



Memoria de Tesis.

"Influencia en la toma de decisiones de los grados de resolución de la información y los métodos de análisis energético a lo largo de las etapas de diseño"

Alumno: Marcelo Antonio Urbina García

Profesor Guía: Marcelo Bernal

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. El problema de diseño.	7
2. PROCESO DE DISEÑO	11
Presentación.	11
2.1. Evolución del proceso de diseño.	12
2.1.1. Diseño de primera generación.	12
2.1.2. La naturaleza del problema de diseño.	15
2.1.3. Diseño de segunda generación y problemas perversos	20
2.2. Morfología del proceso de diseño.	22
2.2.1. La estructura enfocada en el producto.	23
2.2.2. La estructura enfocada en el proceso.	28
2.3. Reinterpretación del modelo de diseño contemporáneo	40
2.3.1. Componentes fundamentales del proceso de diseño contemporáneo.	40
2.3.2. Modelo del proceso de diseño contemporáneo	45
2.4. Resumen	48

3. PROCESO DE ANÁLISIS ENERGÉTICO Y TOMA DE DECISIONES.	50
Presentación.	50
3.1. Modelo de evaluación del consumo energético	51
3.1.1. La calculadora.	53
3.1.2. Las ecuaciones.	57
3.1.3. La evaluación.	62
3.2. Limitaciones del modelo de análisis energético	68
3.2.1. Salidas y validación	68
3.2.2. Exactitud del modelo	69
3.2.3. Limitaciones del software.	69
3.3. Influencia de la simulación sobre la toma de decisiones en las distintas etapas de diseño.	70
3.3.1. Simulación en etapa conceptual.	72
3.3.2. Simulación en la etapa esquemática	73
3.3.3. Simulación en la etapa de desarrollo	76
3.4. Mapeo de la influencia de los resultados en la toma de decisiones.	82
3.5. Resumen	84
4. CASO ESTUDIO CASA FENIX	86
Presentación	86
	4

4.1. Casa FENIX	86
4.1.1. Modular	87
4.1.2. Progresivo	91
4.1.3. Flexible	93
4.1.4. Asequible	96
4.2. Métodos v/s herramientas durante el proceso de diseño.	100
4.2.1. Método para evaluar el comportamiento energético.	100
4.2.2. Herramientas y análisis.	103
4.3. Influencia del análisis energético en el diseño de la vivienda	107
4.3.1. Metodología y objetivos de análisis energéticos	107
4.3.2. información de clima y análisis del tiempo	108
4.3.3. Estrategia energética del equipo.	109
4.4. Mapeo de la influencia de los análisis en el diseño de la vivienda.	110
4.5. Resumen.	114
5. ANÁLISIS COMPARATIVO	116
Presentación	116
5.1. Modelo de proceso de diseño v/s modelo de los métodos de análisis energético	116
5.2. Modelo de proceso de diseño v/s caso de estudio	119

5.3. Modelo de los métodos de análisis energéticos v/s caso de estudio	121
6. CONCLUSIONES Y ESPECULACIONES	124
7. GLOSARIO DE ECUACIONES	127
REFERENCIAS	130

1. Introducción

1.1. El problema de diseño.

El diseño es un proceso continuo que a medida que progresa se vuelve más detallado, más refinado y con suerte mas preciso aumentando gradualmente la resolución de la información y de los métodos que se utilizan en las distintas etapas de diseño.

En las más tempranas las decisiones se toman en un escenario donde la información es poco definida por lo que debe recurrir a supuestos que reducen el nivel de confianza en la toma de decisiones. Mientras que en las avanzadas, en donde el diseño esta definido casi por completo, la toma de decisiones es mas restringida debido a alto nivel de definición de los últimos estados del diseño. Por la naturaleza del problema de diseño, este aparece mientras lo soluciono mediante ajustes que se realizar a lo largo de las etapas. Para realizar dichos ajustes, el proceso de diseño es asistido por herramientas que simulan el comportamiento de la edificación. Sin embargo estas operan bajo la lógica de cajas negras (Bernal, 2011), en donde aparentemente, no se sabe cuál es motor de los cálculos, ni la precisión de estos aumentando el nivel de incertidumbre en la toma de decisiones. Al transitar de una etapa a otra, aumenta el nivel de especificación de la información y de los métodos asociados a las distintas herramientas que asisten el proceso de diseño. El siguiente estudio pone el foco de interés en la variación de la resolución de la información y de los métodos y como este afecta la toma de decisiones de diseño.

La evolución del proceso de diseño va de acuerdo a la coyuntura cultural y tecnológica según las distintas épocas y sus tendencias. La comprensión del diseño paso de ser un

proceso lineal y racional a ser circular e intuitivo que es asistido por herramientas computacionales que desempeñan distintas tareas tales como; representación gráfica, simulación, planificación, entre otras. En la actualidad, el foco de los procesos de diseño tienden a reducir el impacto ambiental que acompaña cada proyecto. Para ello, los diseñadores utilizan herramientas computacionales las cuales evalúan las distintas posibilidades de diseño iterando y modificándolas en busca de satisfacer los objetivos previamente planteados. Estas herramientas asisten al diseñador con la información disponible en las distintas etapas. El proceso de diseño contemporáneo tiende a utilizar las herramientas de simulación en las etapas avanzadas ya que el diseño tiene un mayor nivel de definición, es decir hay mas información disponible. Sin embargo los resultados aparentemente estériles de la simulación en etapas tempranas, si bien no describen un modelo detallado con el cual se pueda predecir el rendimiento y cuantificar los ahorros de la edificación, sirven para tomar decisiones acerca de la estrategias que se ejecutaran para el desarrollo del diseño.

Mientras mas avanzado sea el estado de diseño más alto es el nivel de detalle que se requiere para tomar decisiones. Sin embargo este incremento en la especificación de la información y la metodología no necesariamente se ve reflejado en el nivel de confianza a la hora de decidir. Este fenómeno se debe a que la variación de la información y metodología en términos cualitativos y cuantitativos tiende a ser incremental, por lo que en las etapas avanzadas la cantidad y la calidad de la información es mayor que en las etapas tempranas. Existe una clara tendencia en la industria de la construcción ecológica a enfocar sus fuerzas en una buena predicción del comportamiento, lo mas ajustada posible a la realidad con un diseño completo correspondiente a las etapas avanzadas en vez de asistir el proceso en las etapas tempranas y en los distintos

niveles de abstracción. Durante este proceso la información sufre una serie de transformaciones. La mas relevante es el cambio de rol que juega durante las etapas del proceso al cambiar la condición de variable a constante, o viceversa, a medida que el problema de diseño se define.

Para manejar el flujo de información en los niveles más altos de abstracción es necesario un sistema que soporte la toma de decisiones. Esta cuestión es clave ya que los problemas no vienen cuidadosamente envueltos en paquetes con la información valorizada y con los elementos prolijamente ordenados.

La secuencia de procedimientos que desarrolla esta investigación consta de cuatro capítulos. El capítulo dos revisó los últimos 50 años, recopilando una serie de modelos los cuales fueron sintetizados para compararlos entre si. Luego se reinterpreta un nuevo proceso de diseño contemporáneo reconociendo cuatro componentes fundamentales; el estado de diseño, la información de entrada o salida, las actividades y las iteraciones. El capítulo tres estudió el proceso de análisis de consumo energético realizando un acercamiento en el foco, “zoom in”, hasta llegar a la toma de decisiones a través de un ejemplo ilustrativo. Primero se revisó el modelo general de evaluación de consumo energético de edificaciones, clasificando las partes que lo componen y sus relaciones para luego revisar el proceso de modelamiento del consumo energético que retroalimenta la toma de decisiones durante las etapas del diseño. Con los datos obtenidos se desarrollo un mapa del proceso que describe la influencia de los resultados de las simulaciones en la toma de decisiones y el cambio de rol que tiene la información durante el proceso.

El capítulo cuatro revisó el proceso de diseño de una vivienda sustentable para situación de emergencia o catástrofe que participo en Solar Decathlon Europe 2014,

llamado Casa FENIX. Con los datos obtenidos del proceso del caso de estudio se levantó la ruta crítica de la toma de decisiones y el historial de análisis que soportan y validan las decisiones en las distintas etapas del proceso. Este mapeo nos muestra la manera en que durante las distintas etapas del proceso la estrategia de diseño cambia gradualmente a través de ensayo y error a medida que el nivel de especificación aumenta. Y el capítulo cinco realizó un estudio comparativo entre el modelo del proceso de diseño contemporáneo, el de análisis energético y toma de decisiones, y el del caso de estudio. Con el fin de describir la variación de la resolución del flujo de información y de las herramientas de simulación que asisten el proceso en las distintas etapas, se han analizado los resultados de los estudios descritos anteriormente a través de tres comparaciones; modelo del proceso de diseño contemporáneo v/s modelo de análisis energético y toma de decisiones, el modelo del proceso de diseño contemporáneo v/s la ruta crítica del caso de estudio y el modelo de análisis energético y toma de decisiones v/s la ruta crítica del caso de estudio.

La investigación incrementa el aumento del lente con el que se enfoca el problema, comienza desde planos generales describiendo el proceso de diseño para luego aumentar el lente y focalizar la investigación en los análisis que asisten el proceso de diseño y como estos influyen en la toma de decisiones a través de un ejemplo ilustrativo para llegar finalmente a la particularidad de un caso estudio. La investigación dentro de este marco busca entender la variación de la información y de métodos que están involucrados en los análisis energéticos y cómo este fenómeno afecta la estrategia de diseño. Los resultados preliminares apuntan a que las herramientas de simulación que soportan la toma de decisiones pueden ser utilizadas en etapas tempranas con

modelos mas sencillos a los finales, con el propósito de optimizar las estrategias de diseño iniciales enfocándolas en los ahorros de energía más prometedores.

2. Proceso de diseño

Presentación.

Este capitulo hace una revisión cronológica de los distintos procesos de diseño encontrados en la literatura, 1940 – 2004 aproximadamente. Estos procesos están descritos a través de modelos sintetizados para lograr un campo común de abstracción y realizar un análisis de los distintos componentes y las relaciones de los procesos. Esta revisión enfoca la evolución del proceso diseño como un cambio generacional, los de primera generación que describen un modelo lineal y racional y los de segunda generación que definen el proceso con un modelo circular y más intuitivo. Además se definen los cuatro componentes fundamentales del proceso de diseño contemporáneo, estos son; estado de diseño, información de entrada o salida, actividades y los bucles. El primero corresponde al grado de definición del diseño, es decir, qué tan avanzado está, el segundo componente se refiere a la información que requieren los distintos estados de diseño, el tercero son el grupo de actividades que propone la estrategia durante las etapas del proceso y el último componente es la iteración de las actividades mencionadas anteriormente las que articulan el continuo ajuste del diseño. Con estos antecedentes, se elabora un modelo que reinterpreta el proceso de diseño contemporáneo que sintonice con las nuevas herramientas a disposición en la industria.

2.1. Evolución del proceso de diseño.

Durante la segunda guerra mundial, se empezó a masificar la idea del método de diseño debido a que los diseñadores militares no daban abasto con las necesidades de los tiempos de guerra, asomando como alternativa el apoyo de los diseñadores civiles, quienes ejecutaban dichos métodos. Estos últimos realizaban la función de instructivo o como una manera de comunicar los procedimientos prescritos para resolver determinados problemas. Luego estos métodos se tuvieron que ajustar a los problemas de la post guerra, como la escases de mano de obra provocado por las perdidas de vidas humanas en los campos de batallas y la necesidad de construir lo destruido tras el paso de la guerra. En la literatura se puede revisar un relato que describe la evolución de la planificación del diseño en dos generaciones.

2.1.1. Diseño de primera generación.

Se caracterizan por una forma de proceder, que implica una cierta secuencia de pasos o etapas para abordar un proyecto de diseño. El primer paso es la comprensión del problema, seguido de la reunión de información, el análisis de esta, luego se genera al menos una alternativa la que se evalúa para implementar, probarla y si es exitosa aprender para una siguiente oportunidad. En diferentes textos se encuentran distintos nombres para estas etapas, las que en esencia son las mismas. La investigación operativa está estrechamente relacionada con el diseño de primera generación, coincidiendo en los siguientes pasos; primero define el universo de las soluciones, que es una matriz basada en ciertas variables, cuyas combinaciones constituyen la cantidad

de soluciones imaginables. Luego definir las restricciones. Por ejemplo, se describen cuales soluciones deben ser excluidas porque no son factibles. Posteriormente se define la escala de medición de la efectividad. Para optimizar en base de esta misma, es decir identificando o buscando la solución en el universo definido la que está fuera de las excluidas y la que obtenga la nota más alta en la escala de efectividad. Generalmente hay que demostrar que no hay otra solución mejor entre las factibles que aquella que se está postulando como la óptima.

Esta planificación está basada en la idea de la racionalidad y sus profundas paradojas asociadas a este concepto. Racionalidad tiene diversas definiciones, pero yo utilizaré una muy simple: tratar de anticiparse a los efectos que generará la acción contemplada. En otras palabras pensar antes de actuar. (Horst, 1972)

Los diseñadores de primera generación asumen la obligación de ser racionales pese a sus paradojas, lo que significa que tratan de entender el problema como una totalidad y se anticipan a las consecuencias. Esta definición es muy restringida y no hay casi ninguna razón para actuar de otra manera, porque si alguien no es racional en ese sentido sería un irresponsable sin control sobre las consecuencias de su acción.

Supongamos que alguien intenta ser racional de esta manera. El trataría de anticipar las consecuencias de las diferentes alternativas de acción, pero antes de tomar una decisión debo evaluar las consecuencias de mi accionar. Haciendo esto descubre que el anticipar consecuencias tiene también consecuencias porque toma tiempo, trabajo y dinero. Por eso antes de empezar a evaluar es necesario evaluar la evaluación de consecuencias, lo que a su vez también toma tiempo trabajo y dinero por lo que es necesario evaluar la evaluación de las consecuencias. Cada paso no es necesariamente más fácil que el paso anterior, porque la pregunta a responder debe ser más y más fundamentada.

Es por eso que resulta imposible comenzar a ser racional, uno siempre debe comenzar en un paso posterior.

La segunda paradoja de la racionalidad se puede demostrar de la siguiente forma: asumamos que alguien logró de alguna manera ser racional. El está entonces en la mitad de evaluar consecuencias, lo que significa que él llega al convencimiento que toda consecuencia tiene consecuencias, lo que significa que no hay ninguna razón para que él pare en ningún momento de evaluar consecuencias, porque eso también traería consecuencias que habría que evaluar. Por eso una vez que se ha logrado comenzar a ser racional no es posible detenerse y lo único que lo podría detener sería un motivo ilógico o fuera de la racionalidad como por ejemplo darse cuenta que se está perdiendo tiempo, dinero y paciencia. Aunque desde dentro de la lógica del problema, no hay razón para terminar la búsqueda de consecuencias. Por lo tanto una vez que se ha empezado no se puede parar nunca más.

La tercera paradoja de la racionalidad es que mientras más éxito se tiene en esa empresa (asumiendo que es posible), uno se ve cada vez más incapacitado a tomar decisiones. Al proyectarse la cadena causal de consecuencias hacia el futuro, los efectos se comienzan a entrelazar lo que hace difícil afirmar que un resultado es producto de un curso de acción determinada. Mientras más éxito tenga en mi empresa de ser racional, menos podré concluir lo que debo hacer. Por lo tanto no sirve tener éxito en el intento de ser racionales.

La cuarta paradoja de la racionalidad es su auto-inclusión. Con el fin de estudiar las consecuencias de las acciones en cuestión, es necesario tener un modelo (una descripción causal de los fenómenos afectados por las acciones estudiadas). Porque se está preocupado de todas las posibles consecuencias, el modelo debe contener y

describir todos los factores o fenómenos relevantes. Pero ¿qué es más importante que el propio modelo que define las consecuencias que se deben analizar? Por lo mismo el modelo debe ser parte del modelo ya que influye en qué efectos se van a estudiar. En otras palabras, el modelo debe contenerse a si mismo lo que es imposible.

2.1.2. La naturaleza del problema de diseño.

Las paradojas de la racionalidad no son un simple juego filosófico sino que una cuestión práctica extremadamente importante. Veámoslo desde otro punto de vista estudiando la naturaleza de los problemas de diseño, contrastándolos con los problemas de un científico, un ingeniero o un jugador de ajedrez. Quisiera describir y contrastar dos tipos de problemas: los primeros llamados "domesticables" (PD) y los otros llamados "perversos" (PP). Ahora bien, todo problema de diseño es esencialmente perverso, siendo que la planificación de primera generación sirve en mayor o menor grado para problemas domesticables (por ejemplo una ecuación de segundo grado o un juego de ajedrez, un problema de análisis químico o un problema de optimización en investigación operativa).

La primera propiedad de un problema domesticable es que puede ser formulado exhaustivamente de modo escrito en una hoja de papel que puede ser entregada a un experto quien eventualmente lo solucionará sin necesitar información adicional. Esto no es así con los problemas perversos. Ya que, la siguiente pregunta para información adicional es única y dependiente del estado de solución que ya ha sido alcanzado. Por ejemplo, ahora usted ha desarrollado una solución para el nuevo producto al punto que dice: "Ahora necesito comprar cinco máquinas del tipo A." Entonces la próxima pregunta depende de esa decisión, porque por ejemplo, es necesario verificar si el techo

del tercer piso es capaz de soportar esas máquinas. Esta pregunta no sería necesaria si usted no hubiera decidido comprar esas máquinas y colocarlas en ese lugar. Esta interrogante depende del estado de su solución en ese momento y la próxima no se puede anticipar en un comienzo cuando se formula el problema.

La primera propiedad de los problemas perversos es que no se pueden formular exhaustivamente. Esta es una seria objeción al diseño de primera generación, cuyo primer paso en su esquema es entender el problema antes de entrar a resolverlo. Esta consideración muestra que no es posible entender el problema sin solucionarlo, y resolver el problema es lo mismo que solucionarlo. Pero ¿cómo puede entender el problema si no puede tener la información suficiente sin antes resolverlo?. La segunda propiedad en contraste con los problemas domesticables es que la formulación de PP corresponde al estado de la solución y vice versa. Cuando digo que el problema es obtener una máquina que haga un millón de operaciones, entonces esa máquina es la solución; cuando digo que esa máquina no debe pesar más de 500 kg, entonces esa es exactamente la solución. Esto significa que entender el problema es lo mismo que resolverlo. Cada estado del problema implica un estado de la solución. Esto es muy distinto a los problemas domesticables, donde una cosa es el problema y otra es la solución, y muy diferente a la noción de problema que los partidarios de la planificación de primera generación tienen en mente.

La tercera propiedad es que no existe una regla de detención para problemas perversos. Si tiene una ecuación y llega a algo como $x = y$, entonces usted sabe que está en lo cierto. Pero esto no es así con los problemas perversos: siempre se puede intentar hacerlo mejor, y no hay nada en la naturaleza del problema que pueda pararlo. El proceso se detiene, porque se acabó el plazo, el dinero o la paciencia; pero esto no tiene

nada que ver con la lógica del problema ya que siempre puede mejorar. La cuarta propiedad indica que: dada la solución a un problema domesticable se puede probar asignándole uno los atributos correcto o falso indicando las equivocaciones y los errores. Esto no es así en problemas perversos. Las categorías de correcto o falso no se pueden aplicar: no podemos afirmar que esta solución planimétrica o este plano urbano sea correcto o falso. Sólo podemos decir que esto es bueno o malo en diversos grados y posiblemente de diferente manera para distintas personas; normalmente lo que es bueno para A no lo es tanto para B. Esta es una de las condiciones de todas las soluciones a problemas perversos; no existe ningún criterio o regla que le diga que es correcto o falso. Yo sólo puedo decir, "yo creo que es muy bueno, aún cuando usted opine que no es así". En conclusión, a PP no se puede aplicar el criterio correcto/falso.

Para problemas domesticables existe una lista exhaustiva de operaciones permitidas. Tomando un problema de ajedrez como ejemplo: al comienzo de un juego de ajedrez usted tiene la elección de veinte movimientos, y en ajedrez no hace ningún sentido inventar nuevos movimientos durante el juego. Pero esto es distinto con problemas perversos. No existe una lista exhaustiva y enumerada de operaciones permitidas; todo opera por principios éticos y fantasía.

Un problema puede ser considerado como una discrepancia en cuanto lo comparo con la imagen de lo que debería ser. La próxima consideración en la solución de problemas de este tipo es preguntar "¿por qué no es como debería ser?" y busca una razón para la discrepancia, la causa y la explicación. Y la dificultad es que en problemas perversos hay muchas explicaciones para la misma discrepancia y no existe ninguna prueba que permita descubrir cual de las explicaciones es la mejor. Por ejemplo, si dice que nuestro

sistema productivo no es suficientemente efectivo, se puede decidir que se debe a maquinaria anticuada, o debido a que el sistema administrativo es inadecuado y se puede intentar encontrar evidencias para ello; pero también puede decir que se debe a que el director de producción no es la persona correcta. Dependiendo de qué respuesta haya escogido para la discrepancia, la solución va a conducirlo en diferentes direcciones. Si piensa que es la personalidad del director, entonces lo echará; pero si piensa que la maquinaria no es adecuada, comprará nueva o verá como sustituirla. La dirección en que vaya la solución depende en primer lugar de la explicación ("¿por qué existe un problema?"), lo cual es el paso más decisivo en el manejo de problemas perversos.

Todo problema domesticable tiene cierta forma natural, y no existe ningún motivo para cuestionarse por ejemplo el nivel del problema. Sin embargo todo problema perverso puede ser considerado como un síntoma de otro problema y, por supuesto, nadie trataría de curar síntomas si no está seguro que está atacando el problema en el nivel correcto; curar síntomas puede ocultar la enfermedad y así desviar el objetivo deseado. Por ello no se puede estar nunca seguro de que el problema deba ser abordado a ese nivel. Si alguien dice que "tenemos problemas en nuestro inventario" porque hemos introducido errores en él, siempre podremos entender esto como un síntoma de: por ejemplo la educación general del personal o de la organización del departamento de adquisiciones. No debemos concluir demasiado rápido que hay que reorganizar el inventario, tal vez debamos buscar un sistema más fácil de operarlo. Todo problema puede ser considerado un síntoma de otro problema.

Como dije anteriormente, la solución a un problema de ajedrez se puede corroborar.

Para un problema perverso no existe una corroboración inmediata ni una final, porque

cada acción emprendida para contrarrestarlo puede tener consecuencias en el tiempo. No existe un límite a las consecuencias potenciales de un problema, y por eso no existe una corroboración final, porque siempre pueden surgir consecuencias adicionales. Un problema de ajedrez puede jugarse una y otra vez; si una ecuación matemática no logro solucionarla en una primera oportunidad, intento nuevamente; solo necesito una hoja de papel, un lápiz y tiempo. Si resolvió una ecuación cuadrática, usted ha solucionado todas, porque el truco para solucionar una es el mismo para resolver toda una clase de ecuaciones de segundo grado. Existen soluciones prototípicas para cada clase de problemas domesticable. Sin embargo, uno solo puede anticipar o simular consecuencias potenciales y hasta un cierto grado en razón si es una buena o mala respuesta a un problema perverso, porque un problema perverso no puede repetirse. Cada solución a un problema perverso es una operación de "un-tiro". No se puede deshacer lo que se hizo en un primer intento; cada intento ocurre y tiene consecuencias. No existe ensayo y error no es posible experimentar en el manejo de problemas perversos.

Cada problema perverso es esencialmente único. Esto es muy irritante porque no se puede aprender para la próxima vez; Ud. no puede basarse fácilmente en estrategias exitosas del pasado para proyectarla al futuro, ya que no sabe si el próximo problema tiene una característica o una propiedad, que lo hace lo suficientemente distinto al problema anterior, no sirviendo la solución antigua. Problemas aparentemente similares requieren trasladar la solución de un contexto a otro y solo un análisis más detallado muestra que hay otros factores importantes, distintos en ambas situaciones, resultando no aconsejable ese traslado. En el manejo de problemas perversos nunca se

debe decidir muy temprano cual será la naturaleza de la solución y cuando una solución antigua se puede utilizar en un nuevo contexto.

2.1.3. Diseño de segunda generación y problemas perversos

Los principios de los diseños de segunda generación que lidian con problemas perversos declaran que la solución del problema no se encuentra en una cabeza solamente y que la experiencia y la ignorancia esta distribuida entre todos los participantes. Existe una simetría de la ignorancia entre quienes participan porque nadie sabe más por virtud de su nivel o de su estatus. No existen expertos (lo que irrita a los expertos), y si existen, lo hacen solo para guiar la resolución de un problema perverso, pero no son el sujeto de la solución misma. El Segundo principio es el convencimiento que nadie quiere ser planificado. El tercer principio indica que cuando se desarrolla una solución a un problema perverso, en cada paso resulta necesario emitir un juicio que no se basa en experticia científica. Siempre está comprometida una afirmación del tipo "lo que debe ser". Cada paso concluye con "hay que hacer esto y lo otro". Esto es una llamada "premisa deóntica", por ejemplo una premisa personal del tipo "deber ser" es aquella que no se basa en conocimiento experto sino que en una indicación de tipo político, moral o actitudes éticas. Como ya se ha dicho, una característica esencial de las soluciones a problemas perversos es que no pueden ser correctas o erradas sino que solo buenas o malas. Debemos concluir y decir, "todos están facultados para emitir su juicio sobre el plan". Lo que necesitamos son procedimientos que permitan explicar a otros por qué consideramos que el plan es grandioso o por qué es una porquería. Llamamos este proceso "objetivización". Otro

principio de la planificación de segunda generación es que no existe la planificación científica ya que el manejo de problemas perversos es siempre político. El diseñador no es un experto y él entiende su rol como alguien que ayuda a encontrar problemas mas que alguien que ofrece soluciones con un optimismo moderado, que duda de algo que se da por sentado.

