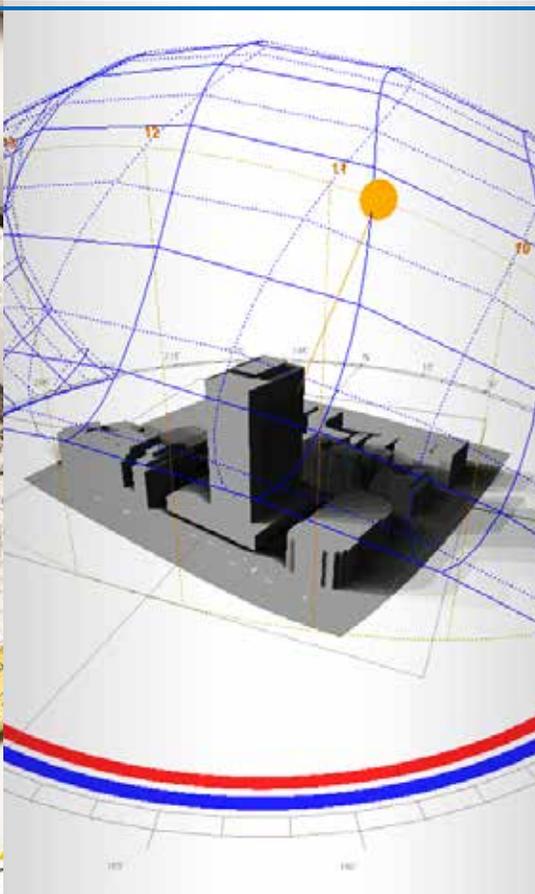




Manual de Gestor **ENERGÉTICO**

Sector Construcción



La Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) es una fundación de derecho privado, sin fines de lucro. Es un organismo autónomo, técnico y ejecutor de políticas públicas en torno a la eficiencia energética, que recibe financiamiento público y privado. Actualmente está operando con recursos obtenidos a través del Convenio de Transferencia con la Subsecretaría de Energía, perteneciente al Ministerio de Energía, y al Convenio de Financiamiento establecido con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), agencia implementadora del Fondo proveniente del Global Environment Facility (GEF).

Dentro de su marco de acción, la AChEE tiene como misión principal fortalecer el capital humano en temas relacionados con eficiencia energética (EE) en el país con el propósito de contribuir a que los sectores de consumo implementen medidas que les permitan utilizar más eficientemente los recursos energéticos, mejorando así su productividad y competitividad. En este sentido, la Agencia ha pretendido sensibilizar, difundir y promover la capacitación del sector profesional y técnico en aspectos generales de EE susceptibles de ser incorporados en distintos sectores de consumo.

La experiencia de la Agencia en este ámbito ha permitido identificar la necesidad de crear una oferta de formación adecuada a los requerimientos y desafíos futuros en EE para el país, desarrollando competencias pertinentes y perfiles profesionales y técnicos vinculados a procesos específicos y a la toma de decisiones en temas energéticos para el desempeño de funciones.

Para mejorar la calidad de la oferta de formación técnica y capacitación en EE, se debe establecer primero estándares de calidad para los cursos ofertados, en especial en lo referido a su adecuación con las exigencias del mercado laboral en este ámbito y a los perfiles específicos asociados a la implementación de la EE en los sectores de consumo. Es por lo tanto de interés de la Agencia desarrollar ofertas de capacitación en EE, en módulos, según los estándares definidos por el sistema de certificación de competencias laborales.

Junto a lo anterior, la formación técnica y la capacitación en el ámbito de la EE debe responder a los requerimientos de los sectores de consumo, tanto en la calidad de los programas, como en relación a la formación pertinente en competencias generales y específicas de las áreas demandadas. Igualmente, dicha formación técnica debe responder a sectores que el país defina como estratégicos o prioritario desde la perspectiva del desarrollo nacional.

© Agencia Chilena de Eficiencia Energética

Manual de Gestor Energético - Sector Construcción

Primera Edición: Abril de 2014

El "Manual de Gestor Energético - Sector Construcción", es un proyecto desarrollado por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) en el marco del "Programa de Capacitación para promover la Gestión Energética Eficiente de Edificios", y es financiada por el Ministerio de Energía.

Titularidad de los derechos:

Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE)

Autor:

Leonardo Meza Marín, DECON UC

Ana Karina Espinoza Garay, DECON UC

Carolina Campos Soura, DECON UC

Javier Carrasco, AChEE

Revisión y edición:

Javier Carrasco, AChEE

Diseño gráfico:

Víctor Vinagre D., AChEE

Harold Ordóñez Contreras, DECON UC

Empresa colaboradora:

DECON UC de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Derechos reservados

Capítulo 1: Contexto energético del curso	11
Unidad 1.1: Introducción al Gestor Energético dentro del Sector Construcción	12
1.1.1. Objetivos del curso	13
1.1.2. Contenidos del curso	16
Unidad 1.2: Diagnóstico del panorama energético internacional y nacional	16
1.2.1. Antecedentes de calentamiento global	16
1.2.2. Antecedentes de demanda energética mundial vs disponibilidad de energía	17
1.2.3. Oportunidades del sector edificación en eficiencia energética	23
1.2.4. Panorama Energético Nacional	26
1.2.5. Iniciativas de la AChEE para el sector Edificación	34
Unidad 1.3: Fundamentos de la Eficiencia Energética	37
1.3.1 Optimización de la Eficiencia Energética	38
1.3.2. Eficiencia energética en edificios	39
1.3.3. Balance térmico en la edificación	42
Capítulo 2: Diseño Pasivo Arquitectónico	45
Unidad 2.1. Estudio de parámetros climáticos	46
2.1.1. Temperatura	47
2.1.2. Radiación solar	48
2.1.3. Humedad	48
2.1.4. Vientos predominantes	49
2.1.5. Nubosidad	49
2.1.6. Pluviometría	50
2.1.7. Microclimas	50
2.1.8. Aplicabilidad del clima en la Gestión Energética del Diseño	50
Unidad 2.2. Calidad del Ambiente Interior	52
2.2.1. Confort higrotérmico	52
2.2.2. Confort lumínico	56
2.2.3. Confort acústico	58
2.2.4. Calidad del aire	59
2.2.5. Confort olfativo	60
2.2.6. Confort psicológico	60
2.2.7. Ejercicio práctico: Método de Fanger	61
Unidad 2.3. Estrategias de diseño pasivo	61
2.3.1. Orientar, definir forma y distribución	62
2.3.2. Definir la envolvente térmica	64
2.3.3. Idear estrategias para calefaccionar	76
2.3.4. Idear estrategias para enfriar	77
2.3.5. Estrategias de iluminación natural	81
2.3.6. Definir detalles y especificaciones eficientes	82
2.3.7. Ejercicios prácticos	94
Unidad 2.4: Materiales y Sistemas Constructivos Eficientes	102
2.4.1. Análisis del ciclo de vida de un proyecto de construcción	102
2.4.2. Selección de materiales y sistemas constructivos con base en criterios de eficiencia energética	105
2.4.3. Alternativas eficientes en el mercado	111
Unidad 2.5. Apoyo tecnológico y certificaciones	116
2.5.1. Herramientas de simulación	117
2.5.2. Herramientas de verificación	120
2.5.3. Herramientas de certificación	122

