evaluada en la herramienta Archicad, la que estaría fuera de cumplimiento, al sobrepasar el límite en demanda de calefacción de 5 kWh/m²a definido con anterioridad.

7.3 Sugerencias para desarrollo de BIM

Teniendo en consideración lo observado en todo el flujo de trabajo ejecutado y analizado en esta investigación, las líneas de desarrollo que debiera enfocar cada herramienta BIM son las siguientes. En el caso de Revit, se debe aumentar el nivel de especificación permitido, permitiendo aumentar el nivel de detalle en la definición de variables en las que la herramienta solo permite elegir entre opciones predefinidas, ejemplo de esto la definición de HVAC, además mejorar la traducción de modelo BIM a modelo energético (BEM), permitiendo reducir anomalías en las superficies analíticas, como vacíos entre espacios o en aristas, y finalmente incluir gráficas de desempeño térmico, para de esta forma conocer directamente el impacto de estrategias de diseño pasivo en el confort interior.

En Archicad, al igual que en Revit se debe avanzar en la traducción de modelo BIM a BEM, sin embargo, en este caso, se debe revisar el procesamiento del motor de cálculo, en torno a la información que requiere obligatoriamente para procesar, porque al generar variaciones en valores, la herramienta envía mensajes de error en el motor de cálculo, lo que ralentiza el flujo de trabajo al tener que estar enviando a calcular cada ciertas modificaciones, solo para revisar si el cálculo se puede ejecutar o no, además se recomienda poder desarrollar un análisis de iluminación más amplio, que solo definir la radiación e iluminación que ingresa por cada ventana, como es actualmente, integrando indicadores como factor de luz día, autonomía lumínica, etc.

7.4 Investigaciones sugeridas

Considerando los resultados obtenidos, se considera pertinente y relevante el seguir investigando la aplicación de las herramientas BIM en el análisis energético, poniendo nuevos focos en un estudio que evalúe otras edificaciones más complejas, y que puedan ser contrastadas con mayor número de herramientas BPS y BIM, para obtener un mayor espectro de las capacidades que tiene cada herramienta en este ámbito.

8 Bibliografía

- ABANDA, F.H. y BYERS, L., 2016. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling). *Energy* [en línea], vol. 97, pp. 517-527. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2015.12.135. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.135>.
- ANSI/ASHRAE, 2004. ASHRAE STANDARD Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. , vol. 4723.
- ANSI/ASHRAE, 2010. ASHRAE STANDARD Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. , vol. 2007, pp. 209-211.
- ANSI/ASHRAE, 2017. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. . S.l.:
- ANTWI-AFARI, M.F., LI, H., PÄRN, E.A. y EDWARDS, D.J., 2018. Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review. *Automation in Construction*, vol. 91, no. November 2017, pp. 100-110. ISSN 09265805. DOI 10.1016/j.autcon.2018.03.010.
- ARBALLO, B., KUCHEN, E., SCIENTIFIC, N. y NARANJO, Y.A., 2016. Evaluación de modelos de confort térmico para interiores. , no. October.
- ASHRAE, 2001. *Standard 140-2001*,“. 2001. S.l.: s.n.
- ATTIA, S., BELTRAN, L., DE HERDE, A. y HENSEN, J., 2009. “Architect Friendly”: a Comparison of Ten Different Building Performance Simulation Tools. *Eleventh International IBPSA Conference* [en línea], pp. 204-211. Disponible en: <http://staging.ecobuild.co.uk/var/uploads/exhibitor/207/6wq29uz321.pdf>.
- AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK, 2018. Flujo de trabajo Energy Optimization for Revit. .
- BUSTAMANTE GÓMEZ, W., ROZAS UBILLA, Y., MARTINEZ, P., CEPEDA, R. y ENCINAS PINO, F., 2009. Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. *Energy Efficiency*, no. August. DOI 10.13140/2.1.2184.3847.
- CEMESOVA, A., HOPFE, C.J. y MCLEOD, R.S., 2015. PassivBIM: Enhancing interoperability between BIM and low energy design software. *Automation in Construction*, vol. 57, no. May 2016, pp. 17-32. ISSN 09265805. DOI 10.1016/j.autcon.2015.04.014.
- CHARRON, R., 2019. *PHPP V9 . 6 Validation using ANSI / ASHRAE Standard 140-2017* [en línea]. 2019. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.nypassivehouse.org/wp-content/uploads/2019/06/PHPP-ASHRAE-140-Validation-Report-Jan-23-2019.pdf>.
- CORPORACION DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, 2010. Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de la Conservación de la Energía en el Sector Residencial. , pp. 404.
- CRAWLEY, D.B., HAND, J.W., KUMMERT, M. y GRIFFITH, B.T., 2008. Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, vol. 43, no. 4, pp. 661-673. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2006.10.027.
- DECON UC; CITEC UBB, 2016. TDRe: Términos de referencia estandarizados con parámetros de eficiencia energética y confort ambiental, para licitaciones de diseño y obra de la dirección de arquitectura, según zonas geográficas del país según tipología de edificios. . S.l.:

- DITEC, 2014. *CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS* [en línea]. 2014. S.l.: s.n. Disponible en: <http://calificacionenergetica.minvu.cl/media/CEV-2014.pdf>.
- DOE, 2017. Building Energy Modeling 101: What Is It and What Is DOE's Role? | Department of Energy. .
- EASTMAN, CHUCK; TEICHOLZ, PAUL; SACKS, R.L.K., 2008. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. S.l.: s.n. ISBN 9780470185285.
- EL ASMI, E., ROBERT, S., HAAS, B. y ZREIK, K., 2015. A standardized approach to BIM and energy simulation connection. *International Journal of Design Sciences and Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 59-82. ISSN 16307267.
- ELEFThERIADIS, S., MUMOVIC, D. y GREENING, P., 2017. Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 67, pp. 811-825. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2016.09.028.
- ELIASH, A.B., 2015. Entendiendo el uso de BIM en los procesos de diseño y coordinación de especialidades en Chile. , pp. 111.
- ENCINAS, F. y DE HERDE, A., 2009. Comportamiento Térmico De Edificios De Departamentos En Santiago De Chile : Segmentación De Nichos En El Mercado Inmobiliario Privado a Partir De Las Exigencias De La Reglamentación Térmica Nacional. *International Conference Virtual City and Territory. «5th International Conference Virtual City and Territory, Barcelona, 2,3 and 4 June 2009»*, no. January 2009, pp. 441-456.
- ENGINEERING, G., 2017. Datum archiviranj: 06-02-2017. ,
- ESCORCIA OYOLA, O., GARCÍA ALVARADO, R., TREBILCOCK KELLY, M., CELIS, F., ECHEVERRÍA, E. y SÁNCHEZ, R., 2013. Validación del reacondicionamiento térmico de viviendas para la reconstrucción postterremoto 2010. Dichato, Chile. *Revista de la Construcción*, vol. 12, no. 2, pp. 54-71. ISSN 07177925.
- EUBIM TASKGROUP, 2017. Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo. *Unión Europea* [en línea], pp. 85. Disponible en: http://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/02/manual_esp.pdf.
- GARCÍA-ALVARADO, R., GONZÁLEZ, A., BUSTAMANTE, W., BOBADILLA, A. y MUÑOZ, C., 2014. Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. *Informes de la Construcción*, vol. 65, no. 533. ISSN 19883234. DOI 10.3989/ic.12.108.
- GATICA-LARA, F., JESÚS, N., HO, Q., GH, O. y REMHWLYRV, O.R. V, 2013. ¿Cómo elaborar una rúbrica? , vol. 2, no. 1, pp. 61-65. DOI 10.1016/S2007-5057(13)72684-X.
- GERRISH, T., RUIKAR, K., COOK, M., JOHNSON, M., PHILLIP, M. y LOWRY, C., 2017. BIM application to building energy performance visualisation and management Challenges and potential. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 144, pp. 218-228. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2017.03.032. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.032>.
- GRAPHISOFT, 2015. EcoDesigner Star. [en línea], Disponible en:

http://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner_star/.

HABIBI, S., 2017. The promise of BIM for improving building performance. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 153, pp. 525-548. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2017.08.009. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.009>.

IBPSA-USA, 2018a. Autodesk Insight | Best Directory. .

IBPSA-USA, 2018b. EcoDesigner Star - ArchiCAD - Graphisoft _ Best Directory. .

INE, 2018. Estadísticas de edificación 2017. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.ine.cl/docs/default-source/publicaciones/2018/portadaedificaci2018.pdf?sfvrsn=12>.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN, 2014. *Certificación Edificio Sustentable. Manual Evaluación y Calificación 1* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789568070113. Disponible en: http://www.certificacionsustentable.cl/documentos_sitio/27310_Manual1_Evaluacion&Calificacion_v1.1_2014.05.28.pdf.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION, 2006. Manual de aplicación Reglamentacion Termica. . S.l.:

JUDKOFF, R.N., 2006. Model Validation and Testing: The Methodological Foundation of ASHRAE Standard 140. *ASHRAE Transactions*. S.l.: s.n., pp. 367-376.

KAMEL, E. y MEMARI, A.M., 2019. Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction* [en línea], vol. 97, no. June 2017, pp. 164-180. ISSN 09265805. DOI 10.1016/j.autcon.2018.11.008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>.

LAZO, C.B. y OGUETA, C.S., 2017. La enseñanza de BIM en Chile, el desafío de un cambio de enfoque centrado en la metodología por sobre la tecnología. , pp. 431-438. DOI 10.5151/sigradi2017-068.

LIU, S., MENG, X. y TAM, C., 2015. Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 105, pp. 139-153. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2015.06.037. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.037>.

LOBOS, D., WANDERSLEBEN, G. y CASTILLO, L.S., 2014. Mapeo de Interoperabilidad entre BIM y BPS Software (Simulación Energética) para Chile. , vol. 1, pp. 378-382. DOI 10.5151/desprosigradi2013-0072.

LOYOLA, M., 2014. La difusión y masificación de BIM en la industria: el caso Chileno. [en línea], pp. 40-46. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/284159764>.

LOYOLA, M., 2019. Encuesta Nacional BIM 2019: Informe de Resultados. [en línea], pp. 1-13. Disponible en: <https://bim.uchilefau.cl/wp-content/uploads/2019/08/Encuesta-Nacional-BIM-2019-Informe-de-Resultados.pdf>.