El modelo que debe utilizar en vez del modelo del experto de primera generación, puede ser llamado como "un modelo conspirativo de diseño". Esto significa que, como no podemos anticipar todas las consecuencias de nuestro plan, el tratamiento de problemas perversos no son una ventura, sino una aventura. Para ello compartamos el riesgo, busquemos cómplices que deseen embarcarse en el problema con nosotros. Para una sola persona resulta muy arriesgado, pero puede ser que si unimos nuestras fuerzas podamos asumir el riesgo viviendo con la incertidumbre y embarcarnos hacia la aventura. Esta parece ser una posición sostenible que justifica la audacia de planificar algo.

Si bien el proceso de diseño de primera generación puede realizarse en confinamiento solitario con una larga secuencia de pasos donde usted puede proceder de acuerdo a las reglas del arte, el proceso de resolución de problemas perversos debe ser entendido como un proceso argumentativo: uno donde el descubrir preguntas y cuestiones que permitan asumir diferentes posiciones, con evidencias y argumentos a favor o en contra de estas diferentes posiciones. Las diferentes posiciones son discutidas, y después que una decisión se ha tomado uno continua hasta que surge la próxima pregunta y se repite el proceso. Por ejemplo la pregunta puede ser la ubicación de una industria. Se puede por su puesto asumir que esa es la pregunta equivocada, que uno debe discutir

previamente si debe ser construida la planta o no. Asumamos que decimos que "si, que queremos construir una planta industrial". Existirían tres posible lugares para localizarla. Entonces podemos juntar y seleccionar las diferentes posiciones a favor o en contra de estas tres posibles localizaciones y llegar así a un argumento que permita identificar una de ellas como la mejor. Una vez hecha nuestra elección asumiendo que es la mejor, continuamos. Debemos hacer un edificio de uno o dos pisos? - así todo el proceso parte de nuevo. Cada pregunta de una decisión se combina con un argumento lo que en realidad hacemos todo el tiempo: deliberamos nuestros juicio y a caso ¿deliberación no es más que identificar y sopesar pros y contras, simulando debates y argumentos en su mente?. Metodologías de segunda generación tratan de hacer esta deliberación explícita, para fundamentarla y buscar significados en otros lo que permite hacer este proceso más poderoso y mantenerlo mejor bajo control. El diseño finalmente a evolucionado en un es un proceso argumentativo.

2.2. Morfología del proceso de diseño.

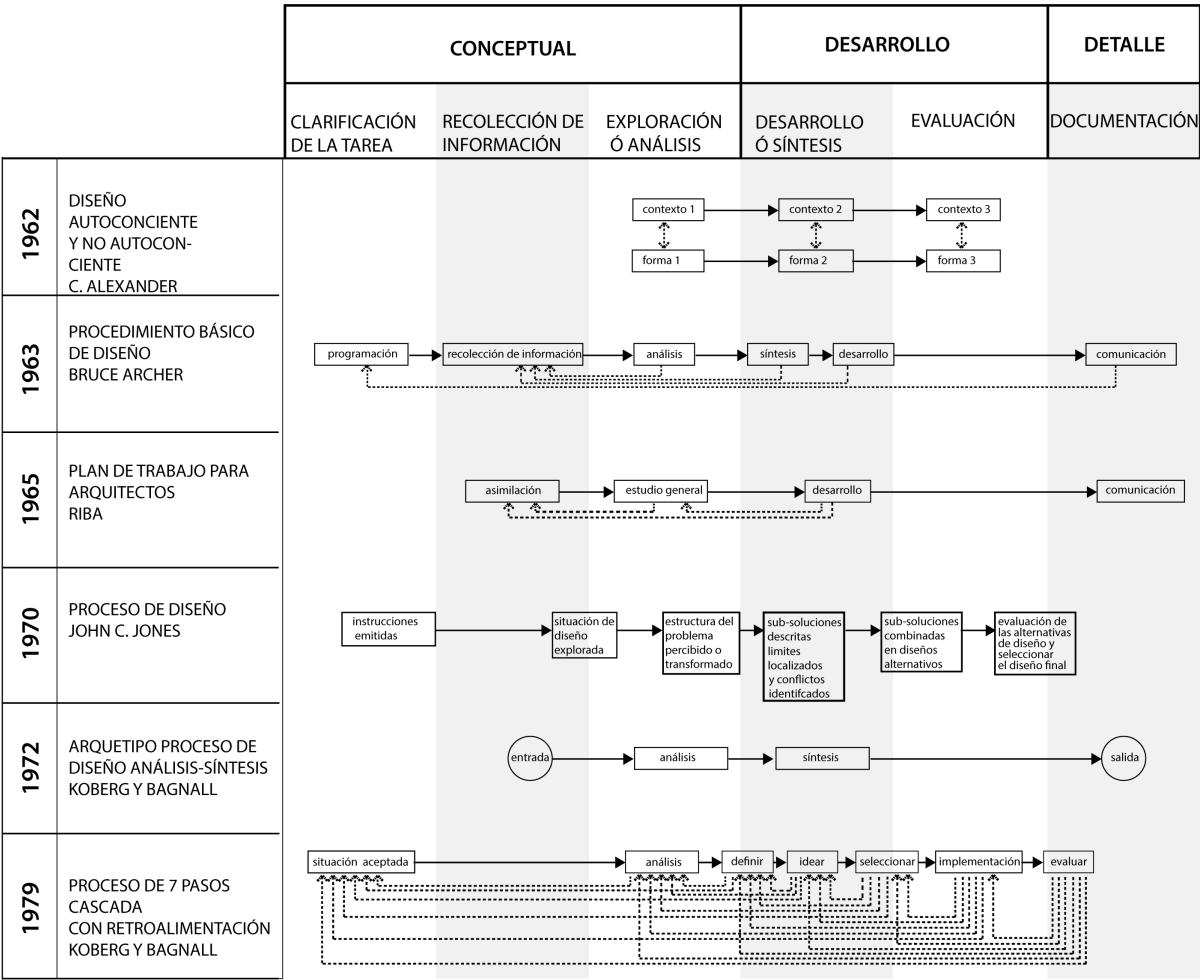
Para entrar mas en detalle y entender mejor la variación que a sufrido el proceso a lo largo del tiempo, se realizó una revisión literaria enfocada en los modelos de los procesos de diseño que describen distintos autores. Dichos modelos tienden a agrupar las actividades por etapas, siendo estas parte de una secuencia lineal cuya morfología posee dos estructuras con distintos niveles de abstracción; la primera enfocada en el producto y vinculada al diseño de primera generación, y la segunda enfocada en el proceso, que describe los continuos ajustes que se realizan para enfrentar problemas perversos.

Como hemos dicho anteriormente, el foco del grupo de actividades define el nombre de la etapa y estas depende a su vez del estilo del diseñador sin embargo el proceso de diseño transita desde lo abstracto a lo concreto y en él se identificaron tres etapas comunes; la conceptual, la de desarrollo y la de detalle. La etapa conceptual se enfoca en las actividades de inicio con los que se exploran las posibles estrategias a seguir. La segunda etapa de desarrollo es la que ejecuta la estrategia en función de satisfacer objetivos previamente propuesto y en la etapa de detalle se afinan cuestiones a un alto nivel de detalle. Como se observa en las siguientes imágenes (ver figuras 1 y 2) los autores a lo largo de la historia proponen distintos modelos para describir el transito desde lo abstracto a lo concreto.

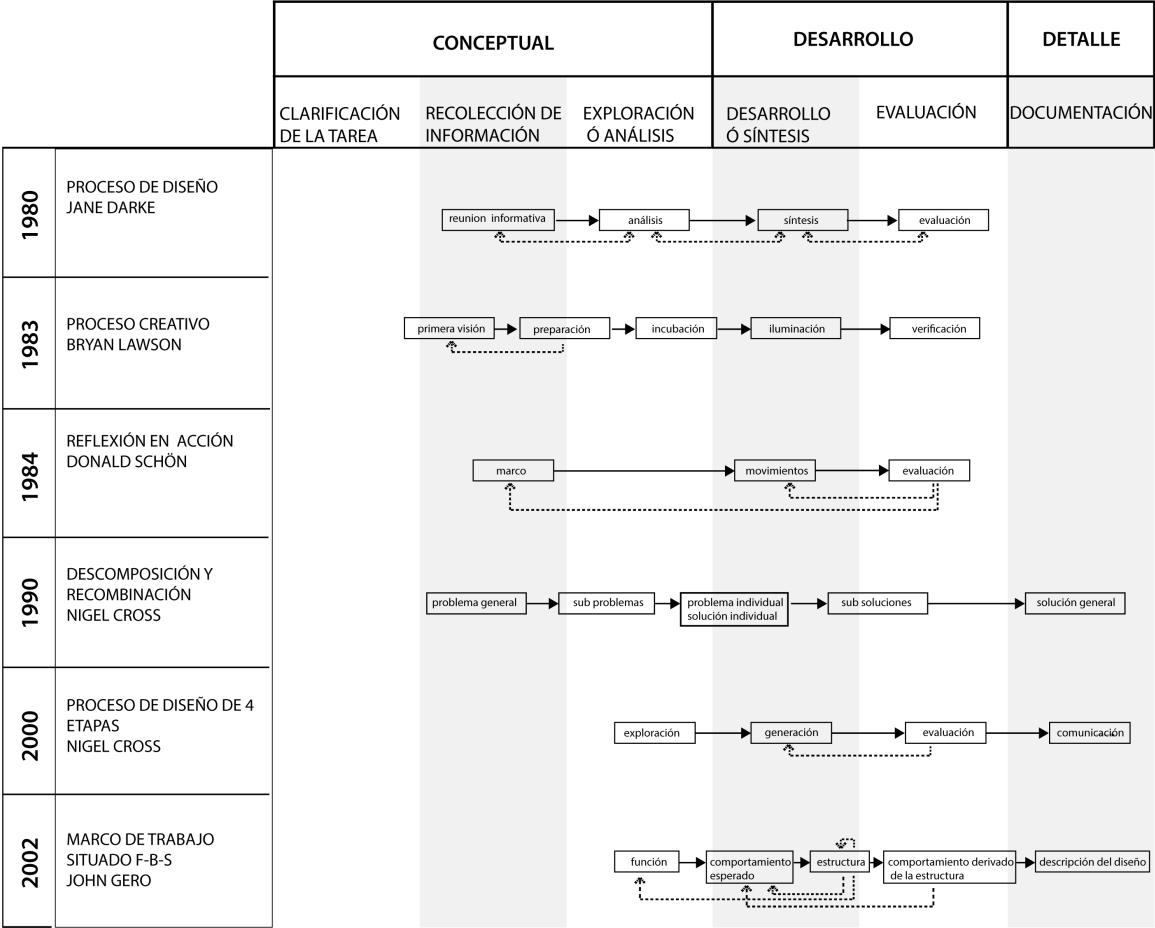
2.2.1. La estructura enfocada en el producto.

Es la encargada de direccionar el proceso evolutivo desde lo abstracto a lo concreto. Se identifican al menos tres etapas; la conceptual, la de desarrollo y la de detalle. Las etapas, son grupos de actividades con algún interés en común. La conceptual es la etapa en donde se empieza a abordar el problema de diseño con la información disponible, por esta misma razón las etapas tempranas del proceso de diseño son poco precisas ya que hay mucha información que se desconoce. La segunda etapa es la encargada de llevar a otros niveles de resolución el diseño conceptual, en ella se ejecuta la estrategia para ir en la búsqueda de la solución. Por último la etapa de detalle es la encargada de algunos aspectos relevantes del proyecto que se quieren estudiar y evaluar en profundidad para posteriormente publicar los documentos que consolidan la puesta en marcha de la ejecución del proyecto. Estos últimos dependen de los entregables.

Las siguientes imágenes (ver figura 1 y 2) describen distintos modelos del proceso de diseño, desde 1962 hasta 2002. La mayoría de las actividades que pertenecen a la secuencia del proceso pueden ser agrupadas en tres etapas; conceptual, desarrollo y detalle. Este campo común que comparten los modelos lo llamo estructura enfocada al producto. También puede ser visto como el planeamiento general de cualquier proceso de diseño.



Estructura común enfocada en el producto, agrupación de actividades de diseño 1/2 (Fig. 1)



Estructura común enfocada en el producto, agrupación de actividades de diseño 2/2 (Fig. 2)

Bryan Lawson al igual que Nigel Cross describen el proceso en 5 etapas pero con distintos enfoques de las actividades, Lawson describe una secuencia basada en el salto intuitivo (primera mirada-preparación-incubación-iluminación-verificación), mientras que Cross posee una secuencia enfocada en la co-evolución de la solución y el problema (problema general-sub problema-problema individual/solución individual-sub solución-solución general). Sin embargo el modelo del proceso creativo de Lawson declara la iteración de las etapas tempranas a diferencia de la linealidad y el enfoque basado en el problema de Cross.

Este tipo de modelos manejan un nivel de abstracción mas alto y tienden a describir el proceso de la estructura enfocada en el producto. A diferencia de los dos modelos mencionados anteriormente, existen otros que describen el proceso en un nivel de abstracción mas bajo y altamente iterativo, la estructura enfocada en el proceso. A este nivel los modelos describen las actividades que se desarrollan en algún estado de diseño y como estas se relacionan para realizar los ajustes necesarios y satisfacer los objetivos. Un ejemplo es el modelo de Donald Shön que describe el proceso como continuos ciclos de aprendizaje que iteran actividades para evaluarlas y planificar las próximas movidas. Luego esta idea fue desarrollada en el marco de trabajo situado de la función-comportamiento-estructura de John Gero. Este proceso describe el continuo ajuste de sus tres variables hasta alcanzar el umbral de satisfacción. Ambos modelos no hacen referencia al transito de lo abstracto a lo concreto ni a al enfoque del grupo de actividades. Solo dan cuenta de cómo se relacionan sus partes para ajustarse y lograr algún grado de satisfacción.

2.2.2. La estructura enfocada en el proceso.

Es la que describe cómo se ejecutan las actividades planificadas en la estructura anterior. Esta segunda estructura describe el modelo mediante tres componentes fundamentales del proceso de diseño contemporáneo; estado de diseño, la información y la iteración. El ajuste del diseño para satisfacer objetivos propuestos ocupan como vehículo la relación entre estos componentes. El estado de diseño es el grado de resolución en el que el proceso de diseño se encuentra. A mayor resolución del estado de diseño mayor es la definición del mismo. Aquí se analizan los resultados que arrojan los distintos estudios a los que es sometido el proyecto y en donde se toman las decisiones de las próximas estrategias. La información (Inputs-Outputs) corresponden a los datos necesarios para resolver un problema de diseño a través de alguna metodología. La información tanto de entrada como la de salida son los antecedentes para la elección de algún método de diseño, es decir me permiten escoger una herramienta desde dos puntos de vista; desde la información disponible y desde la información que requiero. La iteración dentro del proceso permite volver a estados de diseños anteriores para realizar los ajustes necesarios con el fin de lograr los objetivos planteados. Esta iteración además de realizar ajustes también permite ciclos de aprendizaje acerca del problema y su comportamiento.

A continuación, se presenta la revisión cronológica de el modelo del proceso de diseño. Este último se refiere a la abstracción de la estructura de las relaciones de los componentes del proceso de diseño (la unidad) a través de una descripción sistémica o de un modelo. Esta descripción sistémica del proceso de diseño, a la que desde ahora nos referiremos como “modelo”, es utilizada como una herramienta comunicacional, como una declaración del proceso y como un campo perceptual para desarrollar los

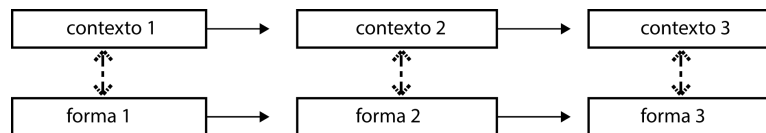
ajustes correspondientes para lograr los objetivos del diseño tempranamente propuestos. Además sirve como piso común para el desarrollo y mejoramiento de nuevas metodologías de diseño.

El modelo se ha construido para sintetizar el proceso de diseño de distintos investigadores tanto de la disciplina de la Ingeniería como de la Arquitectura. A través de estos modelos se compararán las relaciones entre sus componentes en cuatro clases; estado de diseño representado por las circunferencias, input-output representado por las flechas continuas, las actividades representadas por las cajas y los bucles por las flechas punteadas.

Diseño no consciente y autoconsciente

Chirstopher Alexander 1962 (Alexander, 1962)

En el libro *“Notes on the Synthesis of Form”* Alexander describe tres situaciones en la que el diseño se sitúa, la primera describe la relación del artesano, y su proceso no consiente de diseño, el segundo describe la separación de la fabricación con el diseño a través de una imagen conceptual y la tercera a través de sistemas mas elevados como la diagramación.



Estado de diseño: No tiene estados de diseños descritos.

Input – Output: Secuencia de información por etapas en dos niveles distintos la forma y el contexto.

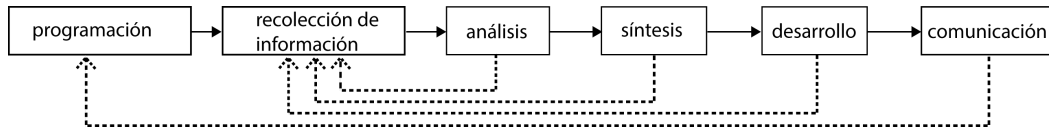
Actividades: No describe actividades, solo estados cognitivos.

Iteraciones: No existen iteraciones en este modelo.

Procedimiento básico de diseño

Bruce Archer 1963-64 (Dubberly, 2004)

Ingeniero mecánico e investigador de los procesos de diseño, propone el siguiente modelo como un campo común para el diseño de ingeniería enfocado en el problema.



Estado de diseño: Existen estados de diseño e las etapas posteriores a la recolección de información.

Input – Output: Secuencia de información por etapas y retroalimentación.

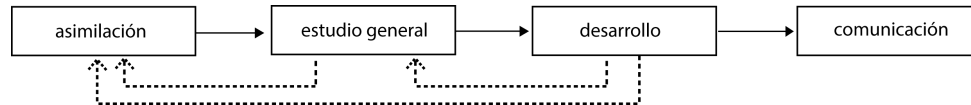
Actividades: Las actividades están enfocadas al problema.

Iteraciones: Existen iteraciones que convergen a la etapa de colección de información una iteración final (final-inicio).

Plan de trabajo para arquitectos

RIBA Royal Institute of British Architects 1965 (Dubberly, 2004)

El modelo propuesto por RIBA, es semejante al anterior en situar el foco del proceso de diseño en el problema. Asumiendo un carácter ingenieril. De acuerdo al manual de diseño de RIBA, la asimilación es la acumulación y el ordenamiento de la información general especialmente relacionado al problema., en el estudio se proponen las posibles soluciones para posteriormente evaluarlas en la etapa de desarrollo.



Estado de diseño: Existe la idea de estado de diseño en las etapas tempranas y de desarrollo del proceso.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

Actividades: Las actividades están enfocadas al problema.

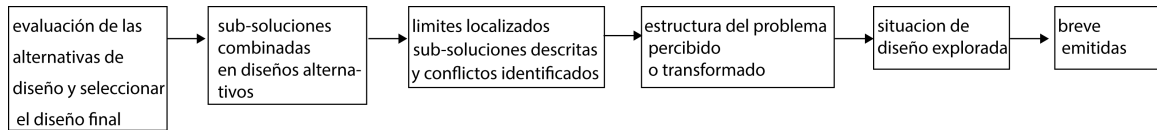
Iteraciones: Existen iteraciones paso a paso y una final (final-inicio)

Proceso de diseño

John Chris Jones 1970 (Jones, 1970)

Junto con Christopher Alexander y Bruce Archer, Jones fue una de los pioneros en el diseño de métodos de diseño. Jones utilizó el modelo para clasificar y seleccionar

métodos. Los diseñadores pueden usar uno o mas métodos para moverse de un paso a otro. Generalmente tras cada paso decrece la generalidad y aumenta la certeza.



Estado de diseño: Posee estados de diseño ya que permite la elección de los métodos que se desarrollen en el proceso de diseño

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

Actividades: Las actividades están enfocadas en la solución del problema.

Iteraciones: Reconoce iteraciones paso a paso entre las etapas tempranas del proceso.

Arquetipo proceso de diseño: análisis y síntesis

Koberg y Bagnall 1972 (Dubberly, 2004)

Campo común o abstracción básica del proceso de diseño enfocado a la resolución de problemas. Esta secuencia es la mas básica. Describe los estados de diseño como uno de entrada y otro de salida, asumiendo que este proceso puede acoplarse en cualquier etapa de otro mayor. Primero se rompe el problema en partes para luego re armarlo basado en el entendimiento del problema.



Estado de diseño: Reconoce la existencia de un estado de diseño inicial y otro final.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

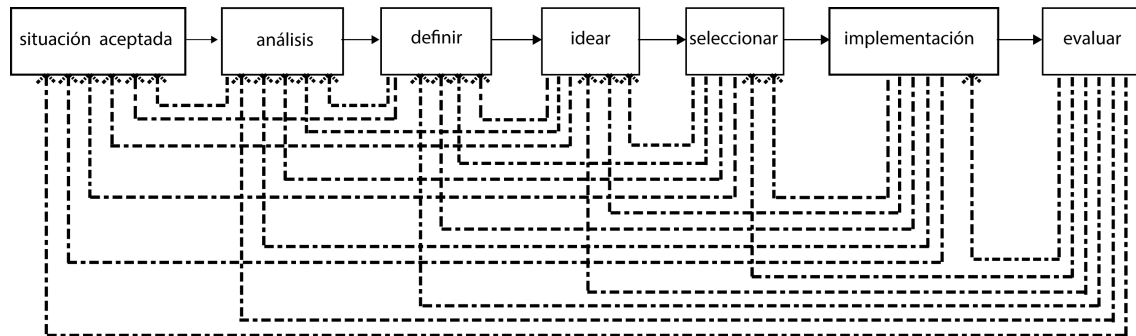
Actividades: Las actividades están enfocadas al problema.

Iteraciones: No existen iteraciones en este modelo.

Proceso de diseño siete pasos en cascada con retroalimentación

Koberg y Bagnall 1972 (Dubberly, 2004)

La linealidad del anterior y la posibilidad de que el primer entendimiento del problema no es el mas adecuado, Koberg y Bagnall decidieron el mismo año actualizar su proceso y ampliar las especificación de etapas pero esta vez con bucles para poder realizar iteraciones que permitan el ajuste.



Estado de diseño: Existen estados de diseño en todas las etapas del proceso.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

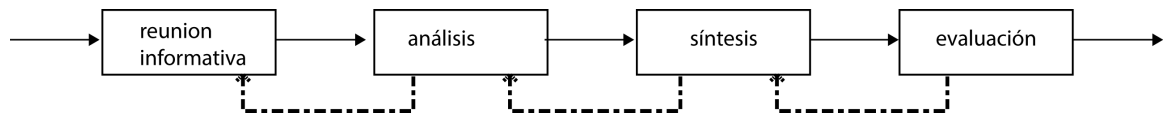
Actividades: Las actividades están enfocadas al problema.

Iteraciones: Permite todas las iteraciones posibles durante el proceso de diseño.

Proceso de diseño

Jane Darke 1979 (Darke, 1979)

Se describe un bucle en el inicio ya que según Darke, no se puede empezar el proceso con la reunión de información y luego diseñar. Lo que propone es diseñar y reunir la información de manera simultánea, ya que estas actividades están completamente interrelacionadas.



Estado de diseño: Existen estados de diseño en todas las etapas del proceso

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

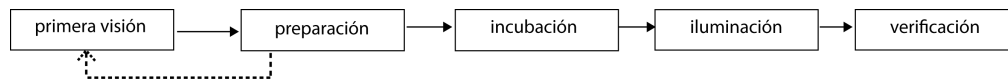
Actividades: Las actividades están enfocadas al problema.

Iteraciones: existen iteraciones paso a paso en todas las etapas del modelo.

Proceso creativo

Bryan Lawson 1980 (Dubberly, 2004)

Al igual que Alexander, describe el proceso en una secuencia de pasos y los estados cognitivos de cada uno, tomando la idea de las etapas consientes y no consientes del proceso. En donde hay una formulación consiente del problema en las dos primeras etapas para luego de un periodo de esfuerzos inconscientes aparece la idea para desarrollarla y verificarla.