Capítulo 3: Ingeniería y diseño activo en la edificación 129

Unidad 3.1: Introducción a los sistemas de especialidades	130
3.1.1. Objetivos de los sistemas de especialidades	130
3.1.2. La demanda energética asociada	130
3.1.3. Determinación de consumos energéticos	131
3.1.4. El consumo de energías desde una perspectiva de eficiencia	133
Unidad 3.2: Sistemas de especialidades	134
3.2.1. Sistemas de climatización	135
3.2.2. Sistemas sanitarios	139
3.2.3. Iluminación y sistemas eléctricos	142
Unidad 3.3: Compatibilidad entre los sistemas de especialidades	147
3.3.1. Situación actual	147
3.3.2. La metodología actual para el diseño de edificios	150
3.3.3. El cambio a la metodología BIM (Building Integrated Modeling)	150
3.3.4. Ventajas y desventajas, el uso para el diseño del edificio de la Energía	152

Capítulo 4: Análisis de costos del proyecto 155

Unidad 4.1: Introducción al análisis de costos	156
4.1.1. Propuestas	156
4.1.2. Contratos	158
4.1.3. Presupuestos	161
4.1.4. Itemizados y análisis de precios unitarios	162
4.1.5. Costos financieros	162
4.1.6. Tasaciones de bienes inmuebles	163
Unidad 4.2: Matemáticas financieras y criterios de decisión	165
4.2.1. Matemáticas financieras	165
4.2.2. Criterios de decisión	166
4.2.3. Estimación de costos	173
Unidad 4.3: Aplicación de evaluación de proyectos de eficiencia energética	176
4.3.1. Motores eléctricos	176
4.3.2. Cálculo de conductores y cables eléctricos	179
4.3.3. Optimización de un sistema de iluminación en una planta industrial	181

Capítulo 5: Evaluación de proyectos 185

Unidad 5.1: Estudio de perfil técnico económico	186
5.1.1. Definición de un proyecto de evaluación	187
5.1.2. Estudio de mercado	187
5.1.3. Estudio técnico	189
5.1.4. Estudio legal	193
5.1.5. Estudio financiero	194
5.1.6. Evaluación privada y social	195
5.1.7. Huellas en el entorno	198
Unidad 5.2: Evaluación de proyectos	199
5.2.1. Criterios cuantitativos de evaluación de proyectos	199
5.2.2. Sensibilidad	199
5.2.3. Ejemplos	199

Capítulo 6: Acondicionamiento térmico y control de calidad 207

Unidad 6.1. Verificación experimental in situ de comportamiento térmico y de infiltraciones en edificios	208
6.1.1 Determinación de la transmitancia térmica de elementos de la envolvente	208
6.1.2 Presurización (Infiltraciones mediante Blower Door)	211
6.1.3. Termografía infrarroja	212

Capítulo 7: Inspección técnica de obra bajo criterios de Eficiencia Energética 217

Unidad 7.1: Identificación de puntos críticos a evaluar con base en criterios de eficiencia energética	218
7.1.1. Conceptos	218
7.1.2. Puntos Críticos a Inspeccionar	221
Unidad 7.2: Instructivos de trabajo	231



14-552/4

CONTEXTO ENERGÉTICO DEL CURSO

CAPÍTULO

01



al término del módulo el alumno será capaz de:

- Asociar los objetivos del curso al desarrollo de sus actividades profesionales.
- Adoptar una posición crítica respecto al escenario energético nacional e internacional, y las problemáticas que estos enfrentan.
- Adoptar una posición crítica respecto al uso y gestión eficiente de la energía dentro de los sectores productivos.

Unidad 1.1: Introducción al Gestor Energético dentro del Sector Construcción

La demanda energética actual es objeto de preocupación a nivel mundial. Los incrementos que ha manifestado en las últimas décadas, junto con el agotamiento paulatino de los principales recursos energéticos, ha provocado incertidumbre respecto a la sostenibilidad de las futuras generaciones.

Diversas organizaciones han mostrado una preocupación por el tema de la sostenibilidad y en especial por el problema de la demanda energética. En el caso de algunas organizaciones empresariales o productivas, el problema se ha abordado incorporando la sostenibilidad como un pilar dentro de sus estrategias de negocios, disminuyendo los costos energéticos a través de la eficiencia e innovación tecnológica y potenciando así la apertura a nuevos mercados.

De esta forma han surgido diferentes aproximaciones que buscan mitigar el problema de la demanda de energía: desde el uso de energías renovables como nuevas fuentes energéticas, hasta la gestión y el uso eficiente de la energía dentro de los sectores productivos.

Las energías renovables corresponden a aquellas energías que se obtienen a partir de fuentes naturales consideradas inagotables: energía hidráulica, geotérmica, mareomotriz, solar, eólica, biomasa, entre otras. Estas se caracterizan por generar bajos niveles de contaminación y por tener la capacidad de regenerarse, lo cual constituye una solución al incremento del consumo energético a futuro.

Por otra parte se encuentran los mecanismos de gestión y uso eficiente de la energía, los cuales apuestan a las acciones que permitan reducir el consumo de energía manteniendo la calidad de los servicios que esta ofrece, ya sea utilizando la tecnología adecuada o implementando medidas de uso racional y eficiente de la energía dentro de los diferentes

sectores productivos, lo cual ha llegado a ser un nuevo combustible para el funcionamiento de los sistemas, basado en un recurso económico e inagotable: el ahorro energético.