MANZANO-AGUGLIARO, F., MONTOYA, F.G., SABIO-ORTEGA, A. y GARCÍA-CRUZ, A., 2015. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 736-755. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2015.04.095.

- MINVU, 2012. Calificación energética de viviendas. [en línea]. S.l.: Disponible en: <https://www.calificacionenergetica.cl/media/Calificaion-Energetica-de-Viviendas.pdf>.
- MINVU, 2018. *Manual de procedimientos calificacion energetica de viviendas en chile*. S.l.: s.n. ISBN 9789569432460.
- PEZESHKI, Z., SOLEIMANI, A. y DARABI, A., 2019. Application of BEM and using BIM database for BEM: A review. *Journal of Building Engineering*, vol. 23, no. August 2018, pp. 1-17. ISSN 23527102. DOI 10.1016/j.job.2019.01.021.
- REGNIER, C., 2012. Guide to Setting Thermal Comfort Criteria and Minimizing Energy Use in Delivering Thermal Comfort. *Energy Efficiency and Renewable Energy, Building Technologies Program*, no. August, pp. 17. DOI LBNL-6131E.
- RICA, C. y HERNÁNDEZ-RIVERA, P., 2012. ¿ Por qué es importante establecer una rúbrica de evaluación ? El caso del curso Clínica de Exodoncia y Cirugía Why is important to establish an evaluation rubric ? The case of the curse Clinic of Exodontia and Surgery. ,
- SANTIAGO, P., 2017. BIM to BEM as Teaching Methodology to Support Sustainable Construction Decisions. *Periodica Polytechnica Architecture*, vol. 47, no. 2, pp. 94-98. ISSN 0324590X. DOI 10.3311/ppar.10190.
- SOTO, C., MANRÍQUEZ, S. y GODOY, P., 2019. *Estandar BIM para proyectos Públicos* [en línea]. 2019. Chile: s.n. Disponible en: <https://planbim.cl/estandar-bim-para-proyectos-publicos2/>.

9 Anexos

10 Resumen informes de resultados

A continuación, se anexan extractos de los informes de resultados obtenidos en cada simulación y herramienta utilizada.

10.1 Caso Base Design Builder

8/5/2020 Building CASO BASE (O1-O1:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#856820 2020-04-27 01:29:44 - EnergyPlus

Program Version: EnergyPlus, Version 8.9.0-40101ea6f, YMD=2020.04.27 01:29

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: CASO BASE (O1-O1:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#856820

Simulation Timestamp: 2020-04-27 01:29:44

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2020-04-27 01:29:44

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	7810.20	104.22	104.22
Net Site Energy	7810.20	104.22	104.22
Total Source Energy	25658.81	342.40	342.40
Net Source Energy	25658.81	342.40	342.40

Site to Source Energy Conversion Factors

Site->Source Conversion Factor	
Electricity	3.187
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil #1	1.050
Fuel Oil #2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	74.94
Net Conditioned Building Area	74.94
Unconditioned Building Area	0.00

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	2315.24	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	51.84	0.00	0.00
Interior Lighting	2489.07	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	2354.06	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	0.00	0.00
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	5443.12	0.00	0.00	51.84	2315.24	0.00

Note: District Heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m3]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	2315.24	0.00
Cooling	General	0.00	0.00	0.00	51.84	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#1681#General.Lights	139.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1688#General.Lights	90.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1689#General.Lights	1124.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2042#General.Lights	241.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2054#General.Lights	216.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2051#General.Lights	370.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2069#General.Lights	194.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2076#General.Lights	111.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	ELECTRIC EQUIPMENT#1681#02	185.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1688#02	109.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1689#02	1333.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2042#02	266.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2054#02	256.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2051#02	439.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2069#02	231.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2076#02	132.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Additional Fuel Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
--------------------------------	--------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------

8/5/2020

Building CASO BASE (01-01:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#=856820 2020-04-27 01:29:44 - EnergyPlus

	Lighting	HVAC	Other	Total
	33.21	0.00	39.42	72.63
	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.00	0.69	0.00	0.69
	0.00	30.90	0.00	30.90
	0.00	0.00	0.00	0.00

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Additional Fuel Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	33.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.69	30.90	0.00
Other	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	72.63	0.00	0.00	0.69	30.90	0.00

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	5443.122	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	5443.122	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	5443.122	100.00
Total Electricity End Uses	5443.122	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Cooling	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Heating	0.00	
High-Temperature Geothermal*	0.00	
Solar Water Thermal	0.00	
Solar Air Thermal	0.00	
Total On-Site Thermal Sources	0.00	

Water Source Summary

	Water [m3]	Percent Water [%]
Rainwater Collection	0.00	-
Condensate Collection	0.00	-
Groundwater Well	0.00	-
Total On Site Water Sources	0.00	-
-	-	-
Initial Storage	0.00	-
Final Storage	0.00	-
Change in Storage	0.00	-
-	-	-
Water Supplied by Utility	0.00	-
-	-	-
Total On Site, Change in Storage, and Utility Water Sources	0.00	-
Total Water End Uses	0.00	-

Setpoint Not Met Criteria

	Degrees [deltaC]
Tolerance for Zone Heating Setpoint Not Met Time	1.11
Tolerance for Zone Cooling Setpoint Not Met Time	1.11

Comfort and Setpoint Not Met Summary

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	0.00
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	2.00
Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004	4499.50

Note 1: An asterisk (*) indicates that the feature is not yet implemented.