Estado de diseño: Existe estado de diseño en las etapas tempranas del proceso de diseño.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

Actividades: Las actividades están enfocadas al problema y el salto creativo.

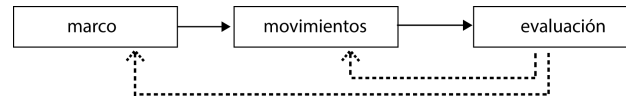
Iteraciones: Existe iteración paso a paso en las etapas tempranas o consientes del proceso.

Proceso de reflexión en acción

Donald Schön 1983 (Schön, 1983)

Donald Schön en su libro “The Reflective Practitioner, 1983” describe el proceso de diseño en tres fases, como un marco o punto de vista, como los movimientos hacia la

solución y la evaluación de aquellos movimientos esto puede derivar en nuevos movimientos o nuevos marcos de trabajo.



Estado de diseño: Reconoce un estado de diseño en la ultima etapa de evaluación.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

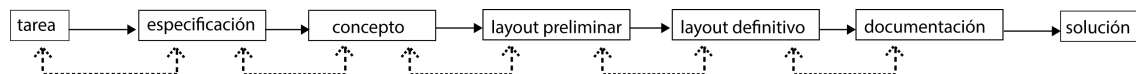
Actividades: Las actividades están enfocadas en la solución del problema.

Iteraciones: Existen iteraciones paso a paso e iteración final (final-inicio)

Proceso de diseño

Pahl y Beitz 1984 (Dubberly, 2004)

Este proceso de diseño de ingeniería describe la secuencia de actividades junto con bucles que permiten la iteración de las actividades. Estas últimas están enfocadas en la resolución de problema en un alto nivel de abstracción. Este modelo es "razonablemente completo", ya que oscurece "la estructura general del proceso de diseño con el detalle fino de las numerosas tareas y actividades que son necesarias en todos los trabajos de diseño práctico.



Estado de diseño: Existen estados de diseño en todas las etapas del proceso de diseño

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

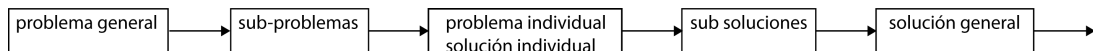
Actividades: Las actividades están enfocadas al problema.

Iteraciones: Existen iteraciones paso a paso en todas las etapas del proceso de diseño.

Descomposición y recomposición

Nigel Cross 1990 (Dubberly, 2004)

Este tipo de procedimiento ha sido criticado en el mundo del diseño, ya que parece estar basado y enfocado en el problema, en lugar de un enfoque centrado en la solución. Por lo tanto, va en contra de las formas tradicionales de pensar de los diseñadores.



Estado de diseño: Reconoce estados de diseño.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

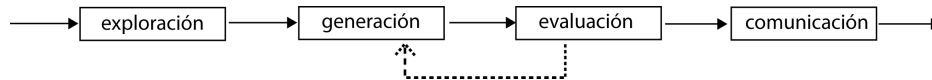
Actividades: Las actividades están enfocadas al problema.

Iteraciones: No existen iteraciones en este modelo.

Proceso de diseño de 4 etapas

Nigel Cross 2000 (Dubberly, 2004)

Es un modelo descriptivo simple del proceso de diseño, basado en las actividades esenciales que el diseñador realiza. El punto final del proceso es la comunicación de un diseño, listo para su fabricación. Antes de esto, la propuesta de diseño es objeto de evaluación en contra de los objetivos, las limitaciones y los criterios de las instrucciones de diseño. La propuesta en sí surge de la generación de un concepto por el diseñador, por lo general después de una exploración inicial del espacio del problema mal definido .



Estado de diseño: Reconoce un estado de diseño final, en la etapa de evaluación.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

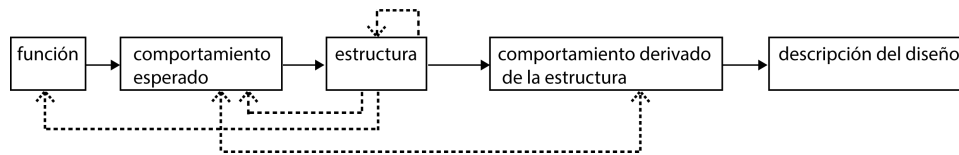
Actividades: Las actividades están enfocadas en la solución del problema.

Iteraciones: Existe iteración paso a paso entre la etapa de evaluación y la de generación.

Marco de trabajo situado función-comportamiento-estructura

John Gero 2004 (Gero & Kannengiesser, 2004)

El modelo que describe a través del marco de trabajo situado de la función, el comportamiento y la estructura es un proceso de diseño de carácter circular que compara lo propuesto con lo deseado en los tres niveles de variables a través de bucles que permiten ajustes a nivel local del variable o reformulaciones a etapas anteriores.



Estado de diseño: Reconoce un estado de diseño en todas las etapas del proceso de diseño.

Input – Output: Secuencia de información por etapas.

Actividades: Las actividades están enfocadas en la solución del problema.

Iteraciones: Existe iteración paso a paso entre las variables de estructura, función y comportamiento.

Los modelos a lo largo de la historia describen cuatro componentes fundamentales con los que el proceso se ajusta a las condiciones de cada problema. El modo con el que se ejecutan dichos ajustes depende de la estrategia o la forma de entender el espacio de posibles soluciones a través de las distintas relaciones entre los componentes. Es así

como cada modelo describe la misma problemática general desde distintos puntos de vista o distintas maneras de relacionar estos componentes.

2.3. Reinterpretación del modelo de diseño contemporáneo

Tras hacer el análisis comparativo entre los procesos de diseño, podemos concluir que existen cuatro componentes fundamentales en el proceso de diseño contemporáneo; el estado de diseño, la información de entrada y salida, las actividades de diseño y los bucles o iteraciones.

2.3.1. Componentes fundamentales del proceso de diseño contemporáneo.

Estado de Diseño

Es el grado de resolución en el que el diseño del edificio se encuentra durante el proceso de diseño, entendiendo este último como un recorrido desde lo conceptual a la especificación técnica. Además el estado de diseño es el instante en donde se realizan las evaluaciones entre el estado anterior de diseño y el actual. La noción de estados de diseño si bien es cierto pertenece a la estructura del proceso de diseño, esta emerge a la estructura de producto en un nivel de abstracción mayor para informar del estado de la evolución del diseño para la toma de decisiones.

Dadas las características de un estado de diseño y la etapa actual del proceso de diseño, el controlador de proceso de diseño, que evalúa si los objetivos son logrados en el estado actual, determina qué meta (o sub-objetivo) debe lograrse en el próximo estado de diseño, y prescribe los medios para lograrlo. (Kalay, 1985)

Por lo tanto, la noción de estado de diseño corresponde a un espacio de evaluación de los ajustes de las variables del edificio con las variables del contexto (exterior o interior) y de declaración de nuevos objetivos y de toma de decisiones de las siguientes acciones para lograrlos.

Información de entrada y salida

El segundo componente fundamental del proceso de diseño contemporáneo son los inputs y outputs que se requieren durante el proceso de diseño.

Independiente si se encuentra antes o después de la actividad de diseño, el input o output, es la información necesaria para resolver un problema de diseño a través de un método. Esta información esta relacionada requerimientos de cada estado de diseño.

La recolección y la elaboración de la información necesaria esta directamente relacionada con los requerimientos del problema de diseño y la noción de estado o nivel de resolución en el que el diseño se encuentre. Según lo mencionado anteriormente la información es necesaria durante todo el proceso de diseño. La información en etapas tempranas por lo general es de tipo secundaria, es decir, de otra fuente y la información en etapas mas avanzadas del proceso de diseño es generada por los distintos métodos que se realizan en las etapas. Mas adelante, en el capitulo 3, a este ultimo tipo de información (la que se genera en el proceso) se le conocerá como indicadores de rendimiento y será el resultado a comparar entre una alternativa y otra para tomar decisiones. Por ahora nos referiremos a los inputs y outputs como la información necesaria para desarrollar el proceso de diseño según los requerimientos de los métodos de diseño.

Actividades de diseño

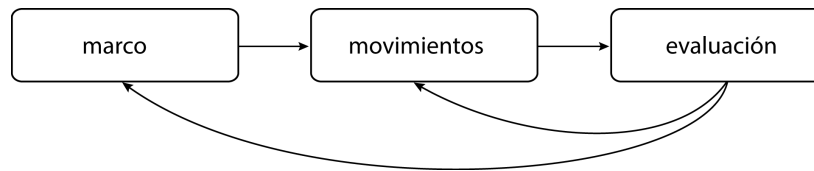
Este tercer componente es el encargado de ejecutar la metodología a través de distintas actividades que se desarrollan durante la exploración del espacio de soluciones. Al ser el diseño de un problema perverso estas ultimas varían para ajustarse a la única situación de diseño. En la actualidad estas actividades son asistidas por herramientas computacionales las que prestan soporte en distintas tareas, como dibujo, planificación, modelado, simulación entre otras. Estas actividades varían dependiendo de los estados de diseño y los distintos requerimientos. Las actividades en las etapas tempranas del proceso suelen estar ligadas a la recolección de la información y al entendimiento del encargo. Luego las actividades están guiadas por las estrategias de exploración del espacio de soluciones. En etapas de desarrollo del diseño las actividades están centradas en los diferentes estudios a los que es sometido el diseño para entender y luego en el análisis de los resultados. Las actividades en las etapas mas tardías tienden a tener un carácter mas específico y de evaluación, para finalizar con actividades de comunicación y documentación.

Bucles

Repetir alguna actividad de diseño correspondiente a la estructura horizontal, con el fin de lograr los ajustes necesarios para lograr el objetivo propuesto en la planificación del diseño correspondiente a la estructura vertical del proceso de diseño. Las iteraciones constituyen un componente esencial de los modelos del proceso de diseño en donde el enfoque esta dirigido a la experiencia consiente.

El diseño puede ser descrito como el proceso de seguir a través de muchos “ciclos de aprendizaje” (proponer-experimentar-aprender) hasta tener la solución del problema. (Lawson & Dorst, 2009)

Esta posibilidad de reformular o cambiar el punto de vista (Schön, 1983) (Fig. 4) a través de las iteraciones indica el acierto, a adoptar una estructura experimental del problema como medio para generar la información, que capacitará la percepción de las dificultades reales y el cambio de la estructura del problema, a fin de superarlas.



Modelo de acción y reflexión (Fig. 4)

Adaptado de Lawson y Dorst, 2009

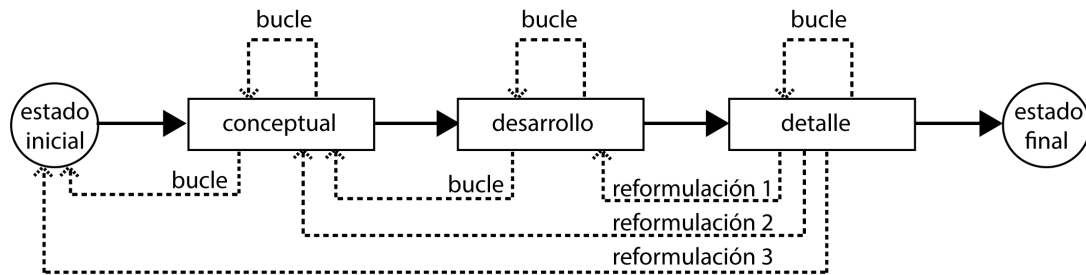
El Bucle constituye un retroceso desde el estado de diseño que no logra el objetivo, a estados de diseño más tempranos con el fin de hacer una iteración. En donde se reformulan los nuevos puntos de vista para enfrentar el problema que conlleva la generación de nuevos movimientos acorde al nuevo pensamiento.

El proceso de iteración, en los modelos de análisis de consumo energético de edificios facilita algunas negociaciones entre la experiencia de diseño y de ingeniería permitiendo la generación de distintas alternativas o re-versiones de la propuesta del

edificio (experiencia de diseño) o de los métodos de cálculo (experiencia de la ingeniería).

Con la información levantada y los resultados del análisis comparativo, se construyó la reinterpretación del modelo proceso de diseño basándose en los hallazgos de los estudios.

2.3.2. Modelo del proceso de diseño contemporáneo

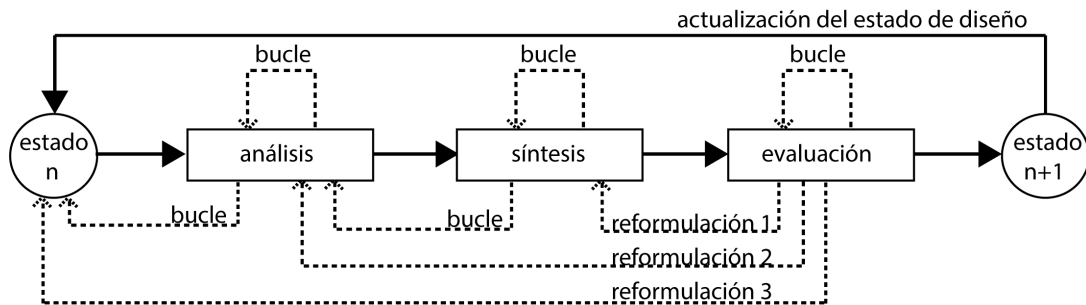


Reinterpretación del proceso de diseño contemporáneo (Fig.5)

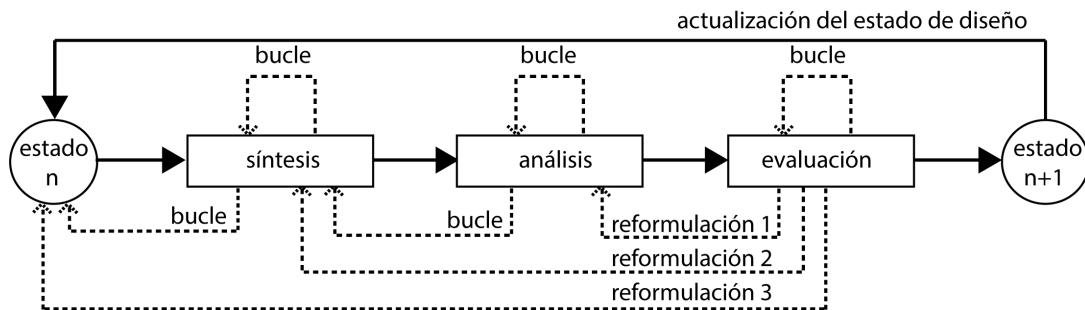
Lo fundamental que rescata este modelo (ver figura 5) es la relación entre sus partes, la posibilidad de iterar actividades todas las actividades descritas. El modelo plantea la comparación entre el estado de diseño actual y el anterior con la posibilidad de producir actualización al resto del sistema a través de la propagación de las información disponible en los estados de diseño. Por lo tanto el modelo opera bajo la lógica de la

segunda estructura “enfocada al proceso” sin embargo informa a la primera a través de los estados de diseño.

En este modelo del proceso de diseño contemporáneo se lleva a cabo la idea de la iteración de cuatro maneras distintas; Reformulación en tres niveles; (Gero & Kannengiesser, 2004) Reformulación de tipo 1 aborda los cambios en el espacio de estados de diseño en términos de variables de estructura o rangos de valores para ellos si el comportamiento real se evalúa no es satisfactoria. Reformulación de tipo 2 aborda los cambios en el espacio de estados de diseño en términos de variables de comportamiento o rangos de valores para ellos si el comportamiento real se evalúa no es satisfactoria. Reformulación de tipo 3 aborda los cambios en el espacio de estados de diseño en términos de variables de la función o rangos de valores para ellos si el comportamiento real se evalúa no es satisfactoria. Como bucles de ajuste entre cada actividad del proceso (Darke, 1979) con el fin de no tener que completar la totalidad del proceso y explorar así espacios de diseño muertos. Como iteraciones dentro de la misma actividad (Gero & Kannengiesser, 2004). En ocasiones el ajuste es mas local, en donde el dominio de las soluciones pertenece al campo de la actividad, sin necesidad de retroceder a etapas anteriores y como actualización del estado de diseño. En el caso que este proceso de diseño fuese una componente local de un sistema de diseño, es necesaria la idea de la retroalimentación y actualización de la información para todos los estados de diseño involucrados en el proceso de diseño contemporáneo. Además, este proceso puede ser descrito a nivel de la segunda estructura enfocada al proceso. Independientemente de el número de etapas por las que el diseño transite estas cambian el enfoque de sus actividades (ver figuras 6 y 7); unas centrada en el problema y el otras en la solución del mismo.



Actividades enfocadas en el problema (Fig. 6)



Actividades enfocadas en la solución (Fig. 7)

2.4. Resumen

La descripción del proceso de diseño a través de una secuencia de actividades pasó de ser un elemento comunicacional a ser considerado un espacio perceptual mas amplio que permite nuevas formas de concebir soluciones de diseño en lugar de repetir procedimientos prescriptivos dirigidos a problemas bien definidos los cuales distan bastante de la realidad, ya que en la practica los problemas son abiertos y se van definiendo a medida que uno lo soluciona. No se puede repetir la misma metodología ya que cada problema es distinto del otro. Por esta razón el proceso de diseño debe ser flexible para que tenga la capacidad de ajustarse a las condiciones de los diferentes problemas. Como he mencionado antes el proceso de diseño posee dos estructuras; la enfocada en el producto que es rígida y la enfocada en el proceso que es flexible. Esta última permite la variación de los estados del diseño para ajustarse al contexto del problema. El ajuste es posible básicamente al cambio de foco, entre un proceso centrado en el problema y otro centrado en la solución. Los enfocados en el problema describen en el inicio actividades de análisis, asimilación o entendimiento del mismo, mientras que los centrados en la solución describen en el comienzo actividades relacionadas a la exploración de soluciones primarias para evaluar el impacto que tienen sobre la totalidad del problema. La primera es criticada por perder espacio de posibles soluciones al acotar tempranamente el problema mientras que la segunda se evalúan soluciones en etapas tempranas las que, si no son medidas en el tiempo, podrían

constituir un atraso y un gasto innecesario de esfuerzo y tiempo. Para concluir, puedo decir que el proceso de diseño contemporáneo tiende a ser mixto, es decir cambia el enfoque según las necesidades de cada estado. El desarrollo de un proceso de toma de decisiones que acompañe al de diseño en las distintas etapas es clave para la adecuada selección de las estrategias que lo articulan.

El foco del siguiente capítulo se centrará en el proceso de toma de decisiones y como este es influenciado por los resultados de los análisis energéticos a los que es sometido durante las etapas de diseño.

3. Proceso de análisis energético y toma de decisiones.

Presentación.

El proceso de diseño contemporáneo es asistido por herramientas de simulación. Estas permiten realizar distintos análisis como los de ventilación, iluminación, acústica, energéticos, térmicos entre otros los que a través de sus resultados informan el proceso de toma de decisiones. Los datos que arrojan estas herramientas proporcionan información para evaluar el comportamiento del edificio con el fin de crear estrategias que respondan a la necesidad de incrementar los ahorros de los recursos energéticos durante el ciclo de vida del proyecto.

Este capítulo centra la investigación en los análisis energéticos y como estos informan la toma de decisiones en las distintas etapas de proceso de diseño. Para ello se realizó un análisis de los componentes involucrados arrojando como resultado preliminar que la información de la edificación, la del clima local y los métodos, cambian roles durante la búsqueda de la mejor solución. Existen distintas metodologías para calcular el consumo energético de una edificación que varían dependiendo del incremento de los requerimientos de cada estado de diseño. En este capítulo se revisaron métodos normativos a través de modelos matemáticos y de modelamiento del consumo energético a través de simulaciones digitales.

Para lograr la mejor solución de diseño, hoy en día la información del edificio y del clima local, alimentan herramientas de simulación las que arrojan resultados que tras un previo análisis informan el proceso de toma de decisiones. Este último es asistido por herramientas de multicriterio como el método basado en valores AHP (Analysis

Hierarchy Process) y el método por ventaja CBA (Choosing By Advantages). Sin embargo dichas herramientas operan bajo la supuesta lógica de cajas negras ya que a un nivel de básico de usuario, se desconocen los motores de cálculo limitando el entendimiento del comportamiento térmico y energético de la edificación. Por la capacidad de adelantar futuros escenarios a etapas tempranas del proceso de diseño, el modelamiento del consumo energético a través de la simulación promete ser una poderosa herramienta para optimizar el diseño y los costos asociados a la inversión inicial y al costo durante su ciclo de vida.

En este capítulo, se elaboró un mapa conceptual que describe la metodología del modelamiento del consumo energético durante las etapas del proceso de toma de decisiones y una posible ruta crítica de la misma. La influencia de los análisis que se le practican a los resultados se ve reflejada en el cambio de foco de la estrategia (centrado en la solución ó en el problema) durante el proceso de diseño.

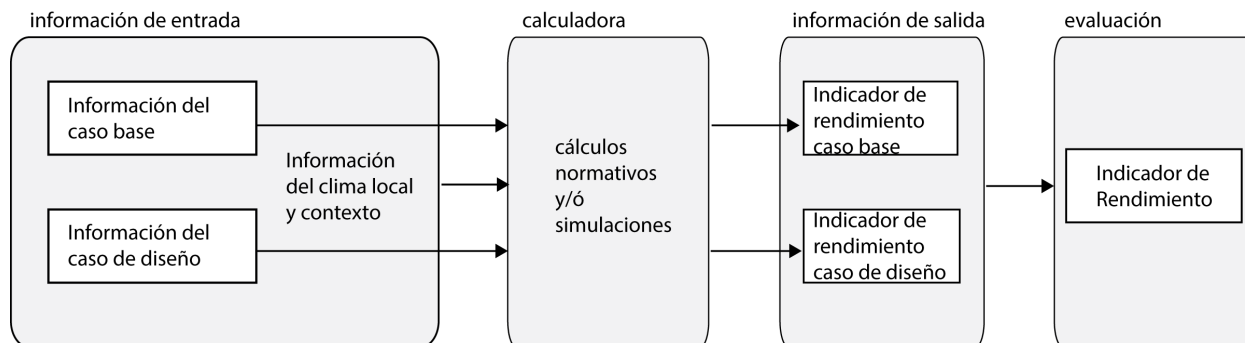
3.1. Modelo de evaluación del consumo energético

Existen diversos modelos de evaluación de consumo energético, desarrollados en su mayoría, por la aplicación de normativas que regulan el comportamiento térmico de los edificios con el fin de satisfacer las necesidades de los usuarios.

Códigos y reglamentos de construcción han contribuido mucho a este enfoque basándose en métodos de especificaciones prescriptivas. Este ya no es el caso debido a que muchos países se están moviendo partes de sus reglamentos y normas para el dominio del rendimiento.

Los modelos de evaluación de consumo energético están compuesto por una secuencia de métodos de cálculo de consumo de energía, que al igual que en el proceso de diseño,

son alimentados por información de entrada y los resultados de aquellos métodos son los datos de salida los cuales son sometidos a análisis comparativos con el fin de evaluar el rendimiento del caso propuesto respecto al caso base de referencia. El modelo de evaluación esta compuesto por dos partes; la primera es el proceso de cálculo del consumo energético (Sanguinetti, Bernal, El-Kaldi , & Erwing , 2010) de ambos proyectos, el propuesto y el base de referencia, y la segunda es el proceso de evaluación del rendimiento del edificio propuesto por sobre el edificio base de referencia. El modelo general de evaluación del consumo energético (ver figura 8) describe el proceso por el que la información de ambos casos y el mismo contexto entran a la calculadora la que permite un cambio cualitativo de los datos. Ya que la información recolectada del caso base y del contexto son de primer orden mientras que la información de salida que arroja la calculadora es información elaborada de segundo orden. A continuación se describe tres partes importantes del proceso que permiten el cambio cualitativo de la información; la calculadora, las ecuaciones y la evaluación.