En la línea de esta última iniciativa, la Agencia Chilena de Eficiencia Energética busca promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía dentro de los diferentes sectores productivos, mediante diferentes mecanismos de acción. En particular, en el sector Edificación, busca asistir el diseño de edificaciones nuevas, establecer mejoras en edificaciones existentes, y crear perfiles claves dentro del sector, con el fin de capacitar a sus actores en la materia.

Enfocados en la formación de capacidades y competencias, nace el proyecto "Creación del perfil de Gestor Energético para el sector construcción" a través del cual se ha levantado este perfil, y se busca capacitar a actores específicos para que puedan desenvolverse como gestores energéticos dentro de dicho sector.

Los resultados del proyecto han dado lugar a un perfil de gestor energético que abarca tres áreas de acción: Gestión durante el diseño; gestión durante la ejecución; y gestión durante la operación de la edificación. El presente curso de capacitación entrega los conocimientos teóricos propios del "Gestor Energético durante la ejecución", de manera que al finalizar la capacitación, el alumno sea capaz de desenvolverse como gestor energético dentro de esta etapa.

1.1.1. Objetivos del curso

Al finalizar el curso, el alumno debe ser capaz de:

- Asesorar, supervisar y controlar la incorporación de las soluciones de diseño adoptadas en el proyecto, bajo criterios de eficiencia energética. Evaluando la compatibilidad de las soluciones constructivas propuestas por el mandante con el objetivo de lograr un proyecto más eficiente.
- Asesorar, supervisar y controlar la planificación de las partidas determinantes del desempeño energético del proyecto. Proponiendo mejoras al diseño para minimizar la demanda energética del proyecto durante su operación.
- Diseñar soluciones constructivas compatibles con el objetivo de lograr un proyecto más eficiente, verificando el resultado final de las partidas determinantes en el desempeño energético del proyecto.
- Conocer y Aplicar ensayos y mecanismos de revisión para verificar el correcto funcionamiento de las instalaciones térmicas

- Coordinar los recursos humanos y materiales del proyecto, para mejorar el rendimiento y la eficiencia en el desarrollo de las partidas.
- Tomar decisiones con respecto a materiales y sistemas constructivos, para alinearlos con los objetivos, desempeño, estándares de calidad, propuestas de mejoramiento y administración del proyecto, demostrando la viabilidad económica y financiera de un proyecto diseñado bajo criterios de eficiencia energética.
- Establecer un diálogo proactivo con los distintos actores involucrados en el proyecto respecto a la toma de decisiones bajo criterios de eficiencia energética; siendo capaz de transmitir la contribución del proyecto a un equipo interdisciplinario de trabajo (Arquitectos, Ingenieros, Constructores Civiles y otros), con el fin de recoger, evaluar y guiar las propuestas de los distintos profesionales y equipos de trabajo en pos de un mejor desempeño energético del proyecto.
- Acordar los lineamientos con el mandante o equipos de trabajo durante la materialización del proyecto, en pos de un mejor desempeño energético de este.

1.1.2. Contenidos del curso

El curso se divide en 7 capítulos que en conjunto agrupan los conocimientos teóricos que debe manejar un gestor energético para actuar de manera asertiva durante la etapa de ejecución de un proyecto de construcción, tanto para gestionar la ejecución del proyecto bajo criterios de eficiencia energética como para promover el desarrollo de este de manera de lograr un uso eficiente de la energía.

A continuación se presenta una descripción de cada uno de los capítulos del curso:

Capítulo 1: Contexto energético del curso

Entrega los contenidos preliminares generales con el objetivo de contextualizar el curso. Para ello se divide en tres unidades:

- La unidad 1.1 se refiere a los objetivos que persigue el curso y las materias a abordar durante su desarrollo.
- La unidad 1.2 ahonda en el escenario energético que enfrentamos hoy tanto como país así como a nivel internacional.
- La unidad 1.3 se refiere específicamente a la eficiencia energética y sus fundamentos, relacionándolos con los objetivos del curso.

Capítulo 2: Diseño Pasivo Arquitectónico

Entrega los contenidos específicos determinantes del diseño de la envolvente del edificio. Para ello se divide en tres unidades:

- La unidad 2.1 se refiere a los diferentes factores que influyen en el diseño de la envolvente, desde parámetros climáticos hasta estrategias para maximizar el aprovechamiento de las condiciones naturales del lugar y reducir al mínimo los requerimientos energéticos del edificio desde el diseño.
- La unidad 2.2 se refiere a elementos de la calidad del ambiente interior, analizando sus tipos de confort y entregando un ejercicio práctico para su aplicabilidad.
- La unidad 2.3 se refiere a diferentes estrategias que buscan maximizar el diseño pasivo de la edificación, entregando ejercicios prácticos que analizan el impacto de estos en los requerimientos energéticos del edificio.
- La unidad 2.4 entrega información relevante respecto a las condiciones de mercado en materia de productos eficientes, tanto en materiales como en sistemas constructivos, con el objeto de guiar la toma de decisiones del gestor bajo criterios de eficiencia energética.

- La unidad 2.5 trata las diferentes herramientas de apoyo al diseño dirigidas tanto a la simulación del comportamiento energético del edificio como a su posterior verificación en terreno. Además se refiere a las herramientas de certificación energética de edificios aplicadas hoy dentro del sector.

Capítulo 3: Ingeniería y diseño activo en la edificación

Entrega los contenidos teóricos asociados al diseño de sistemas de especialidades (instalaciones de clima, sanitarias, eléctricas, e iluminación), analizando los diferentes tipos de sistemas y la compatibilidad entre ellos. Para ello se divide en tres unidades:

- La unidad 3.1 realiza una introducción a los sistemas de especialidades, estudiando los objetivos que persiguen este tipo de instalaciones y la demanda energética asociada a cada uno de ellos.
- La unidad 3.2 realiza una descripción de los sistemas de especialidades (climatización, sanitarios, eléctricos, e iluminación), estudiando sus componentes; fuentes de energía; ventajas y desventajas.
- La unidad 3.3 expone una herramienta de desarrollo de proyectos digitales que identifica las variables que influyen en la interacción entre especialidades.