Table of Contents

- [Top](#)
- [Annual Building Utility Performance Summary](#)
- [Input Verification and Results Summary](#)
- [Detailed End Use Consumption Summary](#)
- [Component Sizing Summary](#)
- [Adaptive Comfort Summary](#)
- [Climate Data Summary](#)
- [Envelope Summary](#)
- [Location Summary](#)
- [Equipment Summary](#)
- [HVAC Sizing Summary](#)
- [System Summary](#)
- [Outdoor Air Summary](#)
- [Direct Control Summary](#)
- [Service Heat Cals Summary](#)
- [Standard 62.1 Summary](#)

ZoneCoolingSummaryMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

ZoneHeatingSummaryMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

SpaceGainsMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

PeakSpaceGainsMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

SpaceGainComponentsAtCoolingPeakMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

EnergyConsumptionElectricityNaturalGasMonthly

| 1688 |

EnergyConsumptionDistrictHeatingCoolingMonthly

| 1688 |

10.2 Estrategia 1 Modificación Envoltente

8/5/2020 Building CASO BASE (O1-O1:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#=856820 2020-04-21 18:13:26 - EnergyPlus

Program Version: EnergyPlus, Version 8.9.0-40101eaaf6, YMD=2020.04.21 18:13

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: CASO BASE (O1-O1:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#=856820

Simulation Timestamp: 2020-04-21 18:13:26

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2020-04-21 18:13:26

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	7136.67	95.23	95.23
Net Site Energy	7136.67	95.23	95.23
Total Source Energy	23212.03	309.75	309.75
Net Source Energy	23212.03	309.75	309.75

Site to Source Energy Conversion Factors

Site->Source Conversion Factor	
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil #1	1.050
Fuel Oil #2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m ²]
Total Building Area	74.94
Net Conditioned Building Area	74.94
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m ³]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	1636.58	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	56.96	0.00	0.00
Interior Lighting	2489.07	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	2954.06	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	0.00	0.00
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	5443.12	0.00	0.00	56.96	1636.58	0.00

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m ³]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	1636.58	0.00
Cooling	General	0.00	0.00	0.00	56.96	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#1581#General.lights	139.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1588#General.lights	90.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1595#General.lights	1124.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2042#General.lights	241.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2054#General.lights	216.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2061#General.lights	370.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2069#General.lights	194.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2076#General.lights	111.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	ELECTRIC EQUIPMENT#1681#02	165.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1688#02	107.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1695#02	1333.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2092#02	286.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2094#02	256.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2061#02	439.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2069#02	231.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2076#02	132.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

Electricity Intensity [kWh/m ²]	Natural Gas Intensity [kWh/m ²]	Additional Fuel Intensity [kWh/m ²]	District Cooling Intensity [kWh/m ²]	District Heating Intensity [kWh/m ²]	Water Intensity [m ³ /m ²]
---	---	---	--	--	---

8/5/2020 Building CASO BASE (01-01:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#=856820 2020-04-21 18:13:26 - EnergyPlus

Lighting	33.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.76	21.84	0.00
Other	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	72.63	0.00	0.00	0.76	21.84	0.00

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Additional Fuel Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	33.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	0.76	21.84	0.00
Other	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	72.63	0.00	0.00	0.76	21.84	0.00

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High-Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	5443.122	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	5443.122	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	5443.122	100.00
Total Electricity End Uses	5443.122	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Cooling	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Heating	0.00	
High-Temperature Geothermal*	0.00	
Solar Water Thermal	0.00	
Solar Air Thermal	0.00	
Total On-Site Thermal Sources	0.00	

Water Source Summary

	Water [m3]	Percent Water [%]
Rainwater Collection	0.00	-
Condensate Collection	0.00	-
Groundwater Well	0.00	-
Total On Site Water Sources	0.00	-
-	-	-
Initial Storage	0.00	-
Final Storage	0.00	-
Change in Storage	0.00	-
-	-	-
Water Supplied by Utility	0.00	-
-	-	-
Total On Site, Change in Storage, and Utility Water Sources	0.00	-
Total Water End Uses	0.00	-

Setpoint Not Met Criteria

	Degrees [deltaC]
Tolerance for Zone Heating Setpoint Not Met Time	1.11
Tolerance for Zone Cooling Setpoint Not Met Time	1.11

Comfort and Setpoint Not Met Summary

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	0.00
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	4.50
Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004	4253.00

Note 1: An asterisk (*) indicates that the feature is not yet implemented.