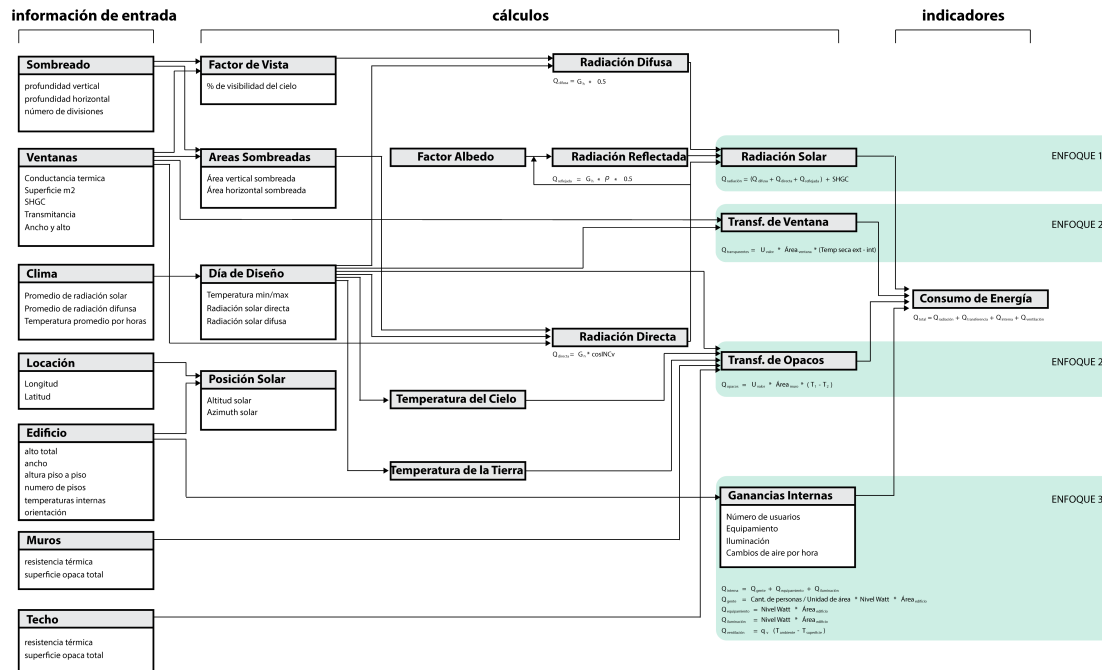
Modelo general de evaluación de consumo energético (Fig.8)

3.1.1. La calculadora.

Se pueden utilizar distintos tipos de modelos de cálculo energético para realizar los análisis, estos describen la relación entre información del edificio y el clima local en distintos niveles de definición. El modelo de la siguiente imagen (ver figura 9), tomado del trabajo de Sanguinetti, Bernal, El-Khaldi, y Erwin publicado el año 2010, describe el cálculo a través de la suposición del equilibrio térmico, lo que significa que la energía térmica perdida o ganada debido a diversas fuentes debe ser igualada por la producción de energía en forma de calor o frío a partir de sistemas pasivos o activos con el objetivo de mantener un rango de temperatura interna que cumpla con lo deseado.

Numerosas datos de entradas se combinan con los datos meteorológicos para encontrar tres fuentes principales de flujo de calor: radiación solar , el calor transmitido a través de las paredes y ventanas, y las ganancias ó pérdidas internas a través de las personas , los equipos, la iluminación y el calor intercambiado durante la ventilación y renovación del aire. Estas entradas están totalizadas para encontrar la energía total que requiere el sistema. Esta información de entrada se pueden agrupar en paquetes de datos de acuerdo con las necesidades de los cálculos que desarrolla el modelo. Algunos de estos datos son constante durante el desarrollo del proceso como los de locación (latitud y longitud) y los de clima (promedio de radiación solar directa y difusa y el promedio de temperatura). Los demás datos contenidos en los paquetes representados en el extremo izquierdo de la figura 9 varían en algún grado permitiendo el ajuste del diseño para lograr el consumo energético deseado. La ubicación y orientación del edificio se utilizan para calcular alturas y azimut solar por cada hora para combinarlas con la geometría del dispositivo de sombreado y las dimensiones de la ventana para encontrar porcentajes de radiación solar directa , que penetra en el edificio. Estos datos se complementan con la información del tiempo de doce días de diseño representativos de cada mes del año , construido en promedios mensuales del archivo de datos de clima, para encontrar la cantidad de calor ganado a través de la radiación solar directa, difusa y reflejada. Las temperaturas del cielo, la tierra y del ambiente exterior e interior se combinan con las resistencias térmica y los valores de conductancia de materiales de la pared especificados por el usuario en una ecuación matriz para el seguimiento de los cambios de temperatura a medida que viaja a través de la sección de pared . Valores U y el coeficiente de ganancia de calor solar , proporcionadas por el fabricante , se utilizan de una manera similar para las secciones de la ventana . Estos valores se multiplican por

sus respectivos ámbitos de fachada y de techo para encontrar en general la energía transmitida como calor. Las ganancias internas de las personas, los equipos y la iluminación se calculan sobre la base de potencia por unidad de área, estos valores se derivan del tipo de actividad que el usuario realice en su interior. Estos valores se obtienen a partir de la tabla de ASHRAE 1 F 30. El intercambio de ventilación se determina a partir de las diferencias de temperatura y valores de conductancia basado en el volumen de construcción y el número de intercambios de aire por hora. En resumen, esta parte del modelo, llamado la calculadora tiene tres tipos de enfoques que están relacionados a una etapa de la calculadora. El enfoque de la primera etapa del modelo (ver figura 6) esta centrado en estimar las radiaciones totales cruzando datos de ubicación y orientación con los días de diseño que sean representativos de cada mes del año. La segunda etapa tiene otro enfoque, centrado en la transferencia de calor a través de los componente de la envolvente y la tercera etapa tiene un enfoque dirigido hacia el calculo de las ganancias internas producidas por las personas en relación a sus actividades y del equipamiento del edificio. Esta secuencia describe un desarrollo incremental en la precisión de la información ya que cada vez es mas especifica introduciendo finalmente información sobre artefactos electrónicos y horarios de ocupación.



Calculadora de consumo energético (Fig. 9)
adaptado de Sanguinetti, Bernal, El-Khaldi, & Erwin, 2010

3.1.2. Las ecuaciones.

Para ejecutar el análisis de consumo energético de los edificios que propone el modelo antes revisado, (ver figura 9), es necesario un set de métodos de calculo que describen los fenómenos físicos con los cuales el edificio interactúa con el contexto. Entrando más en detalle, es necesario someter la información disponible en las distintas etapas a metodologías de cálculo o ecuaciones que nos provean de la información que el estado de diseño requiere para el posterior evaluación y toma de decisiones. Lista de métodos de calculo para el modelo de evaluación de consumo energético de edificios. Cada ecuación estará relacionada con los 3 enfoques de la parte de la calculadora del modelo de análisis de consumo energético.

Equilibrio térmico (Szokolay, 2004)

Un edificio puede ser considerado como un sistema térmico, con una serie de entradas y salidas de calor.

El sistema puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$Q_i + Q_c + Q_s + Q_v + Q_e = \Delta S$$

Donde ΔS es un cambio en el calor almacenado en el edificio. Equilibrio térmico existe cuando la suma de todos los términos de flujo de calor, por lo que ΔS es cero. Si la suma es mayor que cero, la temperatura dentro del edificio está aumentando, o si es menor que cero, el edificio se está enfriando.

flujo de calor por conducción. Enfoque 2 (Szokolay, 2004)

$$Q_c = A \times U \times (T_o - T_i)$$

ganancia de calor por radiación solar. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$Q_s (\text{ventana}) = A \times G \times \theta$$

$$Q_s (\text{opacos}) = q_c \times dTe$$

$$dTe (\text{techos}) = (G \times \alpha - E) R_{so}$$

$$dTe (\text{muros}) = G \times \alpha \times R_{so}$$

$$q_c = \Sigma (A \times U)$$

perdida ó ganancia de calor por ventilación. Enfoque 3 (Szokolay, 2004)

$$Q_v = q_v \times \Delta T$$

$$q_v = 0.33 \times N \times V$$

ó

$$q_v = 1200 \times v_r$$

$$v_r = N \times V / 3600$$

En donde N = numero de cambios de aire por hora

V = volumen

perdida de calor por evaporación. Enfoque 3 (Szokolay, 2004)

$$Q_e = 666 \times e_r$$

e_r = tasa de evaporación

ganancia de calor interna. Enfoque 3 (Szokolay, 2004)

$$Q_i = Q_{\text{gente}} + Q_{\text{equipamiento}} + Q_{\text{iluminación}}$$

$Q_{\text{gente}} = (\text{numero de personas} / \text{unidad de área}) \times (\text{nivel de Watt} / \text{unidad de área}).$

$Q_{\text{equipamiento}} = (\text{nivel de Watt} / \text{unidad de área}) \times \text{área del edificio}.$

$Q_{\text{iluminación}} = (\text{nivel de Watt} / \text{unidad de área}) \times \text{área del edificio}.$

radiación general. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$G = G_b + G_d (+G_r)$$

radiación difusa. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$G_{dv} = G_{dh} \times 0.5$$

$$G_{dp} = G_{dh} \times (1 + \cos \text{TIL}) / 2$$

Cuando $\text{TIL} = 0$ luego $\cos \text{TIL} = 1$

$$(1+1)/2 = 1$$

Cuando $\text{TIL} = 90^\circ$ luego $\cos \text{TIL} = 0$

$$(1+0)/2 = 0.5$$

radiación reflejada. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$G_{rv} = G_h \times \rho \times 0.5$$

$$G_{rp} = G_h \times \rho \times (1 - \cos \text{TIL}) / 2$$

Cuando $\text{TIL} = 0$ luego $\cos \text{TIL} = 1$

$$(1-1)/2 = 0$$

Cuando $\text{TIL} = 90^\circ$ luego $\cos \text{TIL} = 0$

$$(1-0)/2 = 0.5$$

radiación horizontal o normal. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$G_h = G_n \times \cos ZEN$$

$$G_n = G_h / \cos ZEN$$

$$= G_h \times \sin ALT \text{ (como } ALT = 90^\circ - ZEN)$$

radiación vertical o normal. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$G_{bv} = G_n \times \cos INC_v$$

$$= G_h \times \cos INC_v / \sin ALT$$

$$G_{bp} = G_h \times \cos INC_p / \sin ALT$$

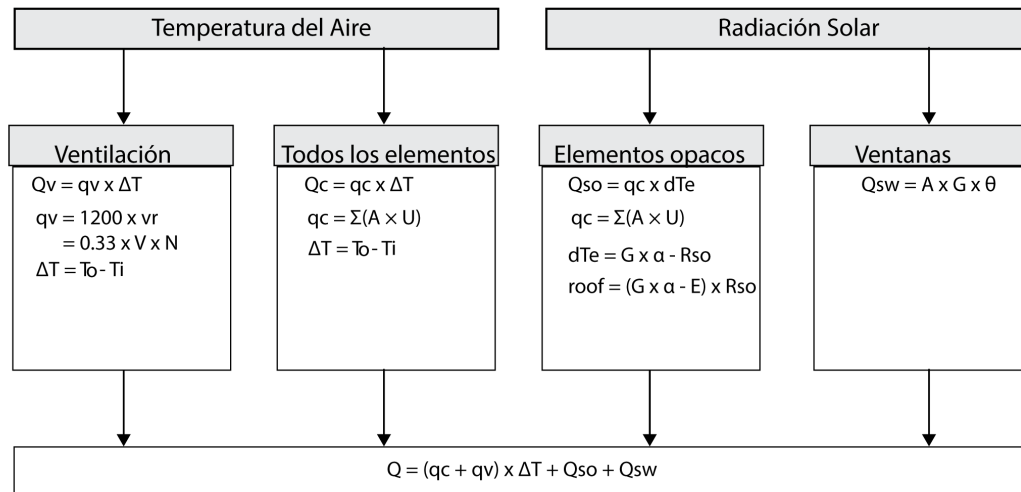
radiación total en pendiente. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$G_p = G_h \times \cos INC_p / \sin ALT + G_{dh} \times (1 + \cos TIL) / 2 + G_h \times \rho \times (1 - \cos TIL) / 2$$

radiación total en vertical. Enfoque 1 (Szokolay, 2004)

$$G_v = G_h \times \cos INC_v / \sin ALT + G_{dh} \times 0.5 + G_h \times \rho \times 0.5$$

También existe otro modelo que propone otra aproximación al análisis de consumo energético de edificios. Describe el flujo de calor dentro y fuera del edificio como un producto de dos fuerzas climáticas; La temperatura del aire y la radiación solar. Las expresiones que se utilizan para el cálculo de estos flujos de calor se resumen en la figura 10. (Szokolay, 2004)



Resumen de las expresiones de flujo de calor en estado estacionario (Fig. 10)

Adaptado de Szokolay, 2004

La formalización de un nuevo conjunto de restricciones y parámetros derivados de los dominios técnicos, como los datos del clima, de los equipos de aire acondicionado o de los elementos constructivos, requieren una etapa específica del proceso de diseño que traduce el conocimiento técnico en reglas activas.

Incrustar estas reglas activas con las restricciones del diseño arquitectónico y de ingeniería, dentro de un modelo de diseño impulsarán el surgimiento de una nueva

generación de herramientas transparentes y flexibles junto con un nuevo campo perceptual del espacio de las soluciones de diseño.

3.1.3. La evaluación.

La segunda parte del modelo general de consumo energético es la evaluación, y consistente en un análisis comparativo entre el consumo energético del caso propuesto con el caso base de referencia. Este último se limita a cumplir solo con la normativa vigente mientras que el edificio propuesto realiza severas mejoras con el fin de dar solución a la problema de diseño existente. Para que esta comparación resulte coherente se proponen ciertas reglas; ambas evaluaciones deben ocupar el mismo simulador, los mismos datos climáticos, las mismas tarifas de electricidad y los mismo horarios de funcionamiento. (ASHRAE 90.1, 2004).

La transparencia en el proceso de evaluación es clave, porque el diseño es un problema perverso que no tiene un resultado cierto o falso, al contrario de los problemas de diseño domésticos. Por esta razón las soluciones son múltiples, unas mejores que otras y es aquí cuando urge la idea de un sistema que soporte la toma de decisiones de manera transparente y definida.

El proceso de toma de decisiones debe ser asistida por un método que entregue soluciones a problemas envueltos por conflictos de interés y objetivos múltiples.

Al decidir qué alternativa material es más sostenible que otra, los interesados tienen que seleccionar un método para su proceso de toma de decisiones que toma como base los resultados de las evaluaciones de alternativas de diseño. Los métodos constituyen el medio que soporta nuestras decisiones ya que en definitiva alteran el estado de diseño durante el proceso. Los métodos utilizados como sistema de soporte del proceso de

toma de decisiones (Pomero & Adam, 2004) tienden a ser de multi-criterio. Estos últimos asignan pesos de importancia relativa a los criterios. Estos pesos reflejan una parte importante del cerebro de la toma de decisiones (Brans & Mareschal, 2005). Dentro de las herramientas de multi-criterio podemos encontrar dos tipos de metodologías; el primero es un método basado en valores llamado AHP (Analysis Hierarchy Process) y el segundo es un método basado en las ventajas de los atributos CBA (Choosing By Advantages).

El primero (AHP), es un método de análisis de toma de decisiones cuyo enfoque está basado en el valor (en este caso el valor es sobre la definición de preferencias) que se utiliza comúnmente en los análisis de la sostenibilidad.

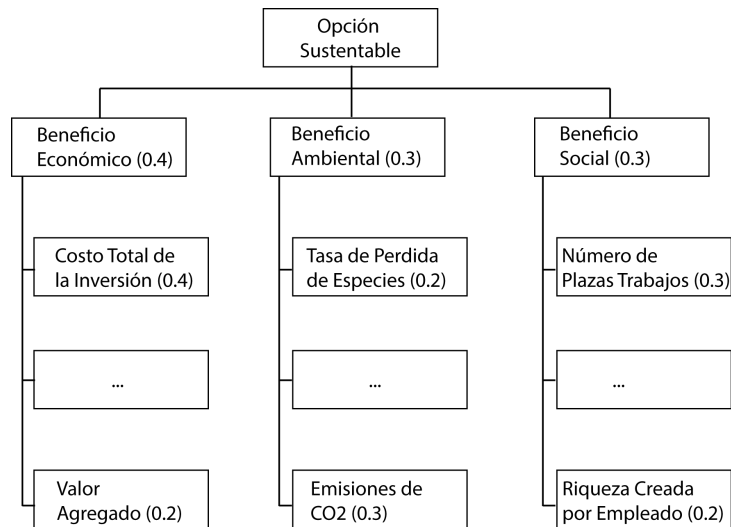
Cuando se aplican métodos basados en el valor, los siguientes pasos se deben seguir:

- (1) Identificación de las alternativas.
- (2) Desarrollo de criterios de decisión sostenibilidad
- (3) Desarrollo de puntaje de factores,
- (4) Desarrollo del factor de ponderación,
- (5) el análisis de sensibilidad, para hacer frente a la incertidumbre. La Figura 12 ilustra cómo estos métodos utilizan pesos de factores.

El paso (2) mide la importancia relativa de los factores y preferencias de las alternativas a través de matrices de comparación por pares, que se recombinan en una calificación global de alternativas utilizando el método de valor propio. El peso de los factores de la toma de decisiones se refiere a la fuerza de la preferencia de un factor sobre el otro en la siguiente escala:

1. igualmente preferida
3. preferencia débil

- 5. preferencia fuerte
- 7. preferencia demostrada
- 9. preferencia absoluta



Ponderación de pesos de los factores (Fig. 11)

Adaptado de Arroyo, Tommelein, Ballard, 2012

Esto demuestra que este método de proceso de factores de ponderación es subjetivo. Cuando se utilizan estos métodos los interesados tienen que decidir qué es más importante: el aspecto económico, social, o medioambiental de la sostenibilidad. Esto lleva a las preguntas conflictivas, tales como: ¿qué es más importante al elegir un material: impactos en la salud humana, consumo energético, o el coste del ciclo de vida?. Esta pregunta tiene un alto nivel de abstracción; no tiene un significado particular para un contexto de decisión determinada. Por lo tanto esta sujeto a la interpretación de cada participante del proceso. Mediante el uso de este enfoque en el proceso de la toma de decisiones no se resaltan las diferencias entre las alternativas, y por lo tanto las decisiones no están ancladas a hechos relevantes sino a preferencias subjetivas.

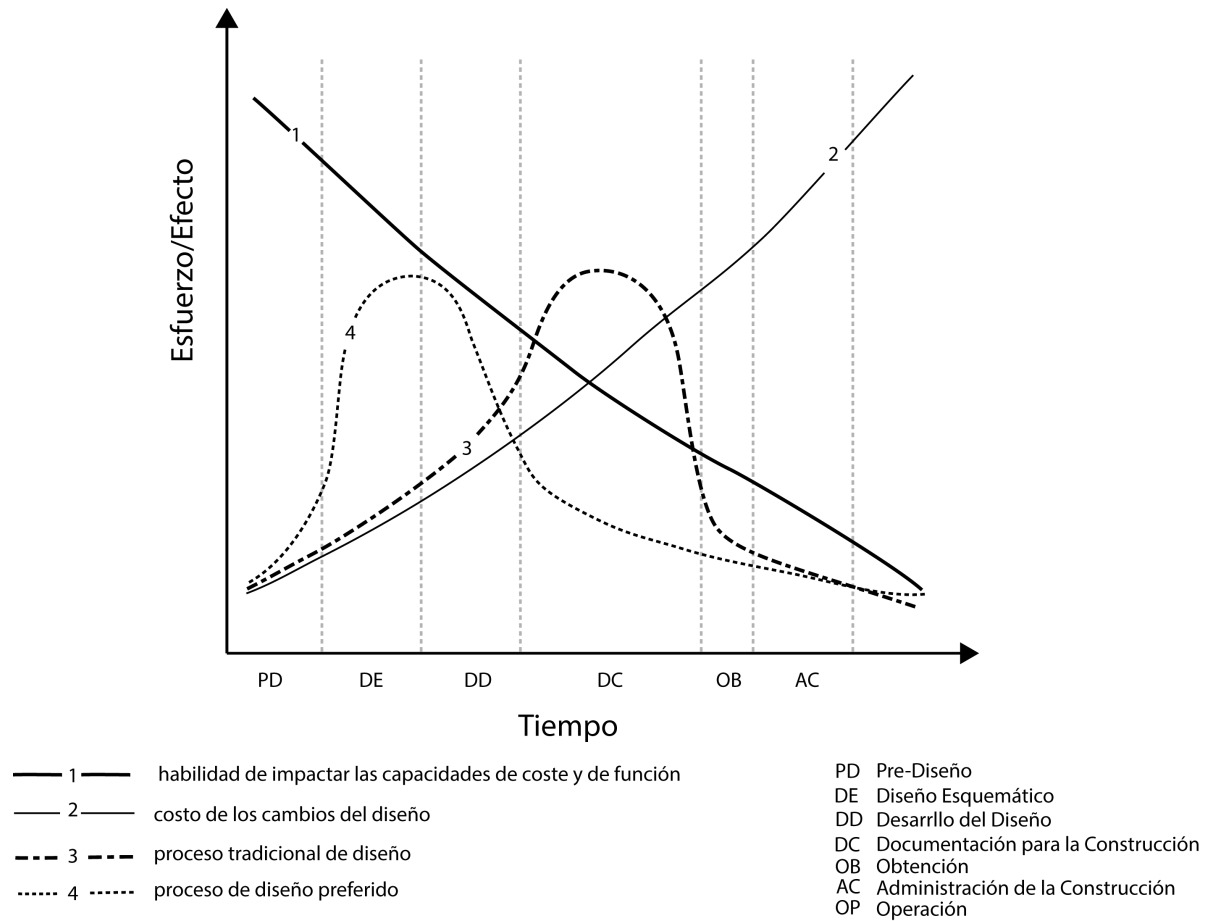
CBA (Choosing By Advantages) es un sistema de sonido para tomar decisiones utilizando vocabulario bien definido para garantizar la claridad y la transparencia en el proceso de toma de decisiones (Parrish & Tommelein , 2009)De acuerdo con este sistema, es importante identificar los factores que revelan diferencias significativas entre las alternativas, no se trata de qué factor será importante en la decisión. Para describir cómo utilizar CBA para la selección de una alternativa sostenible en la industria AEC; usamos términos descritos por (Arroyo, Tommelein, & Ballard, 2012) en la Tabla de definiciones de CBA (ver figura 12)

TERMINOS	DEFINICIÓN
Alternativa	Dos o mas métodos constructivos, materiales, diseños de edificios o sistemas construc- tivos, de los cuales uno será elegido.
Atributo	Una característica, cualidad o consecuencia de alguna alternativa.
Ventaja	Un beneficio, una ganancia o mejora. Especialmente una ventaja es la diferencia de beneficios entre los atributos de dos .alternativas
Factor	Un elemento, parte o componente de la decision. Para la evaluación de los factores de sostenibilidad debe representar los aspectos económicos, sociales y ambientales. Es importante notar que CBA considera el dinero por separado de otros factores.
Criterio	Una regla de decisión, o una directriz general. Un criterio "debe" que representa las condiciones que cada alternativa debe satisfacer, o un criterio 'querer', que representa las preferencias de los responsables de una o múltiples decisiones.

Tabla de definiciones de CBA (Fig. 12)

Adaptado de Arroyo, Tommelein, Ballard, 2012

Con un sistema que soporte la toma de decisiones, la evaluación no solo representa el escenario final del proceso, si no que puede constituir una poderosa herramientas que evalúe los distintos estados de diseño. De este modo, se presentan las condiciones para adelantar los análisis a etapas tempranas en donde el efecto de los esfuerzos son mas altos que en etapas avanzadas. La idea es mover la curva 3 a las posición de la curva 4 en el grafico (ver figura 13)



Curva de MacLeamy (Fig. 13)

Adaptado de Eastman, Teicholz, Sacks y Liston , 2011

3.2. Limitaciones del modelo de análisis energético

Un modelo es generalmente un intento de simular la operación de energía de un proyecto todavía-sin construir. Como tal, muchas incógnitas acerca de ese edificio deben ser estimados para el modelo. Un conjunto típico de los insumos de modelado puede incluir lo siguiente paquetes de datos como los del clima, la envolvente, las cargas internas, los horarios, los sistemas entre otros. Para construir un modelo tendrán que ser ingresado cientos de datos. Algunos programas fáciles de usar han incorporado valores estándar predeterminados de la industria que aceleran la creación de los primeros modelos. La responsabilidad por la exactitud de estas entradas reside en los diferentes miembros del equipo. La consigna de cualquier proceso de simulación es "entra basura , sale basura". El equipo tiene que asumir la responsabilidad conjunta para asegurar que los insumos son razonables.

3.2.1. Salidas y validación

Una vez que el modelo está construido, es el momento de ejecutarlo y ver si los resultados son creíbles. A veces la salida o conclusiones están lejos de la realidad física. El informe de salida debe incluir el uso de energía por mes y por año para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, sistemas mecánicos, iluminación, cargas de enchufe, y otras fuentes de consumo eléctrico (como ascensores). El informe debe mostrar la calefacción y el consumo de refrigeración mediante la construcción de componentes, diciendo cuánto se debe a las paredes, techos, ventanas, la infiltración, el aire de ventilación, etc. Esto nos guía a buscar las áreas donde podemos lograr los mayores ahorros.

Una vez que el modelo de construcción de base está en funcionamiento y dando resultados creíbles, es el momento de establecer los elementos para ser examinados de forma paramétrica. Las decisiones que se deben tomar sobre el edificio propuesto están continuamente informados por la extraordinaria capacidad del modelo robusto para responder la pregunta "qué pasaría si".