Capítulo 4: Análisis de costos del proyecto

Entrega los contenidos teóricos necesarios para evaluar la relación óptima costo/desempeño en la especificación de soluciones constructivas, a través del análisis de los costos del proyecto referentes a la incorporación de criterios de eficiencia energética y evaluación de proyectos. Para ello se divide en tres unidades:

- La unidad 4.1 se refiere a los diferentes tipos de contratos dentro de un proyecto de construcción, la preparación del presupuesto y el análisis de precios unitarios.
- La unidad 4.2 expone los elementos de matemáticas financieras y criterios de decisión involucrados en el estudio de alternativas de eficiencia energética.
- La unidad 4.3 presenta aplicaciones de matemáticas financieras y criterios de decisión involucrados en el estudio de alternativas de eficiencia energética.

Capítulo 5: Evaluación técnica y económica de proyectos

Entrega los contenidos teóricos necesarios para demostrar la viabilidad económica y financiera de un proyecto diseñado bajo criterios de eficiencia energética. Para ello se divide en dos unidades:

- La unidad 5.1 se refiere al desarrollo de un estudio de perfil técnico - económico del proyecto, detallando las diferentes etapas que lo componen.
- La unidad 5.2 se refiere a la aplicación del proceso de evaluación de proyectos propiamente tal, aplicando técnicas, criterios, y tipos de evaluación a proyectos con eficiencia energética.

Capítulo 6: Acondicionamiento térmico y control de calidad

Entrega los contenidos específicos determinantes del acondicionamiento térmico del Edificio. Para ello se divide en seis unidades:

- La unidad 6.1 se refiere a los mecanismos de verificación "in situ" del comportamiento térmico del edificio y de infiltraciones de aire en edificios.

Capítulo 7: Inspección técnica de obra bajo criterios de Eficiencia Energética

Entrega las herramientas necesarias para llevar a cabo la inspección técnica de obra, evaluando criterios de eficiencia energética específicos. Para ello se divide en 3 unidades:

- La unidad 7.1 realiza un preámbulo a modo introductorio, entregando conceptos claves a conocer y los puntos críticos a evaluar durante la inspección con base en criterios de eficiencia energética.
- La unidad 7.2 entrega y describe los "Instructivos de Trabajo" y los "Protocolos de Revisión" a utilizar durante la inspección de las partidas, indicando en qué casos deben utilizarse.

Unidad 1.2: Diagnóstico del panorama energético internacional y nacional

1.2.1. Antecedentes de calentamiento global

Entendemos por *clima* al estado de las condiciones atmosféricas que influyen en una zona determinada durante un período de tiempo determinado. Se determina mediante información meteorológica recopilada dentro de un período representativo, generalmente de 30 años o superior.

En la misma línea es posible definir *cambio climático* como la modificación de este clima representativo respecto a lo registrado en el historial meteorológico de una zona determinada. Este es un fenómeno que ha aquejado a las naciones durante las últimas décadas, período en el que se ha manifestado a través de hechos cuya probabilidad de ocurrencia no se advirtió hace años atrás.

Las causas del cambio climático y específicamente del aumento de la temperatura terrestre, son variadas y en la actualidad se sostiene una amplia discusión en torno a ello, cuestionando cuáles son atribuibles directamente a la acción del hombre y el peso que tendrían sus consecuencias para las generaciones futuras. Variaciones en los movimientos terrestres, la radiación solar y la intervención del hombre en la naturaleza, son los principales factores incidentes en este cambio.

La gravedad del tema converge en sus consecuencias, en primer lugar el aumento de la temperatura está provocando el derretimiento del hielo en el planeta y poniendo en riesgo el suministro de agua dulce para la población; se ha dado lugar a períodos de inundaciones y sequías, que han desestabilizado a pueblos enteros; se ha registrado la elevación del nivel del mar y el deshielo de glaciares, lo cual es una amenaza de inundación latente para poblados de baja altitud; se han producido fenómenos climáticos extremos, como olas de calor y frío en ciertas naciones, y se ha potenciado la fuerza de fenómenos como huracanes, tormentas, tornados, terremotos, entre otros.

De manera concreta, estos hechos traen consigo daños de alta y mediana gravedad tanto a seres vivos como bienes materiales, y hoy constituyen una amenaza a la sostenibilidad de las generaciones futuras.

De acuerdo al informe elaborado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) entre los años 2001 y 2010, el cambio climático se ha acentuado manifestándose su importancia a través de las precipitaciones, temperaturas y múltiples fenómenos meteorológicos extraordinarios.

El documento analiza datos meteorológicos de 102 países durante el período 2001-2010, y revela lo siguiente:

- En 63% de los países se ha registrado la ocurrencia de inundaciones mientras que en un 43% de ellos se han producido períodos de sequía.
- En ciertas zonas del hemisferio norte se ha observado un volumen de precipitaciones superior a la media de años anteriores (en el este de Estados Unidos, el norte y este de Canadá, Europa y Asia central, Colombia, el norte y el sur de Brasil, Uruguay y la zona norte de Argentina.)
- En ciertas zonas ubicadas hacia el suroeste se ha observado un volumen de precipitaciones inferior a la media de años anteriores (en el oeste de Estados Unidos, el suroeste de Canadá, Alaska, el sur y el oeste de Europa, el sur de Asia, Centroamérica, África central y la zona de la Amazonía.)
- La década en estudio se declaró como la más cálida desde que existen registros, observándose temperaturas que superaron la media de temperaturas máximas anteriores en aproximadamente 0,46°C.
- Fenómenos meteorológicos extremos se registraron a lo largo del globo, inundaciones, sequías, ciclones, olas de calor y frío, entre otros eventos provocaron múltiples pérdidas tanto materiales como humanas.
- El cambio climático amenaza con disminuir el suministro y disponibilidad de agua en el planeta, contrastado con el aumento de la demanda por el recurso por parte de los diferentes sectores productivos, lo cual provocaría efectos desastrosos a todo nivel.

Sin embargo, más allá del cambio climático manifestado hoy, la preocupación recae en la velocidad con que este se está produciendo, la cual no posee precedentes en la historia del hombre. Esto lleva a cuestionar la forma en que el ser humano coexiste hoy con su medio ambiente, dado que la principal justificación del aumento de la temperatura terrestre corresponde a la acumulación de gases contaminantes en la atmósfera provenientes de las actividades del ser humano, cuyas concentraciones han alcanzado niveles inesperados.