Table of Contents

- [Top](#)
- [Annual Building Utility Performance Summary](#)
- [Input Verification and Results Summary](#)
- [Detailed End Use Consumption Summary](#)
- [Component Sizing Summary](#)
- [Adaptive Comfort Summary](#)
- [Climate Data Summary](#)
- [Envelope Summary](#)
- [Location Summary](#)
- [Equipment Summary](#)
- [HVAC Sizing Summary](#)
- [System Summary](#)
- [Outdoor Air Summary](#)
- [Direct Control Summary](#)
- [Sensible Heat Gain Summary](#)
- [Standard 62.1 Summary](#)

ZoneCoolingSummaryMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

ZoneHeatingSummaryMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

SpaceGainsMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

PeakSpaceGainsMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

SpaceGainComponentsAtCoolingPeakMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

EnergyConsumptionElectricityNaturalGasMonthly

| 1688 |

EnergyConsumptionDistrictHeatingCoolingMonthly

| 1688 |

10.3 Estrategia 2, modificación ventanas Design Builder

8/5/2020 Building CASO BASE (O1-O1:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#=856820 2020-04-27 23:01:55 - EnergyPlus

Program Version: EnergyPlus, Version 8.9.0-40101eaaf6, YMD=2020.04.27 23:01

[Table of Contents](#)

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: Building

Environment: CASO BASE (O1-O1:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#=856820

Simulation Timestamp: 2020-04-27 23:01:55

Report: Annual Building Utility Performance Summary

[Table of Contents](#)

For: Entire Facility

Timestamp: 2020-04-27 23:01:55

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [kWh]	Energy Per Total Building Area [kWh/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [kWh/m ²]
Total Site Energy	7285.63	97.22	97.22
Net Site Energy	7285.63	97.22	97.22
Total Source Energy	23540.36	314.24	314.24
Net Source Energy	23540.36	314.24	314.24

Site to Source Energy Conversion Factors

Site->Source Conversion Factor	
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating	3.613
Steam	0.250
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil #1	1.050
Fuel Oil #2	1.050
Propane	1.050
Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m ²]
Total Building Area	74.94
Net Conditioned Building Area	74.94
Unconditioned Building Area	0.00

End Uses

	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m ³]
Heating	0.00	0.00	0.00	0.00	1706.60	0.00
Cooling	0.00	0.00	0.00	135.91	0.00	0.00
Interior Lighting	2489.07	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	2954.06	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	0.00	0.00
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	5443.12	0.00	0.00	135.91	1706.60	0.00

Note: District heat appears to be the principal heating source based on energy usage.

End Uses By Subcategory

	Subcategory	Electricity [kWh]	Natural Gas [kWh]	Additional Fuel [kWh]	District Cooling [kWh]	District Heating [kWh]	Water [m ³]
Heating	General	0.00	0.00	0.00	0.00	1706.60	0.00
Cooling	General	0.00	0.00	0.00	135.91	0.00	0.00
Interior Lighting	ELECTRIC EQUIPMENT#1681#General.lights	139.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1688#General.lights	90.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1955#General.lights	1124.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2042#General.lights	241.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2054#General.lights	216.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2061#General.lights	370.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2069#General.lights	194.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2076#General.lights	111.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	ELECTRIC EQUIPMENT#1681#02	165.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1688#02	107.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#1695#02	1333.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2042#02	286.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2054#02	256.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2061#02	439.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2069#02	231.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ELECTRIC EQUIPMENT#2076#02	132.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	General	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Normalized Metrics

Utility Use Per Conditioned Floor Area

Electricity Intensity [kWh/m ²]	Natural Gas Intensity [kWh/m ²]	Additional Fuel Intensity [kWh/m ²]	District Cooling Intensity [kWh/m ²]	District Heating Intensity [kWh/m ²]	Water Intensity [m ³ /m ²]
---	---	---	--	--	---

8/5/2020 Building CASO BASE (01-01:31-12) ** CONCEPCION - CHL IWEC Data WMO#=856820 2020-04-27 23:01:55 - EnergyPlus

Lighting	33.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	1.81	22.77	0.00
Other	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	72.63	0.00	0.00	1.81	22.77	0.00

Utility Use Per Total Floor Area

	Electricity Intensity [kWh/m2]	Natural Gas Intensity [kWh/m2]	Additional Fuel Intensity [kWh/m2]	District Cooling Intensity [kWh/m2]	District Heating Intensity [kWh/m2]	Water Intensity [m3/m2]
Lighting	33.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HVAC	0.00	0.00	0.00	1.81	22.77	0.00
Other	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	72.63	0.00	0.00	1.81	22.77	0.00

Electric Loads Satisfied

	Electricity [kWh]	Percent Electricity [%]
Fuel-Fired Power Generation	0.000	0.00
High Temperature Geothermal*	0.000	0.00
Photovoltaic Power	0.000	0.00
Wind Power	0.000	0.00
Power Conversion	0.000	0.00
Net Decrease in On-Site Storage	0.000	0.00
Total On-Site Electric Sources	0.000	0.00
Electricity Coming From Utility	5443.122	100.00
Surplus Electricity Going To Utility	0.000	0.00
Net Electricity From Utility	5443.122	100.00
Total On-Site and Utility Electric Sources	5443.122	100.00
Total Electricity End Uses	5443.122	100.00

On-Site Thermal Sources

	Heat [kWh]	Percent Heat [%]
Water-Side Heat Recovery	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Cooling	0.00	
Air to Air Heat Recovery for Heating	0.00	
High-Temperature Geothermal*	0.00	
Solar Water Thermal	0.00	
Solar Air Thermal	0.00	
Total On-Site Thermal Sources	0.00	

Water Source Summary

	Water [m3]	Percent Water [%]
Rainwater Collection	0.00	-
Condensate Collection	0.00	-
Groundwater Well	0.00	-
Total On Site Water Sources	0.00	-
-	-	-
Initial Storage	0.00	-
Final Storage	0.00	-
Change in Storage	0.00	-
-	-	-
Water Supplied by Utility	0.00	-
-	-	-
Total On Site, Change in Storage, and Utility Water Sources	0.00	-
Total Water End Uses	0.00	-

Setpoint Not Met Criteria

	Degrees [deltaC]
Tolerance for Zone Heating Setpoint Not Met Time	1.11
Tolerance for Zone Cooling Setpoint Not Met Time	1.11

Comfort and Setpoint Not Met Summary

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	0.00
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	15.00
Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004	4205.50

Note 1: An asterisk (*) indicates that the feature is not yet implemented.