3.2.2. Exactitud del modelo

Como dice el refrán, el mapa no es el territorio. Ningún modelo podrá predecir con exactitud el uso real de energía del edificio; hay demasiadas variables para controlar. El edificio no va a ser construido exactamente como se diseñó, esto puede tener un efecto especialmente grande en las fugas de aire, si eso es un factor importante dentro de la estrategia de diseño (como puede ser en los edificios, dominados por la piel). Los ocupantes usarán el edificio de manera diferente de lo previsto. Pueden utilizar el edificio para más horas o utilizar menos equipos, por ejemplo. Durante años extremos, el clima puede variar de 20 a 30% a partir del promedio. Existen diversos software o cajas negras que modelan el consumo energético y utilizan métodos simples hasta metodologías mas sofisticadas.

3.2.3. Limitaciones del software.

Muchos software están disponibles. Algunos se venden por los distribuidores de equipos de climatización, algunos son libres de los servicios públicos del gobierno, y algunos están escritos y vendidos por el sector privado. Ninguno es perfecto, y es importante entender las limitaciones particulares de cada uno. Saber si el software propuesto para el modelado es apropiado para el edificio que se va a crear. Si el edificio utilizará sistemas avanzados de HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning), como la

calefacción radiante y refrigeración integrada estructuralmente, puede el software modelarlo de forma explícita?. ¿Puede modelar la ventilación natural y la recuperación de calor entálpico? La mayoría de los programas de modelado de uso común tienen problemas con muchas de estas situaciones, asegúrese de que usted sabe lo que está haciendo antes de comprometer importantes recursos en las simulaciones.

3.3. Influencia de la simulación sobre la toma de decisiones en las distintas etapas de diseño.

La mayoría de las simulaciones energéticas de los edificios requieren un diseño definido del sistema mecánico, que los hace inadecuados para el modelado del consumo energético en etapas tempranas. En respuesta, los arquitectos y los modeladores de energía están recurriendo al modelado de “una caja de zapato”, con una o sólo unas pocas zonas térmicas. Esta metodología que básicamente consiste en evaluar un modelo sintetizado para ir en busca de estrategias de ahorro de energía que ayuden a prevenir los grandes errores que normalmente suceden en el primer día de un proyecto. Los errores mas comunes son que la intuición y la experiencia sugieren un cierto ensamble que ahorrará más energía, pero la intuición puede estar equivocada. Puede existir otro ensamble que ahorre más. Cuando se empieza poner el lápiz en el papel, involuntariamente direcciona al proyecto a esquemas de energía que pueden o no tener sentido. Otro error común es la interpretación del cliente sin considerar otras alternativas.

Durante el proceso normal, sin la evaluación de la “caja de zapato” se van dimensionando los sistemas mecánicos y al final se debaten los puntos más finos de los

mecanismos de sombreado. A esta altura se han dejado atrás las grandes oportunidades de ahorro de energía.

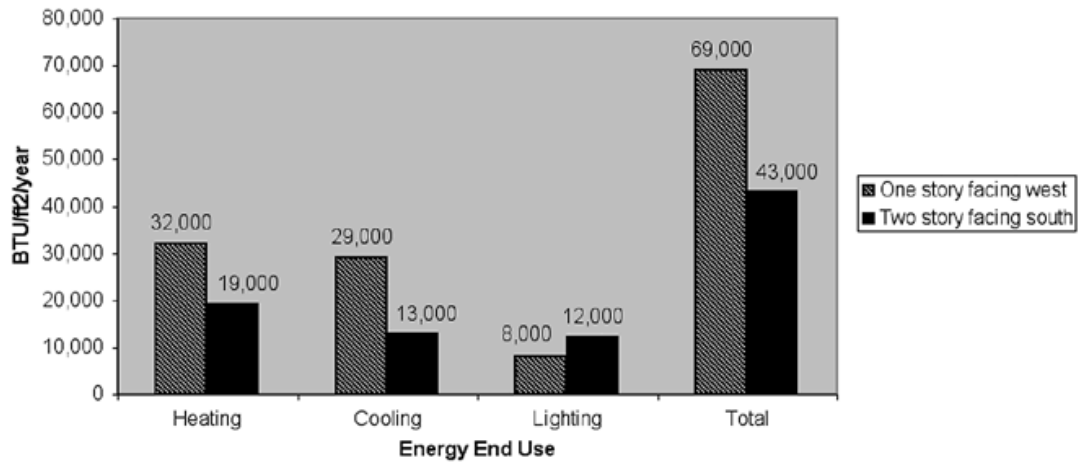
En muchos casos, los arquitectos y propietarios de edificios no tienen experiencia con el modelamiento de la energía y no saben cómo aprovechar esta poderosa herramienta para informar el proceso de diseño y toma de decisiones. La “caja de zapatos” si se utiliza correctamente, puede ayudar a optimizar el diseño del edificio y permitir que el equipo de diseño priorice la inversión en las estrategias que tendrán el mayor efecto sobre el consumo de energía del mismo. La metodología expuesta en esta parte de la investigación busca poner a los involucrados en el proyecto en condiciones de dirigir con eficacia el proceso de diseño y evaluar la validez de la solución presentada. La industria de la construcción ecológica (Green Building) se centra demasiado en el modelado de energía para predecir el rendimiento, y no para tomar decisiones de diseño temprana. Existe bastante valor en el modelo de un edificio por construir, es decir en las etapas tempranas de diseño sin embargo este valor podría perderse luego de especificar la masa, la orientación, el diseño de la envolvente, de los sistemas, y de dedicarle cientos de horas de trabajo con la única finalidad de mantener el marcador. Además de la normativa y las clasificaciones de eficiencia energética hay razones más fundamentales para modelar el consumo de energía. Veo el modelo energético como un proceso continuo de simulaciones digitales que se vuelve más detallado y refinado (y, con suerte, preciso) a medida que el diseño progresa. Existe una tendencia en la que el modelamiento de energía se hace operativo tan tarde en el proceso de diseño que las oportunidades para usarlo como guía de las decisiones se han perdido, y más que un ejercicio que se realiza al final, puede ser una herramienta de gran alcance en un proceso de diseño integrado.

A continuación se revisa el modelamiento energético podría ser utilizado a lo largo de las etapas de diseño. Este relato utilizará un ejemplo ilustrativo tomado del artículo “Understanding the Energy Modeling Process: Simulation Literacy 101” (Rosenbaum, 2003)

3.3.1. Simulación en etapa conceptual.

Durante el diseño conceptual del proyecto, el modelado de energía puede hacer un valioso aporte. En esta etapa, un profesional experto podría reunir rápidamente un modelo simplificado del edificio, una “caja de zapatos”, tal vez con una sola zona por importancia del tipo de ocupación (por ejemplo, aulas, laboratorios, u oficinas), que puede ser utilizado para probar los efectos de la ubicación del sitio, la masa del edificio y la orientación del mismo. Imagínese la comparación de dos conceptos de diseño, uno de una sola planta, edificio que mira al oeste en una parte plana, abierta del sitio, y el otro un diseño de dos pisos parcialmente construido en una ladera orientada al sur. Resultados pueden verse en la figura 14.

Este tipo de retroalimentación está raramente disponible al principio del proceso de diseño, lo cual es irónico ya que esto es a menudo donde están las mayores oportunidades. Muchos modeladores son reacios a construir un modelo cuando hay tanto que aún se desconoce. Sin embargo, una buena experiencia profesional combinada con los valores predeterminados incorporados en algún software de modelado (como eQuest y Energy-10) puede producir rápidamente un modelo que podría no ser terriblemente preciso, pero es perfectamente adecuado para la comparación de alternativas escenarios relativos diferencias son más importantes que precisión mortal.



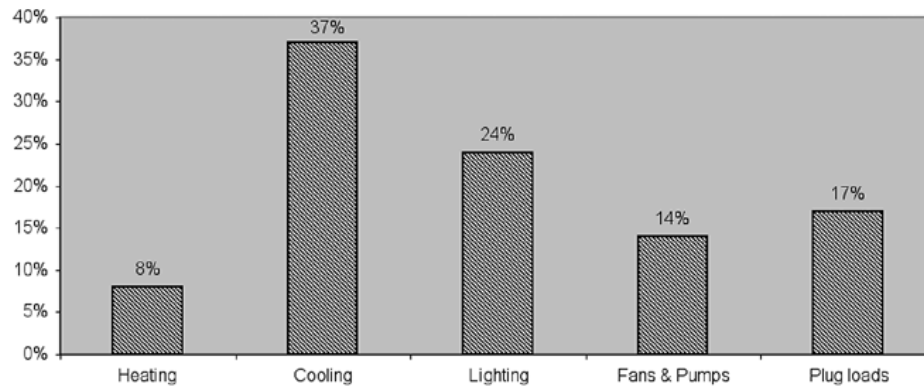
Resultados del modelo masa y orientación (Fig. 14)

Tomado de Rosenbaum, 2003

3.3.2. Simulación en la etapa esquemática

Durante el diseño esquemático, el modelado de energía permite a aquellos que participan en el proceso de diseño optimizarlo para centrar su atención en las estrategias de ahorro de energía más prometedoras. Al ver cómo el consumo de energía de un edificio baja por el tipo de combustible, la tarea, y el componente de construcción permite que el equipo de diseño se centre en los principales motores del consumo de

energía. Como ejemplo, imagine que el modelo de diseño esquemático muestra los resultados de la figura 15.

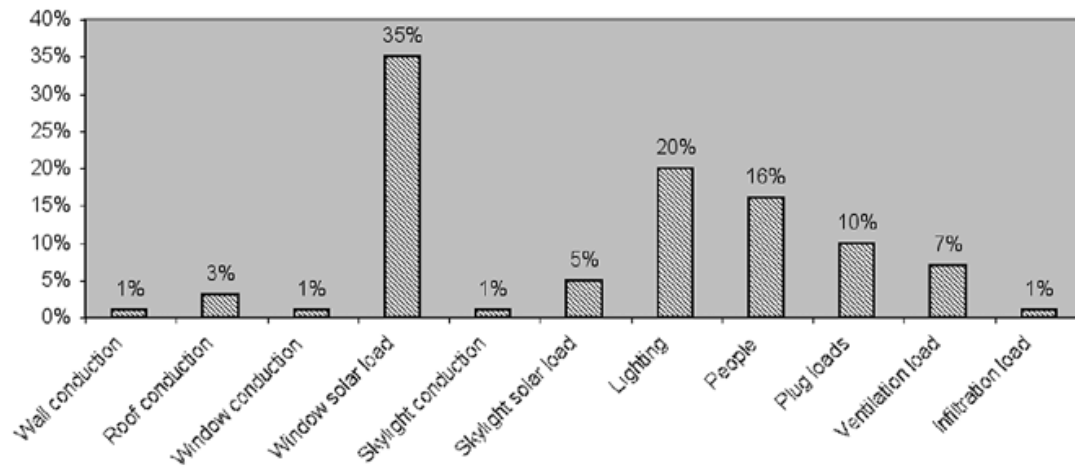


Resultados de cargas de consumo (Fig. 15)

Tomado de Rosenbaum, 2003

El calentamiento total es una pequeña porción de la factura de energía, por lo que el enfoque se puede cambiar a la refrigeración y la iluminación. Sería conveniente examinar estrategias que reduzcan las cargas de enfriamiento. Sabemos que si las cargas de refrigeración caen, entonces la energía necesaria para ventiladores y bombas también caen, ya que se mueve menos energía alrededor del edificio. También sabemos que la energía de la iluminación tiene que ser eliminada por el sistema de refrigeración, por lo que la reducción de la energía de iluminación también reducirá la de

refrigeración. Un siguiente paso lógico es mirar a la descomposición de la carga de refrigeración para el edificio, lo que puede verse como la Figura 16.



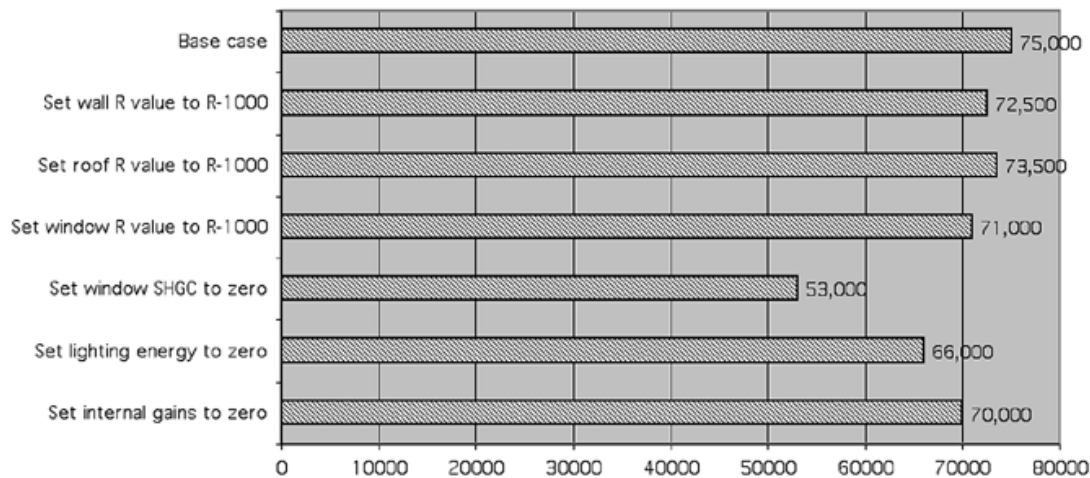
Carga total de enfriamiento por componentes (Fig. 16)

Tomado de Rosenbaum, 2003

Puesto que los dos mayores componentes de la carga de refrigeración son la ganancia solar a través de las ventanas y tragaluces y la ganancia de calor de la iluminación, las estrategias para examinar pueden incluir: una orientación diferente edificio, iluminación natural, iluminación más eficiente, los niveles de iluminación más adecuados, mejores controles de iluminación, acristalamiento con un menor coeficiente de ganancia de calor solar, y el sombreado para el glaseado.

3.3.3. Simulación en la etapa de desarrollo

Durante la etapa de desarrollo, el modelado de energía permite hacer estudios paramétricos. Eliminación paramétrica es una técnica de diagnóstico que permite una mejor comprensión de la utilización de energía de cada componente de construcción. Una serie de simulaciones se realizan en el que un componente de consumo de energía se pone a cero en un momento. Cuando los resultados son expuestos, emerge una imagen más clara de cómo el edificio utiliza la energía. Tal vez nuestro modelo temprano nos llevó a orientar nuestro edificio para que la mayor parte del acristalamiento se enfrenta a sur. Por alguna razón (tal vez es en un barrio histórico), no hemos podido incluir sombreado exterior del edificio. La figura 17 es un ejemplo de eliminación paramétrica para la construcción:



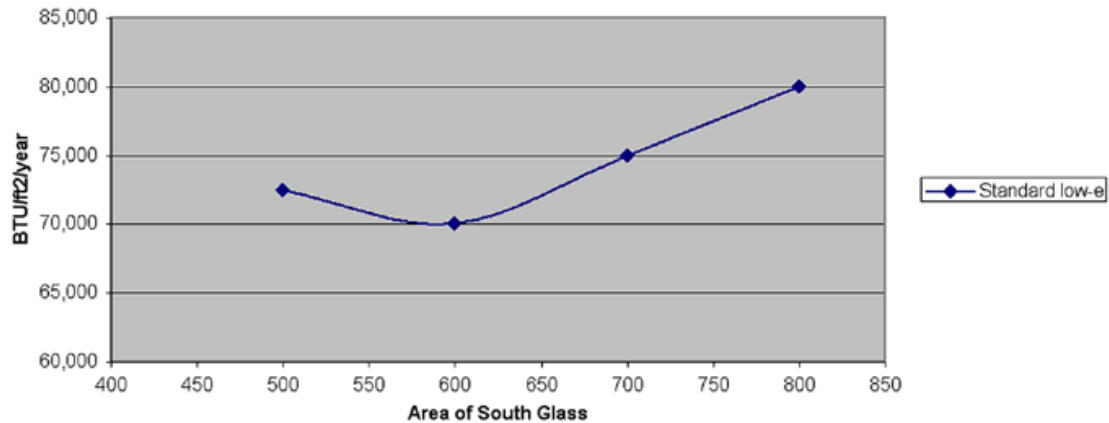
Eliminación paramétrica (Fig.17)

Tomado de Rosenbaum, 2003

Cuanto mayor sea la diferencia entre la longitud de la barra para el caso base y la longitud de cualquier barra posterior, más afecta el uso del componente en el total de energía del edificio. Podemos ver en este gráfico que el mayor impacto es de cambiar el coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) del cristal de la ventana, que es la fracción de la energía que incide sobre el cristal que se mete dentro. Este resultado nos dice que si fijamos el SHGC a cero, el uso de energía del edificio se reduciría en un 29%. El consumo de energía de este edificio está dominada por su carga de refrigeración, que está dominado por la ganancia de calor solar a través del cristal de la ventana. El

diseñador debe mirar a la cantidad y tipo de vidrio, ya que el sombreado adecuado ha sido descartada por otros motivos. El segundo mayor impacto proviene de ajuste de la energía de iluminación a cero. Esto nos dice que debemos buscar oportunidades para reducir la potencia de iluminación y aplicar mejores controles de iluminación, y para ver si podemos aumentar la iluminación natural eficaz sin añadir más carga de enfriamiento debido a la ganancia solar.

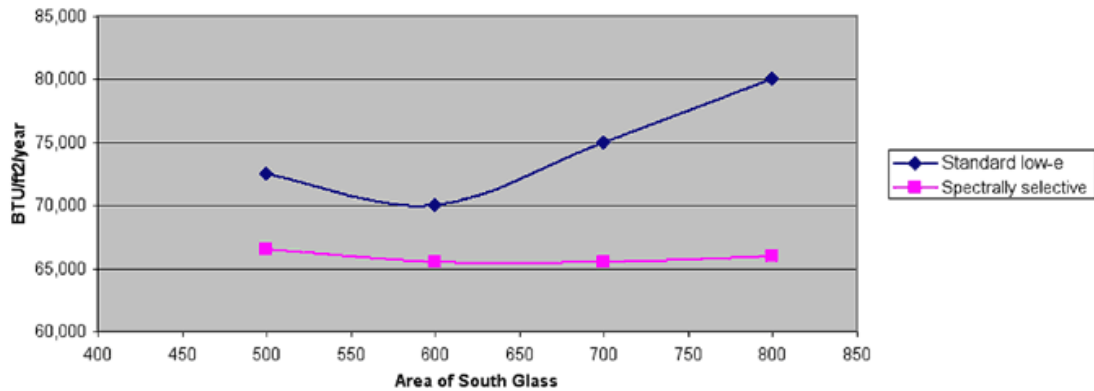
Podemos ver que el aumento del valor de aislamiento de las paredes, las ventanas y el techo del caso base, todos tienen efectos modestos sobre el uso de energía. Esto nos permite saber que la inversión adicional en el aislamiento no es una prioridad en comparación con otras estrategias. Este resultado nos lleva a estudiar si hemos optimizado el tipo y la cantidad de cristales en el edificio, por lo que debería hacer otro tipo de estudio paramétrico. Aquí guardamos todo lo relacionado con la constante construcción, pero variamos el área de cristal. El edificio del caso base dispone de 700 pies cuadrados de vidrio orientado al sur. Si optamos por mirar a una baja emisividad, acristalamiento de argón-llenado estándar, los resultados podrían verse como la Figura 18.



Uso anual de la energía v/s área vidriada fachada norte (Fig. 18)

Tomado de Rosenbaum, 2003

Podemos ver que hay un área óptima de vidrio sur en alrededor de 600 pies cuadrados. Esto puede deberse a que la carga de enfriamiento se reduce cuando el vidrio se reduce 700-600 pies cuadrados, sin embargo, 600 pies cuadrados es todavía suficiente para la luz del día también. Si nos gusta mucho el cristal adicional por otras razones, debemos mirar a un acristalamiento espectralmente selectiva que reduce sustancialmente el SHGC, aumenta el valor R ligeramente y disminuye la transmisión de luz visible ligeramente. (Ver Figura 19).

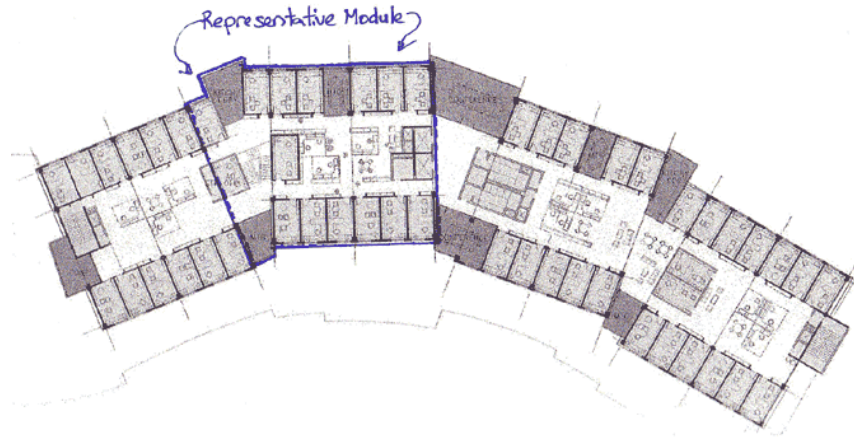


Uso anual de la energía v/s área vidriada fachada norte (Fig. 19)

Tomado de Rosenbaum, 2003

El acristalamiento más eficiente tiene un área óptima diferente, y se obtiene un menor consumo de energía en cada área estudiada. La carga de enfriamiento se reduce notablemente, y la luz del día sigue siendo eficaz. Sin embargo, el acristalamiento añadido tiene un costo, tanto en costo por pie cuadrado de vidrio y en el área adicional de la ventana. Este estudio nos permite sopesar los mayores ahorros anuales contra el costo por adelantado adicional. Utilizando modelos de energía de esta manera a menudo pone de relieve cómo cada incremento adicional de la eficiencia energética generalmente produce un incremento más pequeño de los ahorros. A veces el ahorro en otros sistemas de capital compensaron el aumento de la inversión (por ejemplo, actualizaciones de la envolvente en un edificio clima-frío podrían permitir la eliminación de la calefacción perimetral).

En un gran edificio con elementos repetitivos, una manera de simplificar el proceso de modelado cuando se hace análisis paramétrico es modelar sólo una fracción representativa del edificio. Por ejemplo, un edificio con aproximadamente 160.000 pies cuadrados de espacio de oficinas puede ser modelado usando una rebanada representante del edificio que era 1/24 de la superficie real (ver el diagrama a figura 20).

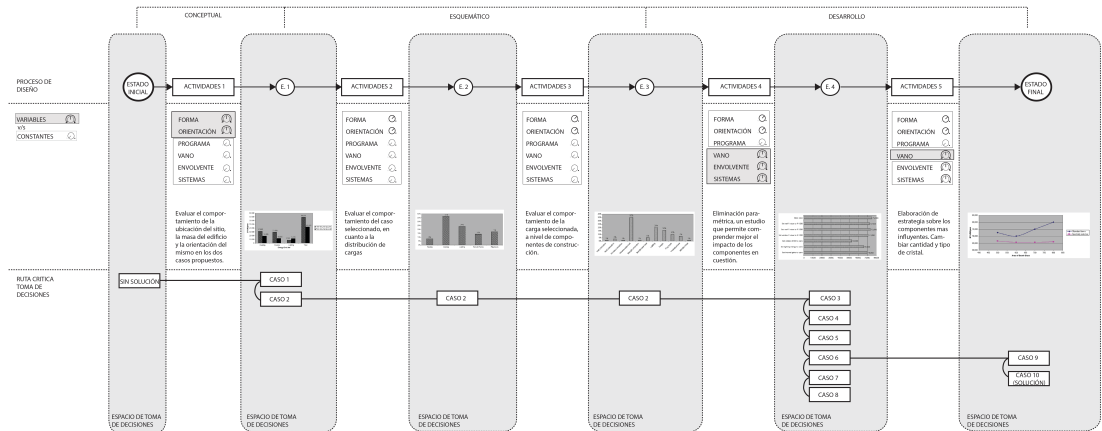


Fracción representativa del edificio (Fig. 20)

Tomado de Rosenbaum, 2003

3.4. Mapeo de la influencia de los resultados en la toma de decisiones.

El proceso de modelamiento del consumo energético a través de herramientas de simulación permiten la optimización de los recursos a través de estrategias de diseño que enfocan el análisis en las mayores cargas, donde existen los ahorros mas prometedores. Dichas herramientas de simulación entregan resultados los que tras analizarlos, fundamentan la toma de decisiones en las distintas etapas del proceso. Durante este proceso, la información del modelo cambia el rol dependiendo de los requerimientos de cada estado de diseño como se muestra en la figura (ver imagen 21). Es decir pasa de variable a constante y vice-versa con el objetivo de lograr ajustes. A continuación se describe el mapa conceptual del proceso de modelamiento energético . Este fundamenta la toma de decisiones en dos niveles, la selección de una(s) de las alternativas ya exploradas y la elección de la estrategia para guiar la futura exploración.