La velocidad con que se ha desarrollado el cambio climático ha llevado a elevar 0,74°C la temperatura media terrestre

durante los últimos 100 años, la cual se ha pronunciado en las últimas décadas registrándose los períodos más calurosos desde que se tiene registro.

Sin embargo las actividades que realiza en ser humano a diario no pueden prescindir hoy del consumo de energía, lo cual de una u otra forma deriva en la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. De esta forma surge en respuesta a la problemática, el limitar el incremento de la demanda energética de las naciones, potenciar el uso de energías limpias, y castigar la emisión de gases contaminantes.

Algunas acciones que permiten frenar el avance de este fenómeno son simples, sin embargo, ameritan la concientización de la población en la materia. Hacer un uso eficiente de la energía, limitar el uso de agua, hacer uso de energías renovables, reciclar materiales, y limitar en lo posible el derroche energético, son soluciones que si logran masificarse, podrían amortizar en buena medida el cambio climático y sus consecuencias.

1.2.2. Antecedentes de demanda energética mundial vs disponibilidad de energía

De acuerdo a la información entregada por la Agencia Internacional de Energía (AIE) en su informe de diagnóstico (2012), el panorama energético mundial se encuentra actualmente en etapa de cambios. El renacer de Estados Unidos en la producción de gas y petróleo; la internacionalización de la producción de gas no convencional fuera de sus fronteras; los avances tecnológicos y el rápido crecimiento de las energías solar y eólica; el repliegue por parte de algunos países respecto al uso de la energía nuclear; y las potenciales mejoras en términos de uso eficiente de la energía, han generado un periodo de transición que plantea nuevos desafíos.

El escenario posee varias aristas. En primer lugar la catástrofe de Fukushima 2011 ha generado preocupación y ha fundado ciertas dudas respecto el uso de energía nuclear, la cual se proyecta como la energía del futuro y es una de las respuestas más factibles a las necesidades energéticas de las nuevas generaciones. Esta desconfianza beneficia el crecimiento de otras fuentes energéticas, principalmente las renovables, cuyo impulso y avance tecnológico durante los últimos años ha sido significativo.



Por otra parte se encuentra la situación particular de los combustibles fósiles, los cuales dominan el mercado energético y al parecer lo seguirán haciendo durante los próximos años. En este ámbito Irak ha emergido como un actor importante en la producción de petróleo.

A esto se suma el escenario de un "mundo más eficiente", donde se espera que surjan las iniciativas políticas necesarias para el desarrollo de la eficiencia energética a nivel mundial y se eliminen las barreras de mercado para que estas sean adoptadas.

Sin embargo, el tiempo es apremiante y el desafío del cambio climático latente. La emisión de gases contaminantes en un mundo donde es casi imposible prescindir de ellos, sumado a la necesidad de consumir energía, la demanda energética creciente y las zonas pobladas que aun carecen del servicio, dan urgencia al problema.

La AIE ha realizado un estudio de la proyección de la situación energética global para 2035, planteado tres escenarios distintos en función de las estrategias adoptadas en cada uno de ellos.

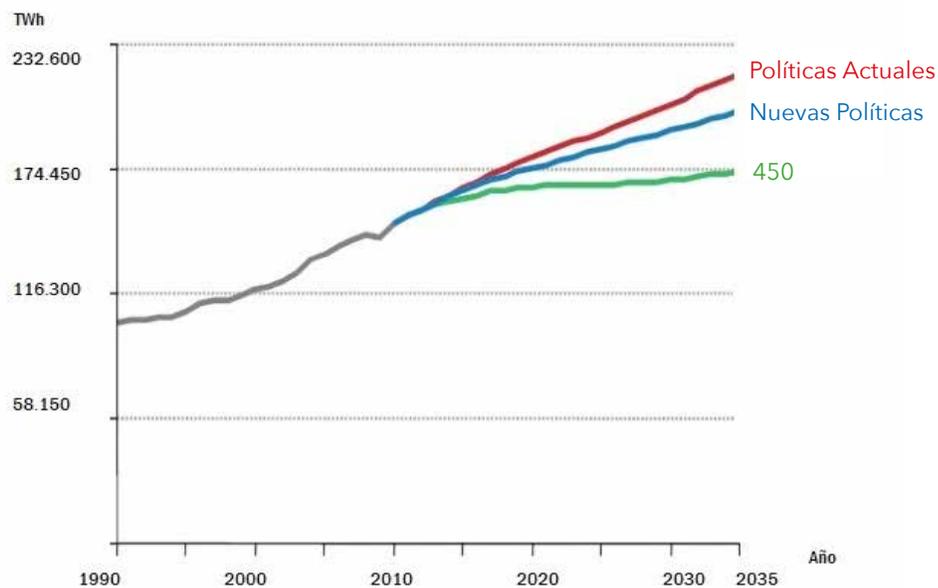
- El escenario de políticas actuales o escenario de referencia, el cual considera que se mantienen las políticas adoptadas hasta mediados de 2010, sin involucrar nuevos compromisos respecto al tema.

- El escenario de nuevas políticas, el cual considera los nuevos planes y compromisos respecto a políticas energéticas adoptados por países en todo el mundo.
- El escenario 450, en el cual los países se alinean con el objetivo de limitar el incremento de temperatura a 2°C y fija un tope de emisión de CO2 a la atmósfera de 450 ppm.

Cada uno de estos escenarios trae consigo un costo asociado para llevarse a cabo, puesto que alcanzarlo implica el implementar medidas concretas por parte de las naciones. En este sentido, el escenario más factible de adoptar según la AIE, es el escenario de las nuevas políticas.

La proyección de crecimiento de la demanda energética mundial a futuro, específicamente entre los años 2010 al 2035, se ha planteado para estos tres escenarios, donde claramente a medida que se suman iniciativas la demanda se ve amortizada. El mejor de los escenarios es el denominado "450" donde el crecimiento se limita a un 16,2% acumulado al 2035 (0,6% de crecimiento anual), lo cual resulta atractivo considerando que manteniendo las políticas adoptadas actualmente el crecimiento de la demanda sería casi tres veces mayor, alcanzando un 46,7%.