Table of Contents

- [Top](#)
- [Annual Building Utility Performance Summary](#)
- [Input Verification and Results Summary](#)
- [Detailed End Use Consumption Summary](#)
- [Component Sizing Summary](#)
- [Adaptive Comfort Summary](#)
- [Climate Data Summary](#)
- [Envelope Summary](#)
- [Lighting Summary](#)
- [Equipment Summary](#)
- [HVAC Sizing Summary](#)
- [System Summary](#)
- [Outdoor Air Summary](#)
- [Direct Control Summary](#)
- [Sensible Heat Gain Summary](#)
- [Standard 62.1 Summary](#)

ZoneCoolingSummaryMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

ZoneHeatingSummaryMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

SpaceGainsMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

PeakSpaceGainsMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

SpaceGainComponentsAtCoolingPeakMonthly

| 1688 | 1688 | 1695 | 2042 | 2054 | 2061 | 2069 | 2076 |

EnergyConsumptionElectricityNaturalGasMonthly

| 1688 |

EnergyConsumptionDistrictHeatingCoolingMonthly

| 1688 |

10.4 Caso Base Archicad

Versión de Software: ARCHICAD-64 22.0.0 SPA FULL (4.6.17)

Fecha de Evaluación: 07-05-2020 16:50:40

DATOS DE PROYECTO

Nombre Proyecto: 0 Caso Base

Ubicación del Proyecto:

Latitud: 36° 49' 42" S

Altitud: 16 m

Longitud: 73° 3' 5" O

Presión Exterior: 1011.235 hPa

DATOS CLIMÁTICOS

Origen de datos climáticos: Archivo IWECC

Ubicación: CONCEPCION, 36° 46' 12" S, 73° 3' 0" O

Año: ---

Nombre del archivo: CHL_Concepcion.856820_IWECC.epw

VALORES CLAVE

Área bruta de la planta 80.20 m²

Área del Pavimento Tratado: 69.55 m²

Área del Envoltente Exterior: 234.62 m²

Volumen Ventilado: 196.33 m³

Proporción de Acristalamiento: 4.12 %

Fugas de Aire: 14.46 1/hora

Capacidad de Calor Exterior: 98.99 J/m²K

VALORES-U

Promedio Edificio Entero: 1.41 W/m²K

Pavimentos: - W/m²K

Externo: 0.37 - 2.37 W/m²K

Subterráneo: - W/m²K

Aberturas: 2.11 - 5.50 W/m²K

CARGAS DEL DISEÑO

Calefacción: 32.63 kWh/m²a

Refrigeración: 1.13 kWh/m²a

Horas de Calefacción Insatisfechas: 4013.00 h

Horas de Refrigeración Insatisfechas: 1165.00 h

Grados Día de Calefacción 1729

Grados Día de Refrigeración 1986

MENSAJES DE AVISO

Alerta: Nada

Aviso del Edificio de Referencia: Nada

DEMANDA ESPECÍFICA ANUAL

Energía Calorífica Neta: 32.63 kWh/m²a

Energía Refrigerante Neta: 1.13 kWh/m²a

Energía Neta Total: 33.76 kWh/m²a

Consumo de Energía: 118.63 kWh/m²a

Consumo de Combustible: 89.96 kWh/m²a

Energía Primaria: 309.55 kWh/m²a

Coste Combustible: 0.00 EUR/m²a

Emisión CO₂: 0.00 kg/m²a

10.5 Estrategia 1, mejora envolvente opaca, Archicad

Versión de Software:	ARCHICAD-64 21.0.0 3011 SPA FULL (4.6.17)		
Fecha de Evaluación:	07-05-2020 16:57:58		
DATOS DE PROYECTO			
Nombre Proyecto:	01 EST. MEJORA ENVOLVENTE		
Ubicación del Proyecto:			
Latitud:	36° 49' 42" S	Altitud:	16 m
Longitud:	73° 3' 5" O	Presión Exterior:	1011.235 hPa
DATOS CLIMÁTICOS			
Origen de datos climáticos:	Archivo IWEC		
Ubicación:	CONCEPCION, 36° 46' 12" S, 73° 3' 0" O		
Año:	---		
Nombre del archivo:	CHL_Concepcion.856820_IWEC.epw		
VALORES CLAVE			
Área bruta de la planta	85.85 m ²		
Área del Pavimento Tratado:	74.18 m ²		
Área del Envolvente Exterior:	232.99 m ²		
Volumen Ventilado:	194.43 m ³		
Proporción de Acristalamiento:	4.15 %		
Fugas de Aire:	14.36 1/hora		
Capacidad de Calor Exterior:	83.25 J/m ² K		
VALORES-U			
Promedio Edificio Entero:	1.19	W/m ² K	
Pavimentos:	-	W/m ² K	
Externo:	0.32 - 2.36	W/m ² K	
Subterráneo:	-	W/m ² K	
Aberturas:	2.11 - 5.50	W/m ² K	
CARGAS DEL DISEÑO			
Calefacción:	26.04 kWh/m ² a		
Refrigeración:	1.19 kWh/m ² a		
Horas de Calefacción Insatisfechas:	3405.00 h		
Horas de Refrigeración Insatisfechas:	2183.00 h		
Grados Día de Calefacción	1729		
Grados Día de Refrigeración	1986		
MENSAJES DE AVISO			
Alerta:	Nada		
Aviso del Edificio de Referencia:	Nada		
DEMANDA ESPECÍFICA ANUAL			
Energía Calorífica Neta:	26.04 kWh/m ² a		
Energía Refrigerante Neta:	1.19 kWh/m ² a		
Energía Neta Total:	27.23 kWh/m ² a		
Consumo de Energía:	114.38 kWh/m ² a		
Consumo de Combustible:	90.96 kWh/m ² a		
Energía Primaria:	309.22 kWh/m ² a		
Coste Combustible:	0.00 EUR/m ² a		
Emisión CO ₂ :	0.00 kg/m ² a		