Mapeo del modelamiento del consumo energético (Fig. 21)

3.5. Resumen

El modelo de análisis energético describe dos niveles de información; el primero corresponde a los datos recolectados que describen el edificio y el clima local. Esta información de primer orden es utilizada como datos de entrada para elaborar a través de cálculos normativos información de segundo orden que asiste proceso de toma de decisiones. La información de primer orden se agrupa en paquetes comunes que contienen datos acerca de la ubicación, orientación, masa, envolvente, sistema y cargas interna del proyecto. Con la información disponible de cada paquete se elaboran estrategias acerca de la información de segundo orden que se necesita para tomar decisiones. El nivel de resolución de las variables disponibles en los paquetes dependen del estado de diseño en el que se realicen los análisis. El flujo de información sufre transformaciones cualitativas al cambiar de orden y cuantitativas al incrementar el nivel de detalle del proceso de diseño. Este flujo debe ser guiado por la estrategia seleccionada para informar la toma de decisiones durante todo el proceso de diseño. Actualmente se utiliza el modelamiento energético en etapas finales del proceso de diseño con el único fin de evaluar el comportamiento para elaborar un índice de desempeño normativo. La necesidad de proponer soluciones sustentables van mas allá de acatar la normativa térmica local vigente si no que con las necesidad de reducir la huella de CO2 del ciclo de vida del edificio.

La evidencia sugiere que la integración de estrategias sustentables en las etapas tempranas del proceso de diseño esta guiada por el conocimiento y la experiencia a través de los precedentes; mientras que en las etapas avanzadas del mismo se apoyan en herramientas de análisis; desde métodos simples hasta herramientas mas sofisticadas.

Para cambiar esta tendencia se propone la metodología del modelamiento del consumo energético a través de simulaciones digitales en etapas tempranas que alimenta con información que retroalimenta el proceso para decidir la estrategia a desarrollar. Luego estas mismas herramientas serían generalmente utilizadas para comprobar y probar las estrategias de diseño. El papel de las herramientas se vuelve más importante en la asistencia a las decisiones de diseño cuando existe un escenario con alto nivel de incertidumbre ya que permite la evaluación de un espectro mas amplio de soluciones incrementando el nivel de confianza al momento de la toma de decisiones. Esta ultima es asistida por herramientas de multicriterio que ofrecen metodologías que soportan el proceso basados en valores o en la selección del mejor según criterios establecidos.

4. Caso Estudio Casa FENIX

Presentación

Con el fin de referenciar los análisis anteriores en un caso real, este capítulo revisa un caso de estudio llamado Casa FENIX el que fue concebido en los talleres del departamento de Arquitectura de la USM a cargo de la académica Nina Hormazabal con el fin de participar en el Solar Decathlon Europe 2014. Este proyecto describe un proceso de diseño de una vivienda sustentable para una familia de 4 personas en la ciudad de Valparaíso que responde a una situación de emergencia o catástrofe como terremotos, aluviones, incendios entre otras., en donde el manejo del recurso energético es clave en el proceso de diseño ya que ejecuta estrategias energéticas pasivas para mantener un nivel adecuado de confort de las personas afectadas. Para evaluar dicha estrategia, se desarrolla un proceso de simulaciones a través de ensayo y error de los distintos casos propuestos. Con los datos arrojados por el proceso de análisis energéticos y térmicos realizados con el software DesignBuilder se elaboró un mapa conceptual que describe la ruta crítica junto con el historial de los análisis que soportan y validan la toma de decisiones en las distintas etapas del proceso. (Fenix, 2014)

4.1. Casa FENIX

Esta basado en un proceso de diseño enfocado en situaciones de catástrofes, que entrega estrategias de eficiencia energética para asegurar la calidad de vida como factor clave de una reconstrucción sustentable.

Casa FENIX consta con cuatro conceptos principales; modular, progresivo, flexible y asequible.

La estructura básica de la vivienda y sus componentes serán configurados para cumplir con una estrategia de diseño solar pasiva que depende del clima local específico en donde se instalará.

Utiliza un diseño pasivo impulsado por un modulo llamado espacio solar, que actúa como motor de la energía de la casa completa y es el elemento espacial clave que permite la articulación de diferentes modulaciones.

Casa FENIX es un diseño secuenciado que consta de cuatro módulos, cada uno de 11 m² los cuales se adjuntan progresivamente y de fácil montaje para el período posterior al desastre, para formar una vivienda final que mide 60 m².

4.1.1. Modular

Casa FENIX evoluciona desde un módulo básico de supervivencia a un complejo Eco-village de viviendas. Este proceso cubre las etapas de emergencia, alivio y reconstrucción. La secuencia evolutiva de la vivienda consta de los siguientes cuatro módulos; modulo de sobrevivencia, modulo mecánico, modulo para vivir y el modulo de espacio solar.

Modulo de sobrevivencia. Esta es la respuesta rápida e inicial para el período de emergencia, inmediatamente después de que golpea una catástrofe. Su objetivo principal es proporcionar refugio, seguridad y una solución de calidad a la familia afectada.

Es un modulo funcional que posee características antisísmicas, que establece el lenguaje estructural básico que más tarde será seguido por los otros módulos. Esta módulos tiene una estrategia de diseño pasivo en términos de rendimiento de los

edificios sobre, ventilación natural, las ganancias internas y masa térmica. Posee Un sistema fotovoltaico pequeño que proporciona electricidad para la iluminación.



Modulo de supervivencia (Fig.22)

Tomada de Casa FENIX, 2014

Modulo mecánico Este es el primer módulo que se adjunta al de supervivencia como una progresión durante el período de alivio. Esta compuesto por los servicios de baño y cocina junto con el núcleo técnico.

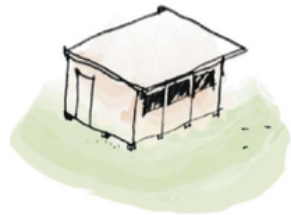
El módulo mecánico es el módulo más pesado y más complejo, es el motor Casa FENIX. No sólo mantiene los sistemas para la unidad de vivienda básica, sino que también proporciona las conexiones que unirán la casa a las demás en un sistema eléctrico interconectado. La idea es que a largo plazo se cree una cuadrícula de red eléctrica y un sistema de calefacción solar que soporte los requerimientos energéticos de la Villa ecológica.



Modulo mecánico (Fig.23)

Tomada de Casa FENIX, 2014

Modulo para vivir. Una vez normalizado el periodo de catástrofe, comienza la etapa de reconstrucción en la que se adjunta a los dos módulos anteriores uno nuevo que permite ampliar las soluciones a los problemas habitacionales transformando la suma de los tres módulos en un hogar definitivo.



Modulo para vivir (Fig.24)

Tomada de Casa FENIX, 2014

Espacio solar. La estrategia de diseño solar pasivo, permite la regulación del clima interior con el clima exterior mediante la articulación de los diferentes módulos. El espacio solar es un espacio flexible concebido como módulo base al que se unen los otros módulos. Este tiene dos propósitos principales, el primero es generar y conducir la energía pasiva y la ventilación natural y el segundo propósito es para proporcionar sombra y protección solar. Es decir puede ser una galería de porche en climas mediterráneos, como el valle central de Santiago, o ser un espacio sombreado y ventilado para un clima sub-tropical como el de Iquique.



Espacio Solar (Fig.25)

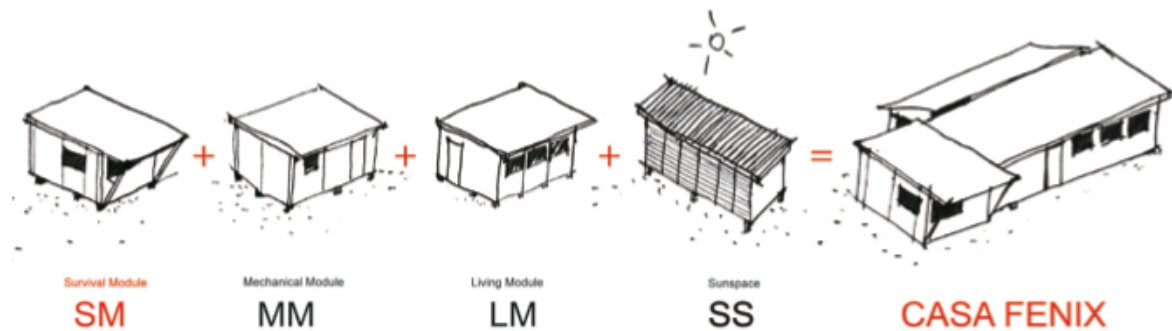
Tomada de Casa FENIX, 2014

Una vez configurada la vivienda con los cuatro módulos mencionados anteriormente existe otro nivel colectivo de configuración entre las viviendas el cual es denominado como “Temporal Village FENIX, TVF” el cual sigue evolucionando hasta conformar la denominado “Eco Village FENIX, EVF”. Esta progresión colectiva esta concebida con las mismas lógica de los módulos. Es decir posee una diseño abierto y flexible que permite

la adaptación a diferentes condiciones climáticas, topográficas, territoriales y realidades culturales.

4.1.2. Progresivo

Casa FENIX permite que la unidad del módulo de supervivencia se convierta en un hogar definitivo. Esta evolución gradual es asumida por la estrategia de diseño urbano.



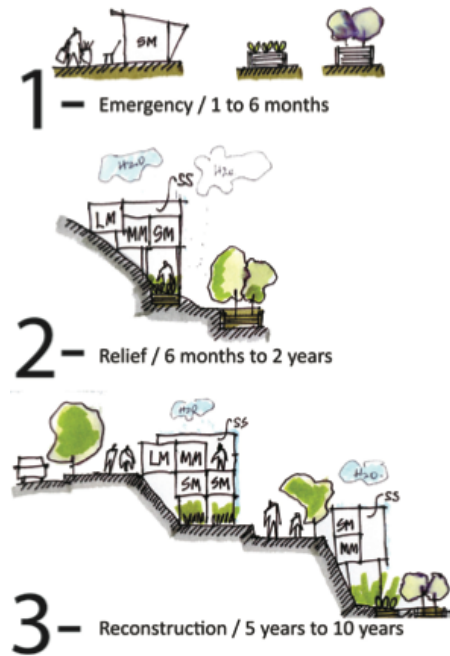
Progresión modular de Casa FENIX (Fig.26)

Tomada de Casa FENIX, 2014

El proyecto Casa FENIX tiene un alcance a largo plazo, ya que la aplicación de la propuesta urbana proporciona la regeneración y reestructuración de la zona golpeada por la catástrofe, siendo este un proyecto de reordenamiento territorial integral, que en los primeros 5 años propone la implementación de vivienda e infraestructura básica, redes de servicios y espacios públicos, transformando el lugar del desastre en un barrio

ecológico. Como resultado de la implementación de la propuesta, después de un período de 20 años, se esperan tres grandes transformaciones en distintos niveles; urbano, social y sustentable.

A nivel urbano: Se espera lograr un eco-barrio totalmente integrado y conectado con el entorno circundante y con la ciudad, dotándolos con nuevos espacios públicos.



Progresión Eco Villa FENIX (Fig.27)

Tomada de Casa FENIX, 2014

En el plano social: Una vez generado el EVF se espera generar un cambio en la economía de las familias gracias al ahorro de energía provocado por las instalaciones de energía solar. De esta manera las familias dejarán atrás su estado de vulnerabilidad consolidando el proceso movilidad social hacia el mejoramiento de las mismas.

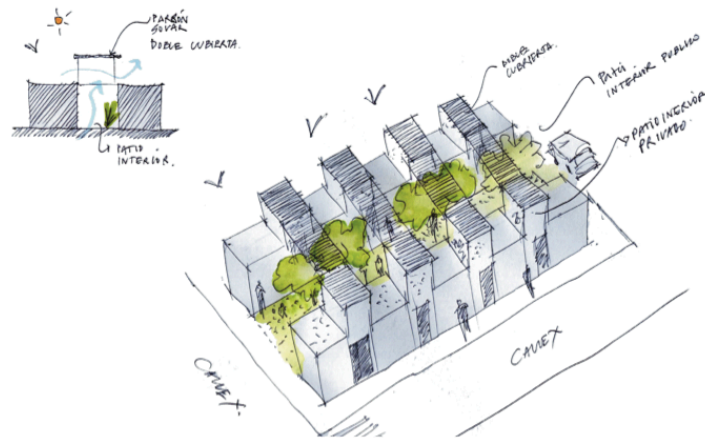
En cuanto a lo sustentable: Se espera principalmente a ser un barrio de energía eficiente y autónoma que entregue espacios públicos y áreas verdes consolidándose como un parque urbano que pueda servir a toda la comunidad. En el que, se consideran la implementación del sistema de recogida de aguas pluviales para el riego de los jardines públicos, un sistema de micro generación eólica para suministrar electricidad a los espacios públicos del barrio, jardines públicos para cultivar y cosechar plantas nativas, áreas de reciclajes entre otras instalaciones sostenibles.

4.1.3. Flexible

Para distintas latitudes, existen distintas estrategias. Casa FENIX tiene la capacidad de adaptarse a diferentes regiones de Chile, dada las características geográficas y la diversidad climáticas.

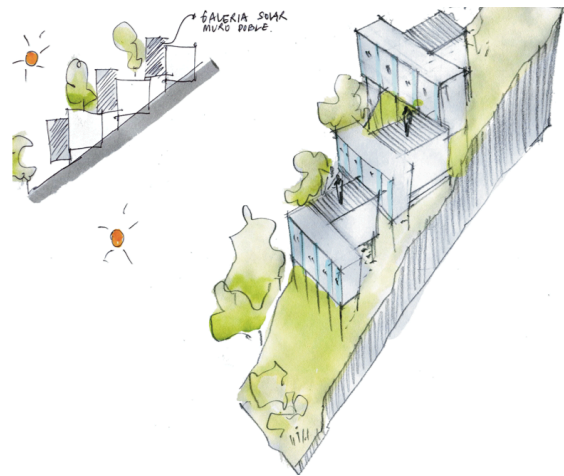
Además la flexibilidad se ve reflejada en la estrategia de movilidad asociada al traslado de los damnificados desde la zona de desastre a las canchas de football que soportan la villa de emergencia y luego desde estas últimas hasta la ciudad para empezar el proceso de reconstrucción desde el mismo barrio. La estrategia de movilidad está respaldada por el estudio realizado respecto a la disponibilidad de canchas de football en las zonas de catástrofe, en donde se emplaza la villa temporal “TVF” sobre un basamento provisorio y plano para luego ser trasladado al lugar de origen adaptándose a las condiciones topográficas del lugar. A modo de ilustrar la flexibilidad y la capacidad de

adaptación de Casa FENIX, estos realizan ciertas propuestas sobre las potencialidades que tiene frente a las distintas localidades de catástrofe. Para demostrar su versatilidad a través del territorio nacional el equipo esboza tres propuestas; la primera en la ciudad de Iquique (ver figura 38), la segunda es en la ciudad de Valparaíso (ver figura 29) y la última en la ciudad de Chiloé (ver figura 30).



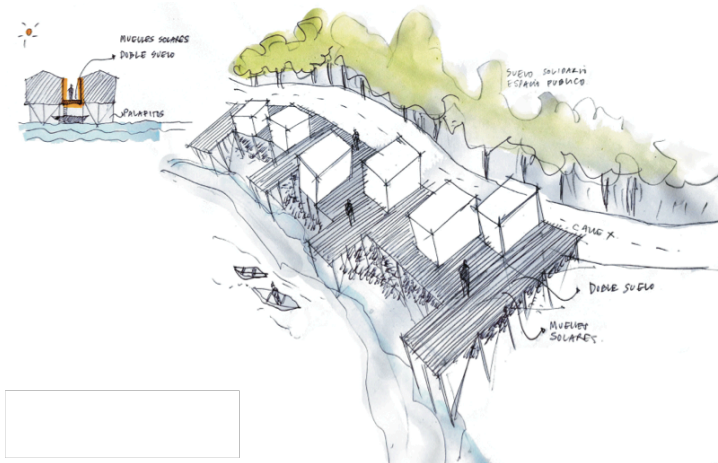
Idea para la implementación de la Eco Villa FENIX en la ciudad de Iquique (Fig.28)

Tomada de Casa FENIX, 2014



Idea para la implementación de la Eco Villa FENIX en la ciudad de Valparaíso (Fig.29)

Tomada de Casa FENIX, 2014



Idea para la implementación de la Eco Villa FENIX en la ciudad de Chiloé (Fig.30)

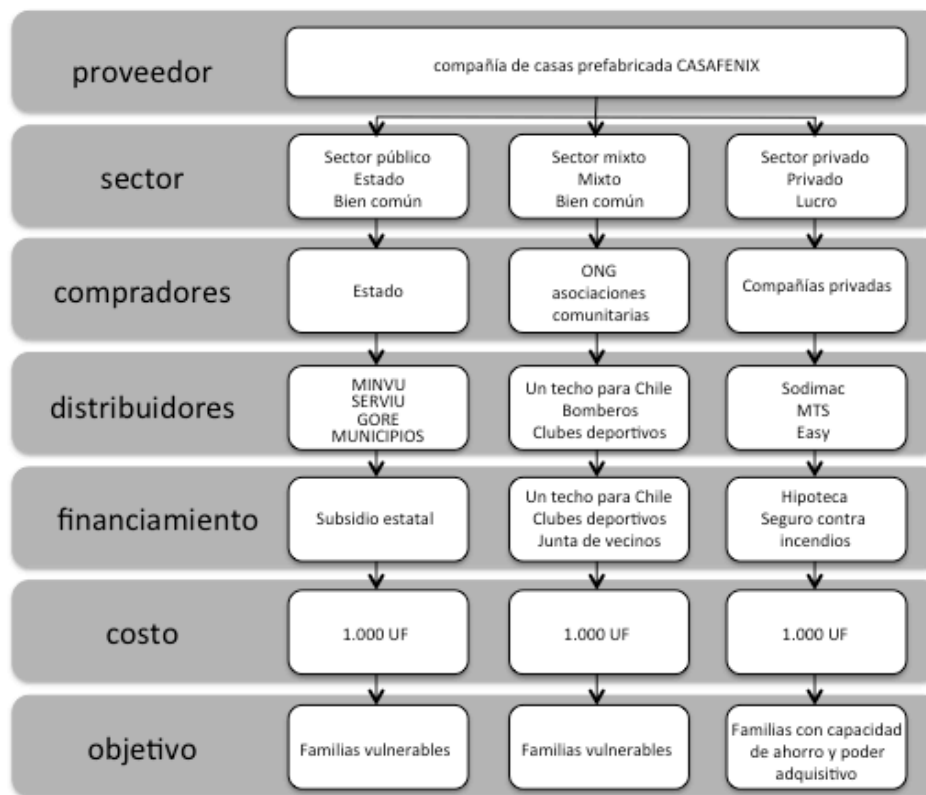
Tomada de Casa FENIX, 2014

4.1.4. Asequible

El modelo de negocio considera hacer Casa FENIX accesibles para el amplio espectro de las familias definidas en el mercado objetivo, la incorporación de las familias en situación de vulnerabilidad y las familias no vulnerables que han sido víctimas de un desastre, así como miembro del público en general que deseen construir sostenible y que requieren una Casa FENIX debido a sus características excepcionales, como un montaje rápido, la eficiencia energética y la flexibilidad formal y constructiva.

Existen dos aspectos generales que deben ser revisados con respecto a la accesibilidad: la primera son las formas de financiación con el fin de adquirir una Casa FENIX y la segunda esta asociada al costo del proceso de montaje. Existen tres modos para el financiamiento, el primero corresponde al sector público a través del subsidio de la vivienda que ofrece el Ministerio e la Vivienda (MINVU).

Haga sustentabilidad usted mismo

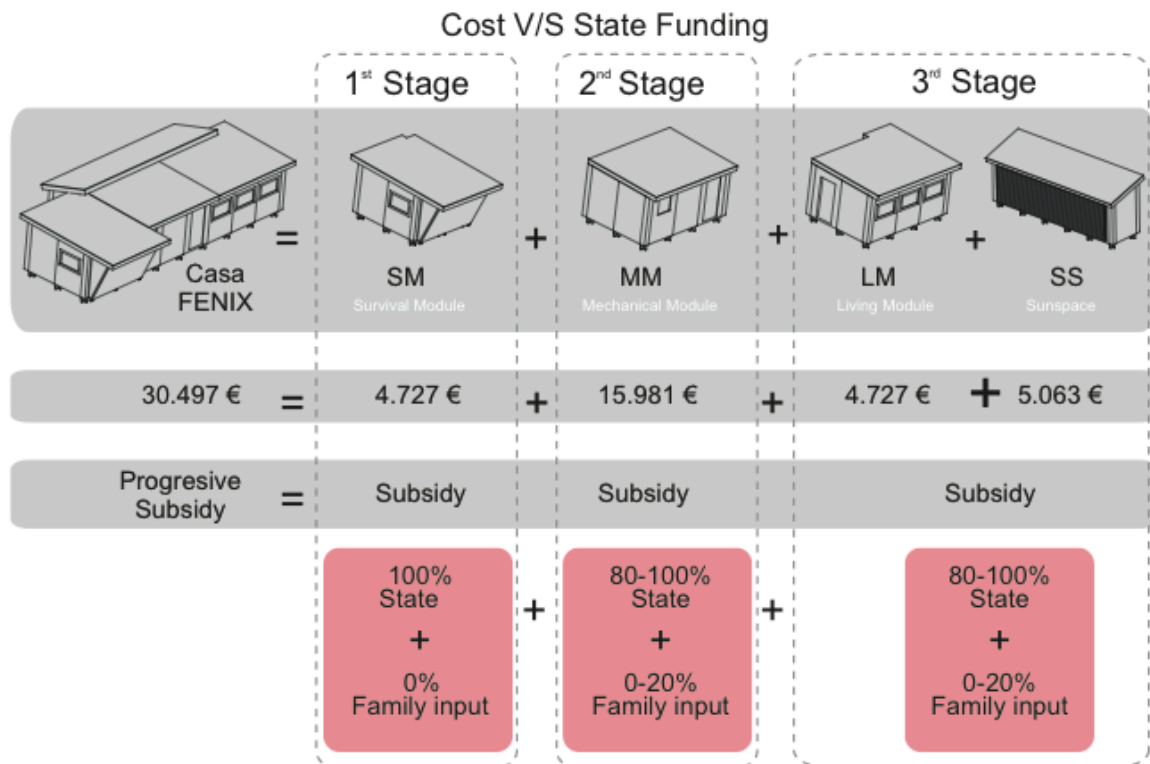


Resumen de la viabilidad y procedimientos de mercado (Fig. 31)

Tomada de Casa FENIX, 2014

Para financiar Casa FENIX, se ha definido un programa de subsidio progresivo, que tiene como objetivo combinar y complementar diversas subvenciones existentes que permiten a las familias vulnerables beneficiarse con la adquisición de una Casa FENIX. Bajo este programa el Estado durante la primera etapa será capaz de comprar todos los módulos de supervivencia que sean necesarios para luego definir una segunda y tercera etapa de reconstrucción, en las que las familias deben solicitar un sistema de subsidio progresivo. El costo de la construcción de la Casa FENIX se estima entre €350 y €750 por m², haciendo el costo total de la casa terminada €30.500 (alrededor de 22 millones de pesos chilenos).

El financiamiento del sector mixto a través de donaciones de organizaciones no gubernamentales, asociaciones comunitarias y las instituciones sin fines de lucro, que compren la vivienda Casa FENIX para donarlas a las familias socialmente vulnerables. Este financiación es posible gracias a donaciones realizadas por dichas instituciones y se enfocan sólo en las familias socialmente vulnerables. El financiación sector privado se realiza a través de préstamos hipotecarias, seguros contra catástrofes (incendios, terremotos y otros).