Figura 1: Proyección de crecimiento de la demanda energética mundial para 2035



Fuente: International Energy Agency (2012). World Energy Outlook 2012.
Recuperado de <http://www.iea.org>

La evidencia estadística revela que el crecimiento económico de las naciones se encuentra directamente relacionado con el crecimiento de la demanda energética. Bajo el escenario de las nuevas políticas, se espera que la demanda energética mundial crezca más de un tercio para el año 2035, crecimiento liderado por China, India y Medio Oriente, los cuales en conjunto significan el 60%. Mientras tanto en los países de la OCDE la demanda de energía se mantendrá relativamente estable.

Existen diferentes factores que influyen en el crecimiento del consumo de energía a nivel mundial, cada uno de ellos incide de manera distinta e impacta en mayor o menor grado en el consumo. En primer lugar existe una relación directa entre la **cantidad de hogares en el mundo** versus el consumo de energía, a medida que surgen nuevos hogares estos traen consigo actividades consumidoras de energía.

Se espera a futuro que las mejoras en los estándares de vida de los países en desarrollo, den lugar a nuevos sistemas de climatización, electrodomésticos y un sinfín de aparatos electrónicos que potenciarán la demanda de energía.

Otro factor que incide en el crecimiento de la demanda, es la **creación de nuevos centros urbanos**, este es un importante generador de necesidades energéticas. Este factor tiene relación con el lugar y la calidad de vida de las personas, actualmente y a futuro se espera el movimiento desde las zonas rurales a la ciudad, donde se espera se cree un mayor número de viviendas pero con un menor número de moradores por hogar. Los residentes de tipo urbano son mayores consumidores de energía, sin embargo, poseen acceso a aparatos y combustibles más modernos y eficientes.

Otro motor del consumo de energía, se relaciona con la **cantidad de población en edad de trabajar** (entre 15 y 64 años aproximadamente), la cual se encuentra estrechamente vinculada con el crecimiento de las economías de las naciones y la función de producción de los estados. Aquellas naciones que poseen gran población en edad de trabajar gozan de economías estables acompañadas de un mayor consumo de energía.

Para el 2040, se espera que algunas naciones comiencen a estabilizar su población, dado por las bajas tasas de natalidad estimadas en conjunto con otros factores que incidirán en el aumento de la cantidad de habitantes mayores. Estados Unidos por su parte, continuará el crecimiento de su población y la extensión de la población en edad de trabajar.

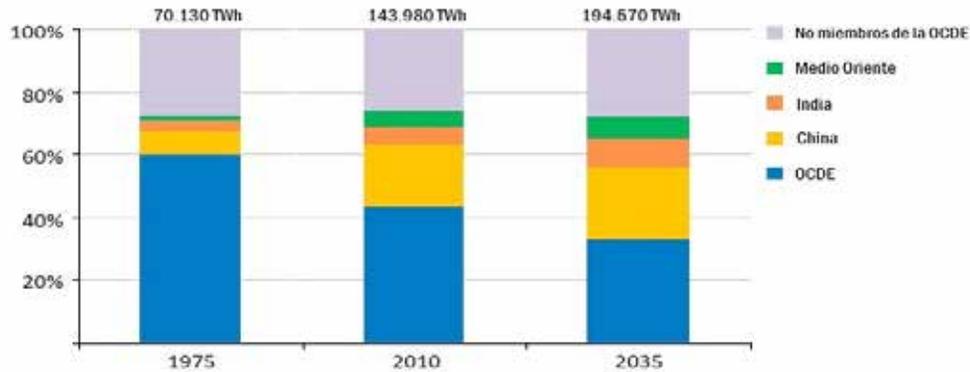
Para el 2030, se espera que China alcance su máximo de población, llegando a los 1,4 mil millones de habitantes.

Sin embargo, dadas las políticas de control de la población que se han desarrollado, es posible que el máximo de población en edad de trabajar se alcance dentro de los próximos 10 años, lo cual repercutirá directamente en el crecimiento económico y la demanda energética de la nación a largo plazo. Para el mismo año, se espera que India llegue a ser el país más poblado del mundo y que amplíe su economía dado por la expansión de la población en edad de trabajar.

Por otra parte, en África se manifiesta un crecimiento más acelerado aún de la población, y junto con India se espera que se conviertan en dos de las áreas líderes en crecimiento del PIB para el 2030, dado por la expansión de la población en edad de trabajar, acompañado de la capacitación de la mano de obra y la creación de nuevo empleos, logrando así expandir sus economías y prosperidad.

La siguiente gráfica muestra cómo ha cambiado la distribución de la demanda energética global durante las últimas décadas junto con la proyección de la situación para 2035. Es posible apreciar que los países de la OCDE han reducido considerablemente su participación mientras China se encuentra en auge.

Figura 2: Distribución de la demanda energética mundial



Fuente: International Energy Agency (2012). World Energy Outlook 2012. Recuperado de <http://www.iea.org>

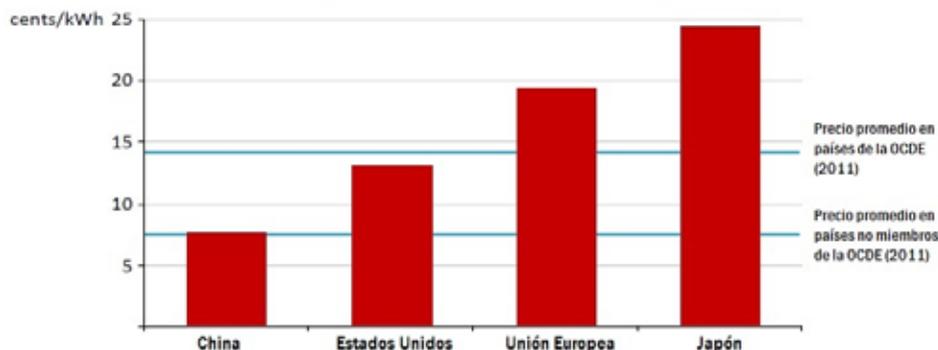
Un factor incidente y que significa la mayor parte de la demanda energética mundial, lo constituye la demanda de electricidad, la cual aumenta a una velocidad dos veces mayor que el consumo total de energía. Este crecimiento acelerado del consumo de electricidad, conlleva a la necesidad de creación de nuevos centros de generación y el reemplazo de aquellos que hoy se encuentran obsoletos, lo cual es una inversión importante para las economías de las naciones.