10.6 Estrategia 2, modificación ventanas, Archicad

Versión de Software: ARCHICAD-64.22.0.0.3011 SPA FULL (4.6.17)
 Fecha de Evaluación: 07-05-2020 16:40:26

DATOS DE PROYECTO

Nombre Proyecto: 2 Est. Mejora de Ventanas
 Ubicación del Proyecto:
 Latitud: 36° 49' 42" S Altitud: 16 m
 Longitud: 73° 3' 5" O Presión Exterior: 1011.235 hPa

DATOS CLIMÁTICOS

Origen de datos climáticos: Archivo IWEC
 Ubicación: CONCEPCION, 36° 46' 12" S, 73° 3' 0" O
 Año: ---
 Nombre del archivo: CHL_Concepcion.856820_IWEC.epw

VALORES CLAVE

Área bruta de la planta 85.52 m²
 Área del Pavimento Tratado: 74.48 m²
 Área del Envolvente Exterior: 231.95 m²
 Volumen Ventilado: 196.33 m³
 Proporción de Acristalamiento: 6.86 %
 Fugas de Aire: 12.95 1/hora
 Capacidad de Calor Exterior: 87.26 J/m²K

VALORES-U

Promedio Edificio Entero: 1.32 W/m²K
 Pavimentos: - W/m²K
 Externo: 0.32 - 2.36 W/m²K
 Subterráneo: - W/m²K
 Aberturas: 2.11 - 3.04 W/m²K

CARGAS DEL DISEÑO

Calefacción: 30.79 kWh/m²a
 Refrigeración: 2.04 kWh/m²a
 Horas de Calefacción Insatisfechas: 3277.00 h
 Horas de Refrigeración Insatisfechas: 2526.00 h
 Grados Día de Calefacción 1729
 Grados Día de Refrigeración 1986

MENSAJES DE AVISO

Alerta: Nada

Aviso del Edificio de Referencia: Nada

DEMANDA ESPECÍFICA ANUAL

Energía Calorífica Neta: 30.79 kWh/m²a
 Energía Refrigerante Neta: 2.04 kWh/m²a
 Energía Neta Total: 32.83 kWh/m²a
 Consumo de Energía: 131.63 kWh/m²a
 Consumo de Combustible: 98.56 kWh/m²a
 Energía Primaria: 351.85 kWh/m²a
 Coste Combustible: 0.00 EUR/m²a
 Emisión CO₂: 0.00 kg/m²a

10.7 Estrategia 3, Estrategias Combinadas

Versión de Software: ARCHICAD-64.22.0.0.3011 SPA FULL (4.6.17)
 Fecha de Evaluación: 07-05-2020 17:37:27

DATOS DE PROYECTO

Nombre Proyecto: Prueba 1 Concepción
 Ubicación del Proyecto:
 Latitud: 36° 49' 42" S Altitud: 16 m
 Longitud: 73° 3' 5" O Presión Exterior: 1011.235 hPa

DATOS CLIMÁTICOS

Origen de datos climáticos: Archivo IWEC
 Ubicación: CONCEPCION, 36° 46' 12" S, 73° 3' 0" O
 Año: ---
 Nombre del archivo: CHL_Concepcion.856820_IWEC.epw

VALORES CLAVE

Área bruta de la planta 86.28 m²
 Área del Pavimento Tratado: 74.18 m²
 Área del Envolverte Exterior: 229.70 m²
 Volumen Ventilado: 187.09 m³
 Proporción de Acristalamiento: 6.93 %
 Fugas de Aire: 14.20 l/hora
 Capacidad de Calor Exterior: 58.64 J/m²K

VALORES-U

Promedio Edificio Entero: 1.12 W/m²K
 Pavimentos: - W/m²K
 Externo: 0.32 - 2.36 W/m²K
 Subterráneo: - W/m²K
 Aberturas: 2.11 - 3.04 W/m²K

CARGAS DEL DISEÑO

Calefacción: 16.16 kWh/m²a
 Refrigeración: 2.21 kWh/m²a
 Horas de Calefacción Insatisfechas: 3396.00 h
 Horas de Refrigeración Insatisfechas: 3156.00 h
 Grados Día de Calefacción: 1729
 Grados Día de Refrigeración: 1986