Costos V/S financiamiento estatal (Fig. 32)

Tomada de Casa FENIX, 2014

4.2. Métodos v/s herramientas durante el proceso de diseño.

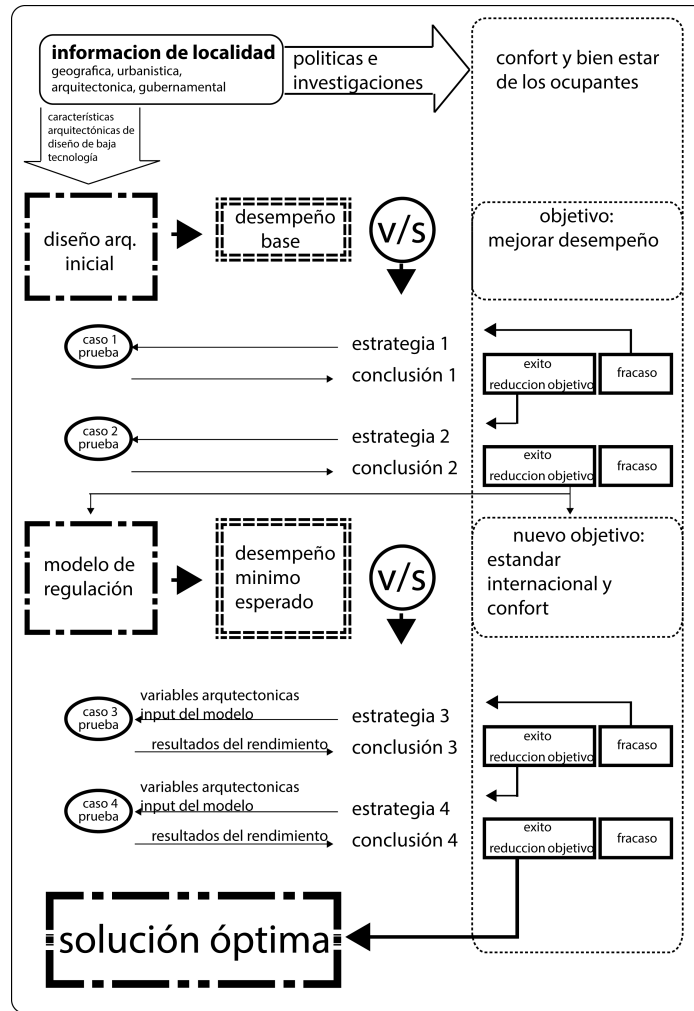
Los conceptos arquitectónicos y urbanos que dan forma a la propuesta del caso de estudio, tanto a nivel individual y colectivo son: modularidad, progresividad, flexibilidad y asequibilidad. Para satisfacer los requerimientos de los conceptos el diseñador propone estrategias que varían de acuerdo al nivel de definición del problema. Es por esta razón que el proceso de diseño utiliza diversas herramientas para realizar estudios en distintos grados de especificación. Este caso toma en cuenta para el análisis, distintas entradas que afectan al diseño. Principalmente se realizaron dos tipos de análisis, unos con herramientas de simulación digital y otros con simulaciones reales a escala. Las estrategias asisten la planificación del diseño en diferentes etapas tendiendo a incrementar el nivel de especificación en el uso de las herramientas. El proceso de diseño del caso estudio las utiliza para generar información que retroalimenta e incrementa la confianza en la toma de decisiones, específicamente en la elección de estrategias con mayor potencialidad.

4.2.1. Método para evaluar el comportamiento energético.

La planificación de las actividades de diseño dependen de los requerimientos y de la disponibilidad de la información, estas definen la estrategia a ejecutar. Esta última varia a medida que la especificación aumenta debido a que la definición del problema es mayor en las etapas avanzadas. Este caso de estudio luego de definir la forma y el uso de los módulos que componen Casa FENIX, inicia un proceso de ajuste del diseño en dos niveles; el individual y el colectivo a través de herramientas de simulación. Dentro de este proceso se adopto la metodología descrita por el modelo (ver figura 33). Este método comienza con la información de entrada disponible de la arquitectura

vernacula, la información geográfica, urbana y gubernamental. Este paquete de información inicial determina un punto de entrada estableciendo un caso base a analizar y los objetivos que persiguen dichos análisis. Estos en su primera etapa tienen como enfoque al confort y bienestar de los ocupantes. El caso base es evaluado de acuerdo a la estrategia propuesta, esta consta de un set de casos que funcionan como alternativas las que son evaluadas con la misma carrera o procedimiento. Los resultados son analizados para concluir si es exitoso o no, para la primera opción se decide avanzar con el proceso de diseño y para la segunda opción se decide iterar el procedimiento realizando algunos ajustes en el diseño.

En una segunda etapa se cambian los enfoques del objetivo y los centran esta vez en las normativas internacionales estándar y en el confort de los ocupantes. Luego se ejecutan las estrategias propuestas para lograr finalmente la solución óptima de Casa FENIX.



Metodología análisis energético y térmicos para Casa FENIX (Fig. 33)

Adaptada de Casa FENIX, 2014

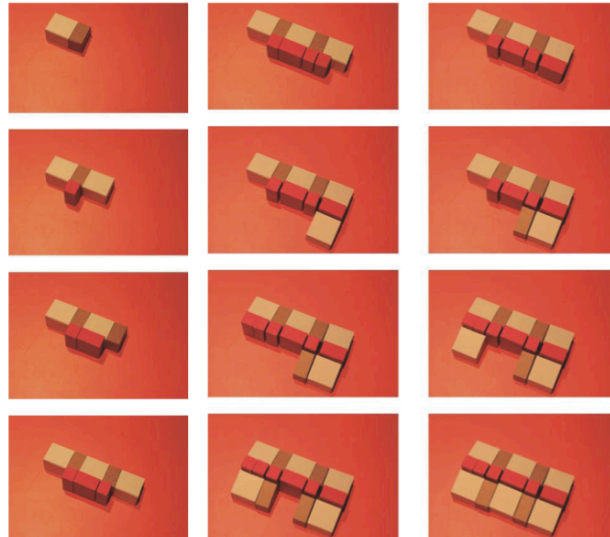
4.2.2. Herramientas y análisis.

El proceso es asistido en diferentes tareas a lo largo de las etapas. Existe una gran variedad de herramientas en distintos niveles de especialidad, desde las prescriptivas que operan en un nivel de abstracción mayor hasta aquellas que ejecutan lo prescrito con un mayor nivel de especialización que ejecutan las actividades planificadas en el nivel de abstracción mayor mencionado anteriormente. Dentro de las herramientas que ejecutan lo planificado se encuentran los simuladores que someten el modelo a variaciones topológicas y paramétricas con el fin de ajustar el desempeño de la edificación en su ciclo de vida. En este caso de estudio, se utilizaron distintas herramientas para las diversas aristas que desarrollo el proyecto. En el caso del análisis térmico, la vivienda final fue evaluada en dos escalas distintas, la primera estrategia fue evaluada a una escala individual del modulo con el fin de definir la envolvente a través de la variación de su materialidad, protección solar, transmisión en murallas, tipo de ventanas, pendiente de la cubierta entre otras. Para ejecutar estos análisis se utilizó el software DesignBuilder. Y la segunda fue evaluar distintas variaciones topológicas de los módulos (ver figura 34) para maximizar el diseño solar pasivo en un nivel colectivo.

El historial de las simulaciones (ver figura 35 y 36) que se realizaron a escala individual da cuenta de una estrategia de prueba y error basada en la evaluación de casos agrupados en una secuencia de 10 sets, cada uno con un enfoque distinto. Los primeros sets tienden a probar mejoras como el uso de dispositivos de sombra o aumentar el espesor de la aislación en los muros mientras que los últimos sets se enfocan en la corroboración de que la alternativa elegida esté dentro del umbral aceptable de temperatura y ventilación. El historial tiene dos momentos; el primero en el que evalúa

103

Casa FENIX sin el espacio solar y el segundo momento con el espacio solar adherido. Las mejoras en la primera etapa sin espacio solar son del orden del 60%, mientras que las mejoras que experimenta el comportamiento con el espacio solar adosado son del orden del 85%.



Resultado de la evaluación topológica de los modulo (Fig. 34)

Tomada de Casa FENIX, 2014

SET	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	CASO	VARIACIÓN	CARGA CALEFACCIÓN (kWh)	CARGA ENFRIAMIENTO (kWh)	CARGA TOTAL (kWh)	COSUMO TOTAL (kWh)	CONCLUSIONES CASO	CONCLUSIONES SET
SET 01	Estructura ligera. Muros con 60mm de insulación.	CASO 00A	Sin dispositivo de sombra	6132	5232	11364	15452	Basado en las cargas del HVAC y consumo	Se requiere dispositivo de sombra.
		CASO 00B	Con dispositivo fijo de sombra	6734	2151	8885	13374	Se necesita sombra	
SET 02	Estructura ligera. Muros con 100mm de insulación.	CASO 01	Sin dispositivo de sombra	5508	5252	10760	14432	Pequeña mejora	Se requiere mejor insulación.
		CASO 02	Con dispositivo fijo de sombra	6524	1683	8207	12556	Gran mejora	
SET 03	Materiales de Caso 02 + estrategia de ventilación	CASO 03	Caso 02 + ventilación nocturna	6547	1668	8215	12556	Reducción no efectiva	Masa funciona mejor que la ventilación. El balance entre las dos son requeridos. Masa es la opción viable si la ventilación no esta disponible.
		CASO 04	Caso 02 + partición de la masa térmica	6559	1516	8075	12448	Algunas reducciones	
		CASO 05	Caso 02 + ventilación nocturna y partición de la masa térmica	6588	1492	8082	12472	El consumo de energía es aún muy alto	
SET 04	Actualización de horario.	CASO 06	Caso 04 + actualización de horario	4826	1423	6249	9466	El consumo de energía es aún muy alto	El consumo de energía es aún muy alto. Se requieren cambios arquitectónicos
SET 05	Mejora de la arquitectura para reducir volumen interior	CASO 07	Caso 06 + actualización de horario	3422	1067	4489	6770	Buena reducción desde el caso anterior	Objetivo de regulación nacional de vivienda logrado.
		CASO 08	Caso 07 + insulación de muro 150 mm	3211	1069	4280	6421	Buena reducción	
		CASO 09	Caso 07 + cristales Low E	3252	1083	4335	6503	Alguna reducción	
		CASO 10	Caso 07 + insulación de muro 150 mm y cristales Low E	3034	1089	4123	6146	Menor carga de calefacción, preferible.	
SET 06	Modelización del espacio solar y el efecto de las diferencias técnicas en relación con los otros espacios dentro de la vivienda. Papel del espacio solar en las cargas totales	CASO 11	Ajustes al archivo de clima	2488	975	3463	5122	Continuidad	La operación de separación del espacio solar y espacio de vida debe ser considerada cuidadosamente, ya que la tecnología del software crea condiciones de interior más extremas. Estrategias de ventilación de verano permanentes son necesarias debido al alto rendimiento de la envolvente. Espacio solar debe correr libre.
		CASO 12	Caso 11 + espacio solar independiente	2555	973	3528	5231	Sin beneficios, indiferencia	
		CASO 13	Caso 11 + Pavatex	2402	914	3316	4917	Mejor	
		CASO 14	Caso 13 + DVH AGC U=1.1	2085	1014	3099	4489	Mejor	

Historial de simulaciones 1/2 (Fig. 35)

Adaptada de Casa FENIX, 2014

SET	CARACTERÍSTICA PRINCIPAL	CASO	VARIACIÓN	CARGA CALEFACCIÓN (kWh)	CARGA ENFRIAMIENTO (kWh)	CARGA TOTAL (kWh)	COSUMO TOTAL (kWh)	CONCLUSIONES CASO	CONCLUSIONES SET
SET 06	Modelización del espacio solar y el efecto de las diferencias técnicas en relación con los otros espacios dentro de la vivienda. Papel del espacio solar en las cargas totales	CASO 15	Caso 14 + ganancias de invierno (sin sombra en invierno)	1649	1099	2748	3847	Buena operación de sombra	La operación de separación del espacio solar y espacio de vida debe ser considerada cuidadosamente, ya que la tecnicidad del software crea condiciones de interior más extremas. Estrategias de ventilación de verano permanentes son necesarias debido al alto rendimiento sde la envolvente. Espacio solar debe correr libre.
		CASO 16	Caso 15 + Espacio solar independiente	2072	1032	3104	4485	Sin beneficios, indiferencia	
		CASO 17	Caso 15 + Pavatex	2025	1061	3086	4436	¿mucha insulación?	
		CASO 18	Caso 17 + corrida libre del espacio solar	1199	1083	2282	3081	Poca reducción se recomienda espacio solar sin HVAC	
		CASO 19	Caso 18 + espacio solar independiente	1270	1359	2629	3476	Sin beneficios analizar capacidades del software	
		CASO 20	Caso 18 + ventilación nocturna	1232	957	2189	3010	Mejor	
		CASO 21	Caso 20 + ventilación diurna	1239	898	2137	2963	Mejor	
SET 07	Espesor de la insulación del techo	CASO 22A	Caso 21 + insulación del techo 200mm	1187	880	2067	2858	No hay reducción relevante	Espesor de la insulación del techo intermedia es la necesaria.
		CASO 22B	Caso 21 + insulación del techo 250mm	1142	866	2008	2769	Mejor	
		CASO 22C	Caso 21 + insulación del techo 300mm	1111	861	1972	2713	Mucho esfuerzo poca reducción	
SET 08	Estudios de infiltración y del clima de Valparaíso	CASO 23	Caso 22B + 0.75 ach infiltración	897	978	1875	2473	Buena reducción	Reducir la infiltración recalienta la construcción en verano. Modelización de partición entre el espacio solar y espacio de vida debe ser considerada como de ventanas que se abren 100% del tiempo.
		CASO 24	Caso 22B + 0.5 ach infiltración	594	1261	1855	2251	Buena reducción en calefacción	
		CASO 25	Caso 24 + partición controlada de espacio solar y estrategias de ventilación	155	2933	3088	3191	particion muy complicada, se conserva materialidad	
SET 09		CASO 26	Caso 25 + particion de carga de luces	192	357	549	677	Mejor	Modelado del espacio solar es considerado apropiado. La masa térmica que se utilizará. Reducciones efectivas en el limite. Se debe realizar un análisis más detallado para implicar cambios de aire eficaces y temperatura interior.
		CASO 27	Caso 25 + partición de masa	205	293	498	635	Mejor	
		CASO 28	Caso 27 + administración de masa	NA	NA	NA	NA	NA	
SET 10		CASO 29	Caso 26 + calcular ventilación	280	172	452	639	Mejor	Buenas condiciones interiores y reducción del uso de energia
		CASO 30	Caso 27 + calcular ventilación	344	108	452	681	Mejor	
		CASO 31	Caso 20 + analisis anual de temperatura	344	108	452	681	Igual	

Historial de simulaciones 2/2 (Fig. 36)

Adaptada de Casa FENIX, 2014

4.3. Influencia del análisis energético en el diseño de la vivienda

4.3.1. Metodología y objetivos de análisis energéticos

Los objetivos que persigue el método de análisis que soportan las decisiones de diseño de casa FENIX se enfocan en verificar las condiciones interiores, específicamente la temperatura, el suministro de aire fresco junto con rangos de confort utilizando estrategias pasivas de baja tecnicidad.

Las simulaciones tienen un alto impacto en el diseño y en la arquitectura afectando variables tales como; altura interior, volumen del aire, el programa general, el tamaño de las aperturas, configuración de la envolvente del edificio, ventanas, horarios de operaciones, técnicas de modelado entre otras.

La metodología consiste en la creación de un diseño inicial, que luego es sujeto a una serie de pruebas y simulaciones que asumen un enfoque de ensayo y error. Cada simulación provee resultados que son analizados y clasificados como exitosos o no, dependiendo del consumo de energía y otros parámetros. La conclusión para cada simulación informa y evoluciona el diseño para testearlo nuevamente. El proceso continua hasta que se logren objetivos relevantes. El diseño inicial fue establecido considerando las condiciones locales de Valparaíso como la geografía, el clima, el contexto urbano y las circunstancias socio-económicas. El estudio del contexto urbano y la arquitectura local hablan sobre las características arquitectónicas y como estas entienden el clima local y como lo utilizan para crear mejores condiciones interiores usando poca energía. Desde esta perspectiva, Casa FENIX entendió que la vivienda debe tener un desempeño que entregue confort interior utilizando estrategias pasivas de diseño . En las

primeras etapas de análisis, la simulación entregó la información necesaria para optimizar el diseño basado en los resultados del ahorro del consumo energético y no en condiciones climáticas interiores. Las normas nacionales e internacionales se han considerado como puntos de referencia. Pasado este punto, el análisis se enfocan en la temperatura interior y en el suministro eficaz de aire fresco.

4.3.2. información de clima y análisis del tiempo

En términos generales, el análisis de clima ha considerado diferentes zonas climáticas definidas por la regulación chilena, esta última también menciona soluciones y estrategias prescriptivas genéricas. El concepto de diseño de casa FENIX utiliza estos precedentes como información de entrada. Valparaíso tiene un clima suave que es considerado como mediterráneo, debido a que la condición de costa reduce la variación extrema de temperaturas y la forma de anfiteatro que protege a la ciudad del viento suroriente que predomina. La temperatura varía de los 10°C a 28°C en verano mientras en invierno lo hace entre 5°C y 20°C. La humedad relativa está por sobre el 60%. El cielo a veces pueden estar cubierto por la niebla, la radiación solar también es muy consistente y puede ser invocado por las estrategias pasivas durante todo el año. La carta psicrométrica describe a Valparaíso cada año con un clima relativamente bueno, en donde el confort térmico se puede experimentar sin ningún esfuerzo en absoluto, o incrementar las ganancias internas con estrategias pasivas. Sin el uso de estas nuevas estrategias, la calefacción podría ser necesaria para un máximo de 25% del año. También se hace relevante

mencionar el tipo de arquitectura vernácula con influencia foránea y como esta se ha adaptado a la accidentada topografía de Valparaíso.

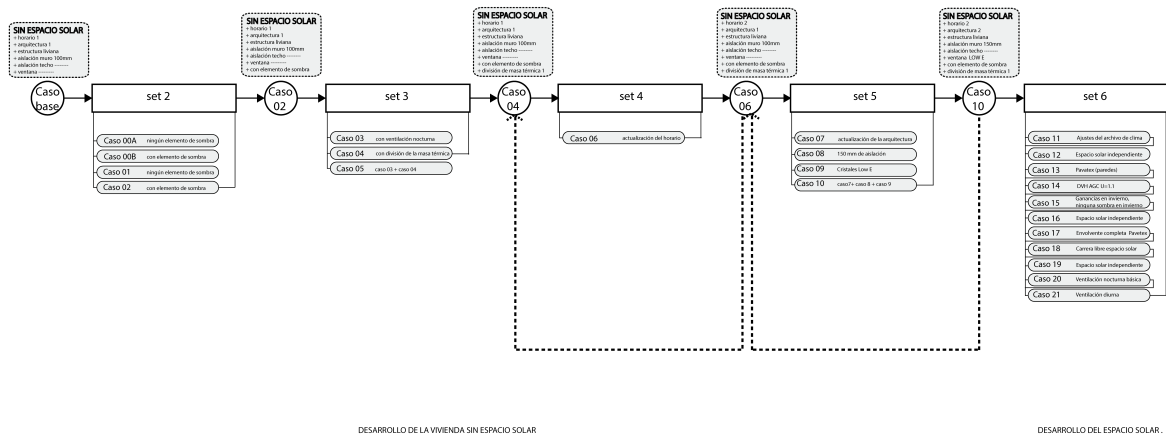
4.3.3. Estrategia energética del equipo.

Crear una respuesta inmediata a la catástrofe bajo un escenario áspero en cuanto a clima, condiciones sociales y de conectividad. Transformando la respuesta inmediata en una solución permanente creando un ambiente urbano energéticamente productivo y sustentable. La mayoría de las cuestiones importantes por resolver están permitiendo refugio y confort sin el uso de energía de la red, o los combustibles tradicionales. El concepto de Casa FENIX propone que más aplicable considerar la eficiencia efectiva, en lugar de un alto rendimiento. Esto es en parte debido al bajo presupuesto disponible y a las condiciones de emergencia en las que se supone que la casa se construye. En este tipo de escenarios, la eficiencia energética centra su enfoque en lograr estrategias de baja tecnología con bajo presupuesto.

Casa FENIX evoluciona pasando por la temporal villa FENIX a la permanente Eco-villa FENIX la que necesita una solución urbana sustentable. En términos de energía esta última se logra en una secuencia de tres pasos; creación y construcción de una vivienda energéticamente sustentable, independencia energética y producción energética. El primero es usar muy poca energía para mantener a los habitantes confortables y sanos con estrategias pasivas de diseño. El segundo trata de producir toda la energía que requiere el sistema para su funcionamiento y la última es generar energía la que se traduce en beneficio monetario.

4.4. Mapeo de la influencia de los análisis en el diseño de la vivienda.

Los mapeos son el resultado del levantamiento de la información disponible entorno al proceso de análisis térmico y energético que desarrolló Casa FENIX . Específicamente de la lista que contiene el historial de las simulaciones realizadas con el software Designbuilder (ver figura 37.1y 37.2).



Incremento en la información V/S la variación de los análisis (Fig. 37.1)

DESARROLLO DEL ESPACIO SOLAR

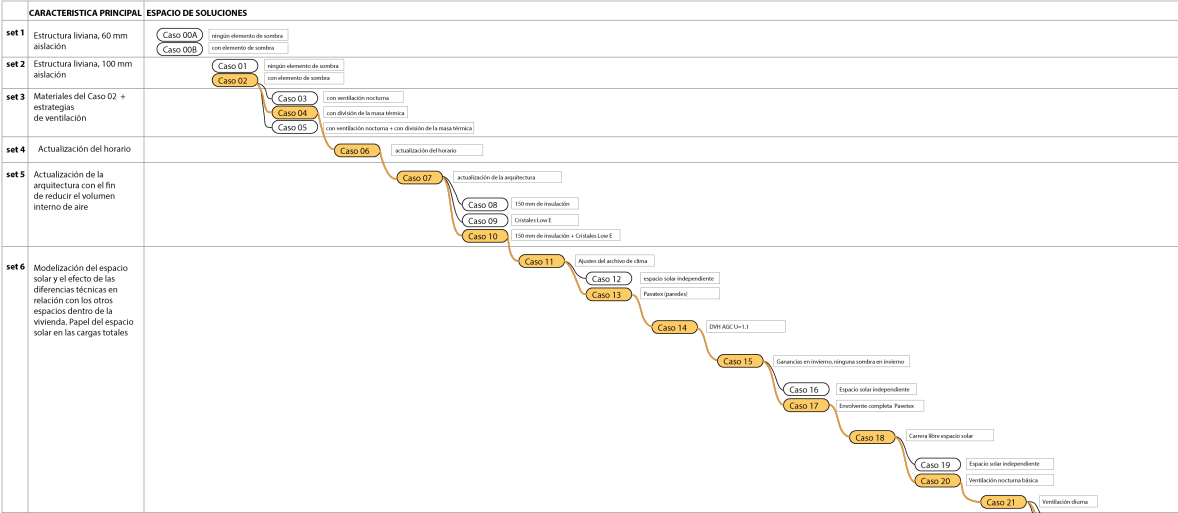
CON ESPACIO SOLAR

CON ESPACIO SOLAR

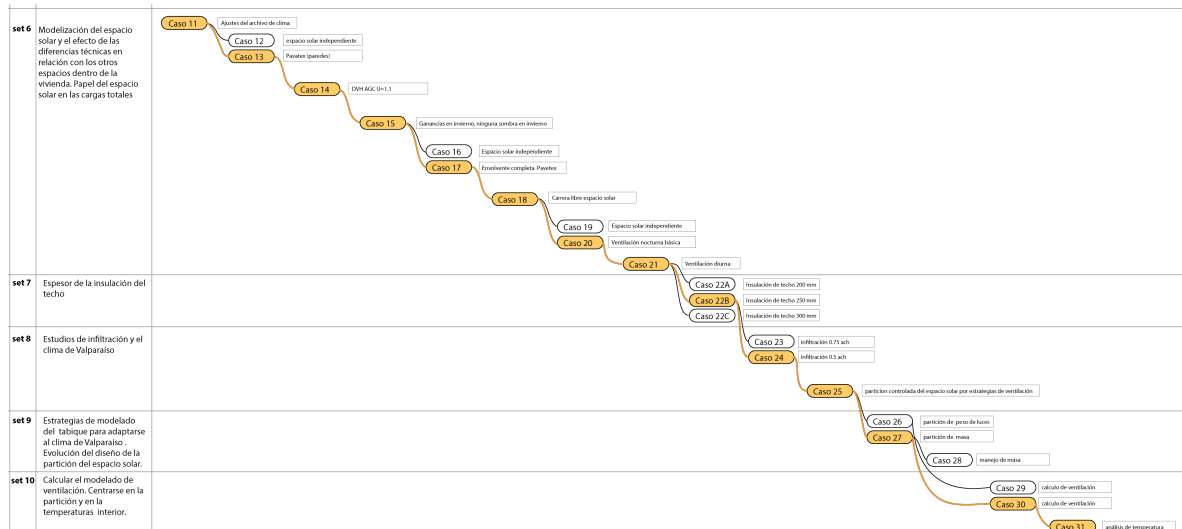
CON ESPACIO SOLAR

EVALUACIONES FINALES

111



Mapa de la ruta de la toma de decisiones 1/2 (Fig. 38)



Mapa de la ruta de la toma de decisiones 2/2 (Fig. 39)

Como he mencionado anteriormente la estrategia en esta parte del proceso de diseño se basa en el ensayo y error de los distintos casos propuestos. En el primer set, con los casos 00A y 00B se pone a prueba el modelo con el que se realizarán los análisis para verificar si los resultados son razonables. Luego se inicia la etapa de exploración a

través de los treinta y un casos que se revisan. Estos casos corresponden a posibles soluciones para el mismo problema, actualizaciones de programas y chequeos locales. Este mapeo describe la ruta recorrida por el diseño a través de las simulaciones de los distintos casos que fueron evaluados. Es decir describe el campo de exploración. Además revela la ruta escogida, seleccionando los casos que según la estrategia aplicada, obtengan el mayor ahorro energético.