El reemplazo de aquellas centrales que se espera queden obsoletas y cierren para el 2035, significa cerca de un tercio de la nueva capacidad de generación instalada para el mismo año. Esta capacidad instalada proviene un 50% de instalaciones basadas en fuentes de generación renovable, sin embargo el carbón se mantiene como protagonista dentro de los combustibles utilizados en la generación de energía eléctrica.

El incremento de la demanda por energía eléctrica a nivel mundial, repercute directamente en el precio del recurso, el cual varía para cada nación dependiendo de sus características. Para el 2035 se espera que los precios promedio de electricidad a nivel mundial crezcan alrededor de un 15%, dado por el aumento en el precio de los combustibles, las subvenciones a las energías renovables, y el castigo a las emisiones de CO2 en algunas naciones, entre otros factores.

En la siguiente gráfica se observan los precios promedio de electricidad para algunas naciones proyectado al año 2035, donde China y Estados Unidos poseen los precios más bajos mientras que la Unión Europea y Japón absorben valores mayores. Además se advierte la diferencia en la media de precios entre los países pertenecientes a la OCDE y aquellos que están fuera de esta organización, en los cuales el valor de la electricidad es casi la mitad de lo registrado en la OCDE.

Figura 3: Precios promedio de electricidad a nivel internacional en el hogar para 2035

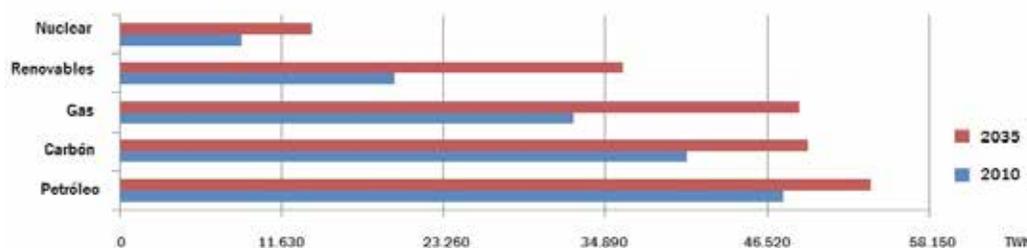


Fuente: International Energy Agency (2012). World Energy Outlook 2012. Recuperado de <http://www.iea.org>

Consumo de Combustibles

Respecto a la proyección del consumo de combustibles, la lista se encuentra liderada por los combustibles fósiles aún cuando aquellos de baja emisión de carbono han experimentado un fuerte crecimiento durante los últimos años. La situación la respaldan los subsidios económicos dirigidos al consumo de combustibles fósiles, los cuales prevalecen considerablemente por sobre aquellos dirigidos a energías renovables, superando casi 6 veces su valor. Esta práctica es común en países productores de petróleo, donde el alza de los precios ha fomentado esta herramienta, siendo el caso de Oriente Medio y el Norte de África.

Figura 4: Proyección de consumo de combustibles al 2035



Fuente: International Energy Agency (2012). *World Energy Outlook 2012*. Recuperado de <http://www.iea.org>

Consumo de Combustibles

Respecto a la proyección del consumo de combustibles, la lista se encuentra liderada por los combustibles fósiles aún cuando aquellos de baja emisión de carbono han experimentado un fuerte crecimiento durante los últimos años. La situación la respaldan los subsidios económicos dirigidos al consumo de combustibles fósiles, los cuales prevalecen considerablemente por sobre aquellos dirigidos a energías renovables, superando casi 6 veces su valor. Esta práctica es común en países productores de petróleo, donde el alza de los precios ha fomentado esta herramienta, siendo el caso de Oriente Medio y el Norte de África.

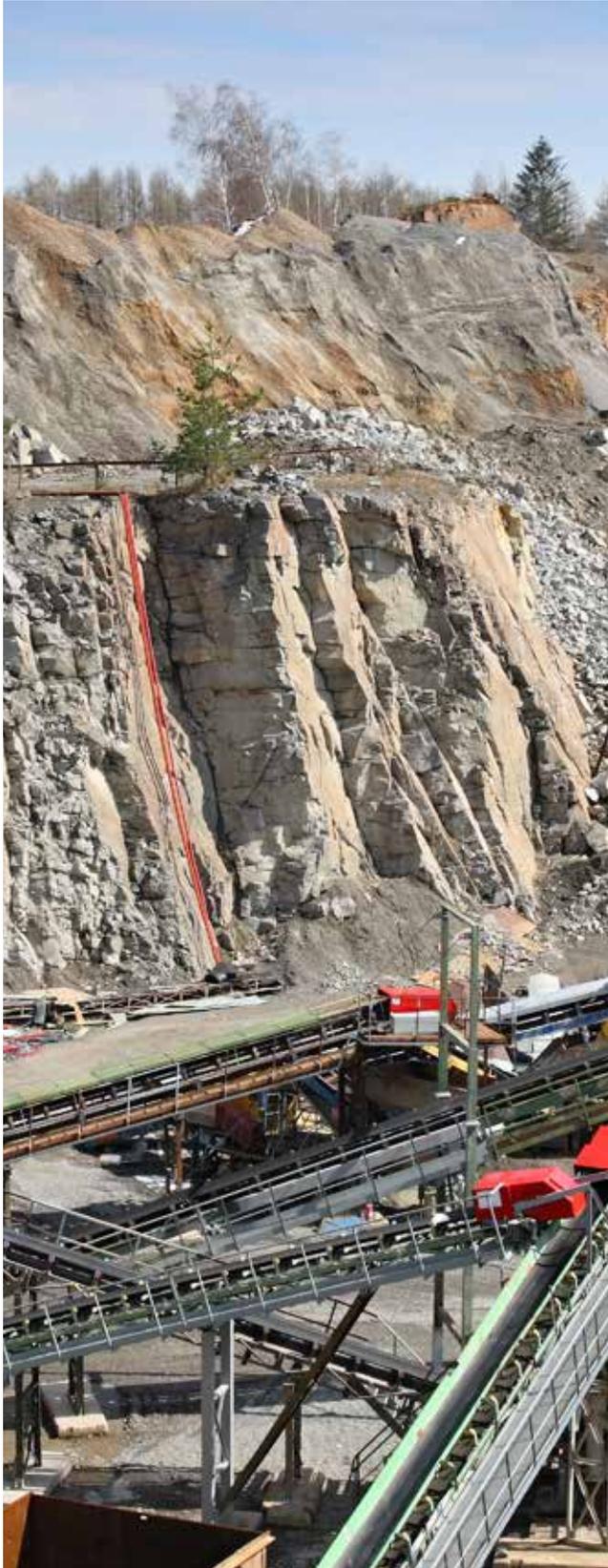
Figura 4: Proyección de consumo de combustibles al 2035