MENSAJES DE AVISO

Alerta: Nada

Aviso del Edificio de Referencia: Nada

DEMANDA ESPECÍFICA ANUAL

Energía Calorífica Neta: 16.16 kWh/m²a
 Energía Refrigerante Neta: 2.21 kWh/m²a
 Energía Neta Total: 18.37 kWh/m²a
 Consumo de Energía: 116.89 kWh/m²a
 Consumo de Combustible: 92.11 kWh/m²a
 Energía Primaria: 324.09 kWh/m²a
 Coste Combustible: 0.00 EUR/m²a
 Emisión CO₂: 0.00 kg/m²a

10.8 Caso Base Revit

Annual Overview

End Use - view table

End Use	Consumption (kWh)
Heating	2,122
Cooling	106
Interior Lighting	2,333
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	2,239
Exterior Equipment	0
Fans	0
Pumps	0
Heat Rejection	0
Humidification	0
Heat Recovery	0
Water Systems	0
Refrigeration	0
Generators	0

10.9 Estrategia 1, mejora de envolvente opaca.

Annual Overview

End Use - view table

End Use	Consumption (kWh)
Heating	1,397
Cooling	109
Interior Lighting	2,247
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	2,158
Exterior Equipment	0
Fans	0
Pumps	0
Heat Rejection	0
Humidification	0
Heat Recovery	0
Water Systems	0
Refrigeration	0
Generators	0

10.10 Estrategia 2, modificación ventanas

Annual Overview

End Use - view table

End Use	Consumption (kWh)
Heating	1,547
Cooling	142
Interior Lighting	2,333
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	2,239
Exterior Equipment	0
Fans	0
Pumps	0
Heat Rejection	0
Humidification	0
Heat Recovery	0
Water Systems	0
Refrigeration	0
Generators	0

10.11 Estrategia 3, estrategias Combinadas

Annual Overview

End Use - view table

End Use	Consumption (kWh)
Heating	924
Cooling	185
Interior Lighting	2,258
Exterior Lighting	0
Interior Equipment	2,167
Exterior Equipment	0
Fans	0
Pumps	0
Heat Rejection	0
Humidification	0
Heat Recovery	0
Water Systems	0
Refrigeration	0
Generators	0

11 Revisión estadística materialidad viviendas CENSO 2017

Base de datos

Censo 2017

Área Geográfica

BIOBÍO

Crosstab

de Material de construcción del piso

por Tipo de Vivienda

Material de construcción del piso	Tipo de Vivienda			
	Casa	Departamento en edificio	Otros	Total
Parquet, piso flotante, cerámico, madera, alfombra, flexit, cubrepiso u otro similar, sobre radier o vigas de madera	340 107	51 947	6 395	398 449
Radier sin revestimiento	7 199	-	400	7 599
Baldosa de cemento	24 677	-	289	24 966
Capa de cemento sobre tierra	5 613	-	304	5 917
Tierra	114	-	99	213
Total	377 710	51 947	7 487	437 144

No Aplica : 55 014

Ignorado : 2 658

Base de datos

Censo 2017

Área Geográfica

BIOBÍO

Crosstab

de Material de los muros exteriores

por Tipo de Vivienda

AREA # 08

BIOBÍO

Material de los muros exteriores	Tipo de Vivienda			
	Casa	Departamento en edificio	Otros	Total
Hormigón armado	58 063	40 204	96	98363
Albañilería: bloque de cemento, piedra o ladrillo	149 646	12 051	630	162 327
Tabique forrado por ambas caras (madera o acero)	138 909	-	4 037	142 946
Tabique sin forro interior (madera u otro)	29 477	-	2 340	31 817
Adobe, barro, quincha, pirca u otro artesanal tradicional	644	-	54	698
Materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.)	2 066	-	357	2423
Total	378 805	52 255	7 514	438 574

No Aplica : 55 014

Ignorado : 1 228

Base de datos

Censo 2017

Área Geográfica

BIOBÍO

Crosstab

de Material en la cubierta del techo

por Tipo de Vivienda

Material en la cubierta del techo	Tipo de Vivienda			
	Casa	Departamento en edificio	Otros	Total
Tejas o tejas de arcilla, metálicas, de cemento, de madera, asfálticas o plásticas	53 156	9 643	316	63 115
Losa hormigón	1 386	23 592	5	24 983
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento (tipo pizarreño)	320 584	18 761	6 843	346 188
Fonolita o plancha de fieltro embreado	1 005	-	80	1 085
Paja, coirón, totora o caña	22	-	2	24
Materiales precarios (lata, cartón, plásticos, etc.)	1 786	-	240	2 026
Sin cubierta sólida de techo	221	-	10	231
Total	378 160	51 996	7 496	437 652

No Aplica : 55 014

Ignorado : 2 150

12 Ejemplo Variación de resultados por motor de cálculo en BESTEST ASHRAE 140

ASHRAE Standard 140-2017, Informative Annex B8, Section B8.1
 Example Results for Section 5.2 - Building Thermal Envelope and Fabric Load Cases 195-960 & 600FF-950FF

Figure B8-6. BESTEST BASIC
Low Mass Annual Heating