4.5. Resumen.

Casa FENIX es una respuesta a una situación propia de la contingencia territorial chilena. Los escenarios de catástrofe son variados; tales como aluviones, terremotos, incendios, tsunamis entre otras y están estrechamente ligados a la localidad en donde estos sucedan. Es por esta razón que el foco de la metodología de diseño del caso estudio esta basada principalmente en la escases de recursos lo que se traduce en un presupuesto acotado. Bajo esta condición se exploran estrategias pasivas de diseños las cuales en las etapas más tempranas del proceso son avaladas por la experiencia del equipo de profesionales a cargo del proyecto y que se encuentran enmarcadas dentro de la normativa chilena de construcción. A medida que el proceso de diseño avanza hacia etapas mas avanzadas la experiencia del equipo sigue siendo relevante en dos aspectos; a la hora de proponer las alternativas o casos a analizar y al elegir las herramientas para analizarlos dichos casos. El motivo que impulsa la exploración del campo de posibles soluciones es la pregunta “ que pasa si”, que ayuda a dilucidar ciertos estados de diseño. A modo de ejemplo y con motivo de robustecer la idea de la relevancia de la experiencia en los procesos de diseño podemos mencionar dos datos importantes. El primero trata de la elección de las herramientas con las que se analizan

los casos, es decir, para realizar los análisis de ventilación se apoyaron las simulaciones digitales con estudios de ventilación de tres variaciones del modelo real a escala, debido a que no se confiaba plenamente en los resultados que arrojaba el software. El segundo ejemplo relevante acerca de la experiencia del equipo de diseño, lo podemos observar en el primer set de análisis descrito anteriormente, en donde se analizan dos alternativas con fin de revisar si los resultados de las simulaciones son lógicas y consecuentes.

Sin embargo el desarrollo tardío de los diez set de análisis realizados por Casa FENIX va en contra de la lógica de situación de catástrofe y recursos limitados ya que en las etapas mas avanzadas del proceso de diseño el impacto de las acciones correctivas son menores y significan un mayor gasto de recursos que aquellas realizadas en etapas tempranas en donde pequeñas correcciones que significan un menor gasto traen como consecuencia un mayor impacto en el desempeño del proyecto.

5. Análisis comparativo

Presentación

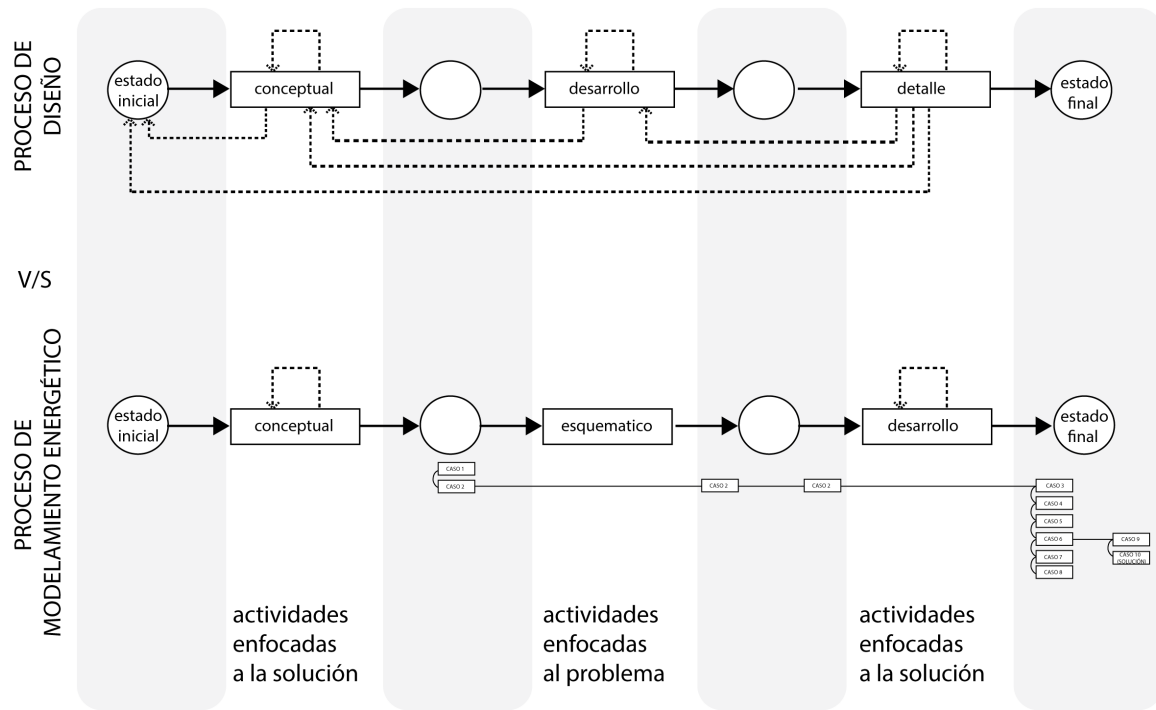
Este capítulo centra el interés en la búsqueda de similitudes y/o diferencias entre el campo teórico y el práctico a través de análisis comparativos entre los modelos o mapas que resultaron de los estudios realizados en los capítulos anteriores. Para ejecutar dichas comparaciones los modelos son representados a través del mismo lenguaje de componentes; estado de diseño, información, actividades y bucles. Este campo común de abstracción es el vehículo que conducen los hallazgos de la investigación, los que apuntan a mejorar el proceso de toma de decisiones en los distintos estados de diseño.

Las comparaciones se organizan de a pares, con un total de tres; modelo de proceso de diseño v/s modelo de los métodos de análisis energético, modelo de proceso de diseño v/s caso de estudio, modelo de los métodos de análisis energéticos v/s caso de estudio.

5.1. Modelo de proceso de diseño v/s modelo de los métodos de análisis energético

El modelo que reinterpreta el proceso de diseño contemporáneo se puede describir a través de dos estructuras, la primera enfocada al producto que básicamente planifica

los pasos a seguir y segunda enfocada al proceso y que ejecuta lo planificado en la anterior. En esta última se pueden distinguir dos enfoques en sus actividades, el centrado en el problema (análisis) y el centrado en la solución del mismo (síntesis). El modelo del proceso de modelamiento energético utiliza estos dos focos en distintas etapas (ver figura 41). Comienza proponiendo dos posibles soluciones (síntesis) las que luego de ser evaluadas son analizadas mas en detalle hasta alcanzar el nivel de los elementos que la componen (análisis), posteriormente vuelve a proponer soluciones (síntesis) que varían con el objetivo de entender el comportamiento de las componentes sobre el total. Finalmente se elige la solución final o la estrategia mas adecuada según el comportamiento del edificio.



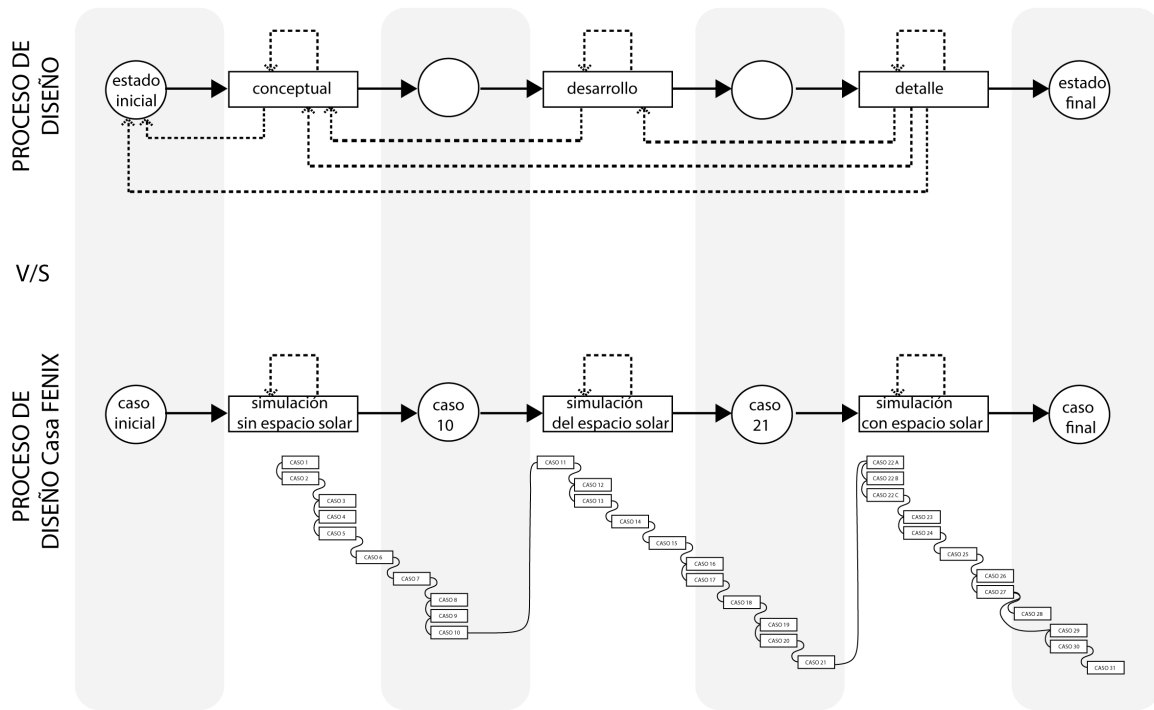
Proceso de diseño v/s Proceso de modelamiento energético (Fig. 41)

El hallazgo de este análisis comparativo es la iteración de algunas actividades de diseño para realizar ajustes y el cambio de foco que describe el proceso . Esta iteración esta soportada fuertemente por los actuales métodos de análisis energéticos los cuales

hacen uso de herramientas computacionales que facilitan la iteración y la continua variación del diseño en las distintas etapas del proceso. Existe la posibilidad de adelantar algunos de estos análisis energéticos como la iluminación o la ventilación ya que la información está disponible desde etapas tempranas, en distintos niveles de especificación. Al adelantar dichos análisis la experiencia del profesional a cargo de la toma de decisiones cumple un rol clave, ya que el profesional cambia el foco del problema variando el tipo de estrategia lo que repercute en las actividades.

5.2. Modelo de proceso de diseño v/s caso de estudio

Ambos modelos son continuos y permiten algún grado de variación para realizar ajustes . Existe una graduación entre dos niveles de ajustes, el local y el total. El primero se realiza a través de la modificación de uno de los componentes en un estado de diseño dado y el segundo a través de la modificación de todos los componentes, moviéndose a estados de diseño anteriores. El modelo del proceso de diseño, (parte superior de la figura 42) reconoce la graduación entre los niveles permitiendo la iteración en y entre estados de diseño. El mapeo del caso estudio revela ajustes en su mayoría a nivel local. El desarrollo de estos es a través de la propuesta de un set de casos, cuya diferencian entre ellos es la variación del mismo componente o el cambio por otro distinto.



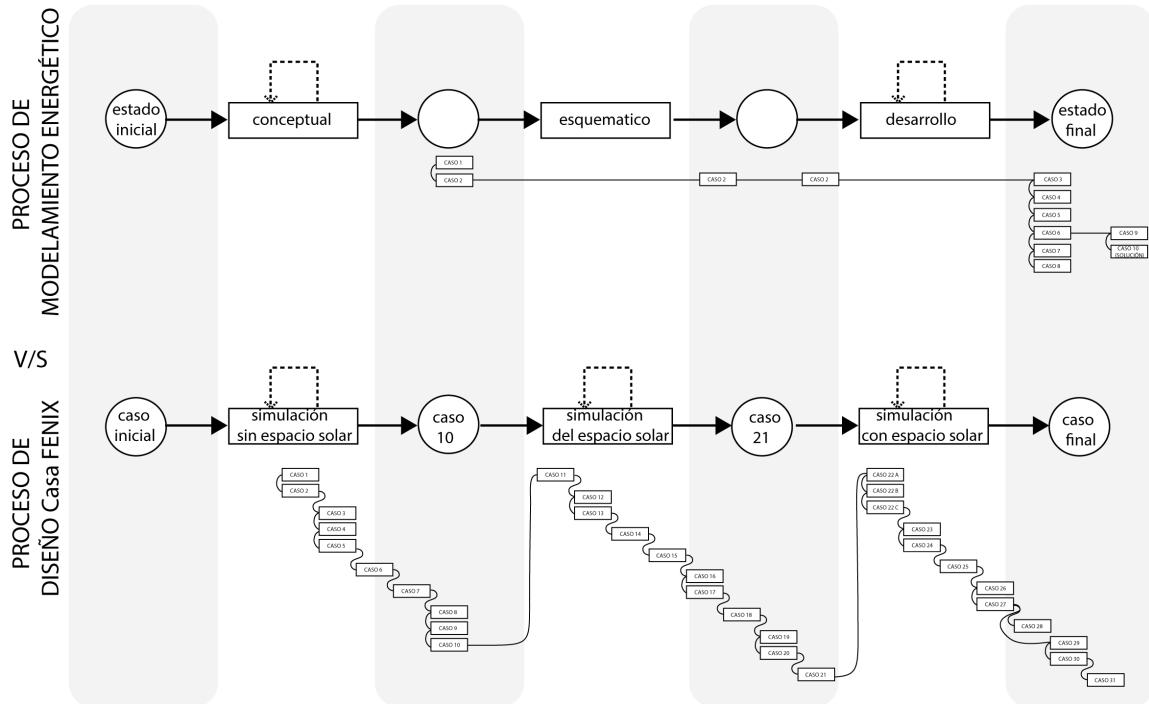
Proceso de diseño v/s Proceso de diseño Casa FENIX (Fig. 42)

El mapeo del caso estudio no describe ajustes a niveles totales ni reformulaciones si no que da cuenta de un proceso lineal que propone un grupo de variables en el comienzo

las que describen el edificio. Estas últimas se van definiendo durante el proceso dependiendo del efecto que tiene la variación del componente sobre el total. Un ejemplo es el caso 7, que tras modificar la arquitectura propuesta por una nueva incrementa el ahorro energético. El modelo del proceso de diseño (teórico) itera para evaluar las distintas alternativas y luego desarrollar estrategias de diseño, mientras que el caso estudio desarrolla una estrategia basada en la experiencia previa del equipo de profesionales a cargo. Está centrada en el “ensayo y error” de un numero de casos o alternativas de diseño que son agrupadas en distintos set según el foco de la estrategia de diseño. Los grupos de casos que componen el universo de posibilidades son sometidos a simulaciones las que arrojan resultados de consumo energético, el mejor de los posibles casos avanza al próximo estado de diseño en donde se evalúa la siguiente estrategia de diseño compuesta por otro set de casos.

5.3. Modelo de los métodos de análisis energéticos v/s caso de estudio

El modelo utilizado para realizar los análisis energéticos describe un paquete de variables las que se estudian de manera secuencial a medida que avanza el diseño (forma, orientación, programa, vano, envolvente y sistema) utilizando el método ceteris paribus, en donde se mantienen constantes todas las variables menos la que se va a estudiar. Los resultados preliminares demuestran que el nivel de abstracción con el que enfrenta el problema de diseño depende de la estrategia del diseñador y su nivel de experiencia. Sin embargo comenzar desde cero contribuye a un mejor entendimiento del problema a través del análisis del comportamiento del modelo en variación.



Proceso de modelamiento energético v/s Proceso de modelamiento energético (Fig. 43)

Este cuadro comparativo entre el método teórico y el practico comparten la estrategia inicial de modelamiento pero no a nivel de la “caja de zapatos” si no que con un caso de

referencia más avanzado, es decir con un nivel de definición mínimo el cual logra las norma térmica local vigente. Luego este caso base se evaluó de acuerdo a un set de casos propuestos por el conocimiento precedente del equipo de diseño. Esta estrategia se adopta con el propósito de acotar el infinito campo de soluciones posibles en beneficio del ahorro de tiempo y recursos. Ambos mapas tiene una característica lineal y cuando se enfrenta a decisiones de alternativas de diseño asumen un carácter de líneas paralelas de diseño.

6. Conclusiones y especulaciones

Las conclusiones de esta investigación se pueden agrupar bajo tres puntos de vista; desde la variación del flujo de información, de los análisis y de la toma de decisiones de diseño.

El flujo de la información tiende a incrementar gradualmente durante las etapas del proceso de diseño. Este fenómeno responde al transitar de lo abstracto a lo concreto aumentando la definición de los estados de diseño

La transformación de la información de primer a segundo orden es clave para la evolución del proceso de diseño ya que la de primer orden es la que describe el contexto en el que se sitúa la edificación y la de segundo orden describen el comportamiento de esta. Las de segundo orden tienen una importancia especial debido a que la tendencia del proceso de diseño contemporáneo es al ahorro de los recursos energéticos. Por otro lado el modelo de proceso de análisis energético esta vastamente declarado en grupos de variables involucradas en el proceso (forma, orientación, programa, vano, envolvente y sistema). Este modelo constituye el prototipo en donde se desarrollarán las variaciones del diseño a lo largo del proceso permitiendo controlar los niveles de especificación de las variables en las distintas etapas de diseño

Desde el punto de vista de los análisis, estos permiten simular escenarios avanzados de diseño en etapas tempranas, arrojando resultados que son evaluados según los criterios planteados por los miembros que componen el equipo de diseño. El análisis de balance térmico, utilizado a lo largo del proceso de simulación del caso estudio, arroja información de segundo orden que valoriza el consumo total de energía en un periodo de un año para satisfacer condiciones interiores adecuadas. Existen distintos tipos de

simulaciones; las digitales, que están soportadas por modelos matemáticos y las reales, que se realizan a escala en laboratorios. El caso estudio desarrolló en su estrategia de diseño ambos tipos de análisis, debido a que el análisis de ventilación realizado por la herramienta de simulación digital no logró las expectativas deseadas. Se confeccionó un modelo a escala para evaluar el comportamiento de dos alternativas.

Desde el punto de vista de la toma de decisiones, este es un proceso que acompaña paralelamente al de diseño y se hace cargo de dos aspectos; la selección de la alternativa de diseño mejor evaluada y la planificación de la estrategia a seguir. La primera es la que evalúa los resultados obtenidos de los análisis antes realizados y decide cual de las alternativas propuestas es la que pasa al siguiente estado. La segunda selecciona la estrategia de diseño la que propone las nuevas alternativas de solución para someterlas a evaluaciones. Las decisiones y las acciones que los siguen no se pueden distinguir fácilmente. Por lo tanto el sistema de apoyo a la toma de decisiones debe estar orientado principalmente como un modelo para la acción, debe acomodar el razonamiento humano en una variedad de niveles, desde el nivel estratégico hasta el nivel mas bajo de granulidad. Sin embargo creo que el foco de interés esta centrado en la toma de decisiones de alto nivel (decisiones estratégicas) utilizando bajos niveles de representación (datos , ecuaciones, etc.) en vez de centrar el foco en un sistema nivel de modelo para realizar nuevas y mejores lecturas del espacio de solución.

La nueva tendencia del proceso de diseño basado en el modelamiento del consumo energético para optimizar los ahorros es a realizar las simulaciones en las etapas tempranas del proceso para poder enfocar la estrategia en las componentes donde se podrían producir los mayores ahorros. Para lograrlo, existen dos posibles caminos definir en un mejor grado las variables que participan del modelamiento o simplificar el

modelo para crear estrategia. La mezcla entre las dos posturas parece ser la clave para desarrollar la estrategia de acuerdo a los distintos contextos de los problemas, dependiendo del nivel de complejidad, los recursos y el tiempo para solucionar determinado problema de diseño.

7. Glosario de ecuaciones

Q_i = Ganancia de calor interno.

Q_c = Conducción de ganancia o pérdida de calor.

Q_s = Ganancia de calor solar.

Q_v = Ganancia o pérdida de calor de ventilación.

Q_e = Pérdida de calor por evaporación.

A = Área de superficie.

U = Valor de aislación.

T_o = Temperatura exterior.

T_i = Temperatura interior.

A = Área de la superficie.

G = Radiación global.

θ = Factor de ganancia solar.

dT_e = Temperatura sobre el efecto de la temperatura del aire.

E = Emisión radiante.

R_{so} = El inverso de conductividad de la superficie "h".

α = Ángulo de inclinación.

q_v = Conductividad de la ventilación.

ΔT = Diferencia de temperatura.

v_r = Tasa de ventilación.

N = Número de cambios de aire por hora.

V = Volúmen.

e_r = Tasa de evaporación.

Q_{gente} = Ganancia interna de la gente.

$Q_{equipamiento}$ = Ganancia interna del equipamiento.

$Q_{iluminación}$ = Ganancia interna de la iluminación.

G = Radiación

G_b = Radiación directa

G_d = Radiación difusa

G_r = Radiación reflejada

G_{dv} = Radiación difusa vertical

G_{dp} = Radiación difusa en un plano

TIL = Ángulo de inclinación

G_{rh} = Radiación reflejada horizontal

G_{rv} = Radiación reflejada vertical

INC_p = Ángulo de inclinación del plano horizontal

INC_v = Ángulo de inclinación del plano horizontal

G_h = Radiación total en pendiente

G_v = Radiación total en horizontal

Referencias

Augenbroe , G., & Park , C.-S. (2005). Quantification methods of technical building performance . *BUILDING RESEARCH & INFORMATION* , 159-172.

Augenbroe, G., Pearce , A., Guy, B., & Kibert, C. (1998). Sustainable construction in the USA: a perspective to the year 2010. *Sustainable Development and the Future of Construction , report, 225*, Vol. report, 225.

Alexander, C. (1962). *Notes of the Synthesis of Form* (3nd Edition ed.). Massachusetts: Harvard University Press.

ASHRAE 90.1. (2004). APPENDIX G.

Arroyo, P., Tommelein, I., & Ballard, G. (2012). Deciding a Sustainable Aalternative by 'Choosing by Advantages' in the AEC Industry. *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction* .

Bernal, M. (2011). OPEN DESIGN ENVIRONMENT FOR INCREMENTAL PRECISION ALONG DESIGN STAGES. Hong Kong.

Brans, J., & Mareschal, B. (2005). PROMETHEE methods. *Multiple Criteria Decision Analysis; state of the art surveys , Springer*, 163-186.

Construcciones., O. O. (2013). MANUAL DE PROCEDIMIENTO PARA LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS EN CHILE.

Cross, N., & Roozenburg, N. (1991). Models of the design Process; Integrating Across the Disciplines. *Design studies , 12* (4), 215-220.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Dubberly, H. (2004). *How do you design?* California: Dubberly Design Office.

Darke, J. (1979). The primary generator an the design process. *Design Studies* , 36-44.

Fenix, C. (2014). *Casa FENIX*. Retrieved 15 de 03 de 2015 from www.casafenix.cl

Gero , J., & Kannengiesser, U. (2004). The Situated function-beahvior-structure framework. *Design Studies* , 373-391.

Haymaker, J., Chachere, J., & Senescu, R. (2011). Measuring and improving rationale clarity in a university office building design process. *Journal of Architectural Engineering* , 97-111.

Herr , C., Gu , N., Roudavsky , S., & Schnabel , M. (2011). Open Design Enviroment for Incremental Precision Along Design Stages . *ircuit Bending, Breaking and Mending: Proceedings of the 16th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA 2011* . Hong Kong .

Horst, R. (1972). *On the Planning Crisis: Systems Analysis of the "First and Second Generations"*.

Jones, C. (1970). *Design Methods. Seeds of human fitires*. Londres: John Wiley & Sons Ltd.

Kalay, Y. (1985). Redefining the Role of Computers in Architecture: From Drafting/Modeling Tools to Knowledge-based Design Assistants. *Computer-Aided Design* , 319-328.

Lawson, B., & Dorst, K. (2009). *Design Expertise*. Burlington, MA, United States of America: Elsevier Ltda.

Minvu. (7 de 11 de 2013). Manual de procedimientos para la Calificación Energética de Viviendas en Chile. *Manual de procedimientos para la Calificación Energética de Viviendas en Chile*. Santiago, Chile.

MINVU.cl. (n.d.).

http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20070402125030&hdd_nom_archivo=Manual_Parte4.pdf. Retrieved 16 de 10 de 2014 from www.minvu.cl

MINVU.cl. (08 de 09 de 2013). *Minvu.cl*. Retrieved 16 de 06 de 2014 from [Calificacion Energetica de la Vivienda: calificacionenergetica.minvu.cl](http://CalificacionEnergetica.de.la.Vivienda:calificacionenergetica.minvu.cl)

Parrish, K., & Tommelein, I. (2009). Making Design Decisions Using Choosing by Advantages. *17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC*, pp. 15-17).

Pomero, J., & Adam, F. (2004). *Practical Decision Making - From the legacy of Herbert Simon to Decision Support System* (Vol. 3). In Actes de la Conférence Internationale IFIP TC8/WG8.

Szokolay, S. (2004). *Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design*. Oxford: Elsevier Ltd.

Sanguinetti, P., Bernal, M., El-Kaldi, E., & Erwing, M. (2010). Real Time Design Feedback: Coupling Performance Knowledge with Generative Design for Decision-

making. *In Proceedings of the 2010 Spring Simulation Multiconference* (p. 192). Orlando: Society for Computer Simulation International.

Sarmiento, P. (1999). *Energía Solar en Arquitectura y Construcción*.

Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner: How professional think in action*. Basic Books.

Rosenbaum, M. (2003). *Understanding the Energy Modeling Process: Simulation Literacy 101*. The Pittsburgh Papers: Best of Green-Build.