Actores importantes en la producción de combustibles fósiles (gas, petróleo y carbón) corresponden a Medio Oriente, Rusia, China, India y Estados Unidos. Destaca el caso particular de Estados Unidos en la producción de petróleo, potencia que a punta de nuevas tecnologías para extraer el recurso, ha llegado a desplazar a Arabia Saudita.

Para el 2035 se espera que estas potencias sigan liderando la producción de combustibles fósiles e incluso que aumente en cierto grado, a diferencia de la Unión Europea donde se verá reducida.

En particular los países de la OCDE han manifestado mayor preocupación respecto al tema, lo cual se ve evidenciado en el crecimiento de la demanda en energías renovables y gas natural, y el descenso en el uso de carbón y petróleo.

Sin embargo los esfuerzos de la OCDE por potenciar el uso de energías limpias y reducir el consumo de combustibles fósiles se ve contrastado por el crecimiento del consumo de petróleo en economías emergentes como China, India y Oriente Medio, donde el aumento de la demanda energética alcanza un 60% para el 2035, contra un 3,2% de crecimiento de los países de la OCDE.



Distribución y uso de combustibles por Sectores

Teniendo una visión global de consumo, es menester analizar la distribución de este por sectores. En primer lugar se advierte la coexistencia de múltiples fuentes energéticas y combustibles que permiten dar abasto y satisfacer la demanda energética mundial. La lista se encuentra liderada por el consumo de petróleo, seguido muy de cerca por el carbón y el gas natural, todos ellos combustibles fósiles y de alta emisión de hidrocarburos. En cuarto lugar se ubican las energías renovables, hoy en ascenso, y por último la energía nuclear.

Estos energéticos pueden utilizarse directamente en la generación de electricidad y calor, o deben ser transformados a una forma que pueda ser utilizada por el consumidor final. Esto último es común en combustibles como el petróleo, gas y carbón, donde un 93%, 57%, y 34% de su producción se somete a procesos de transformación, respectivamente.

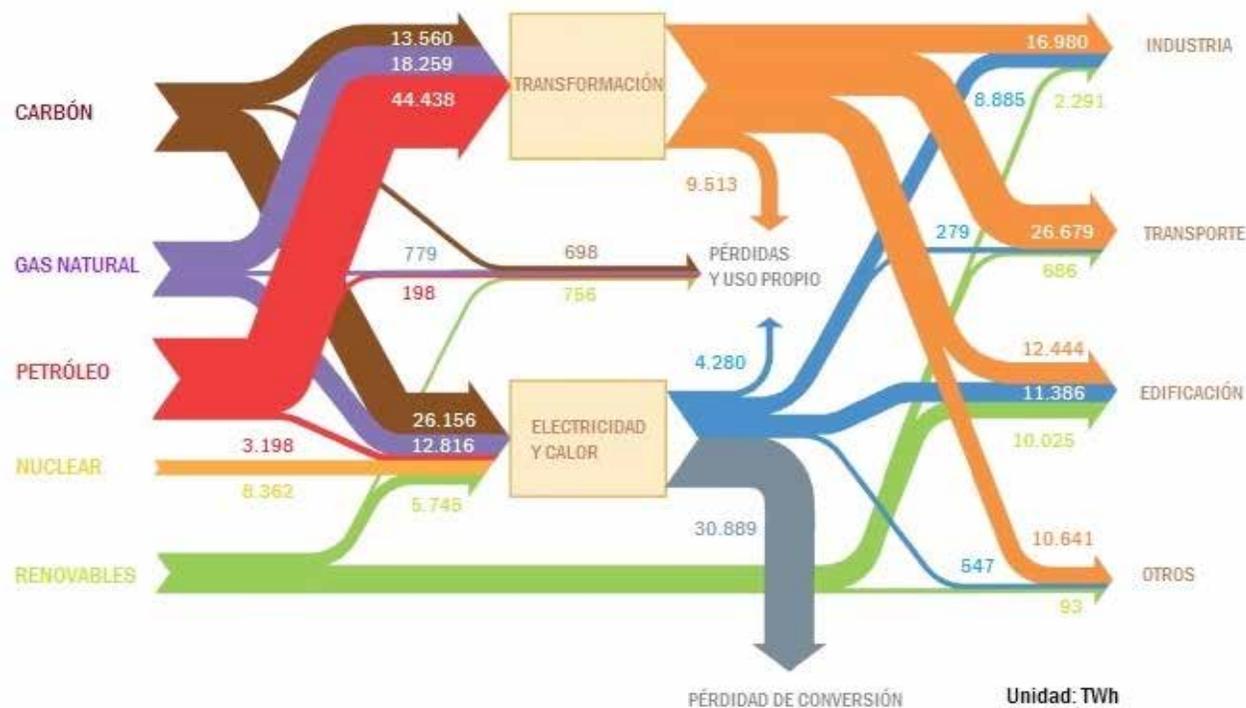
A diferencia de ello, la energía nuclear es utilizada exclusivamente en la generación de electricidad y calor, mientras que en el caso de las energías renovables sólo el 29% se utiliza con estos fines ya que el resto constituye una fuente energética directa dentro de los diferentes sectores productivos.

Una vez que estos energéticos se han transformados en fuentes secundarias o han sido utilizados en la generación de electricidad y calor, son absorbidos dentro de los sectores productivos en diferentes proporciones. En primer lugar, aquellos energéticos que han sido transformados, conformados por combustibles fósiles, son utilizados mayoritariamente en el sector transporte (35%), seguido por el uso en industria (22%) y en edificación (16%).

En cuanto a la generación de electricidad y calor, existe un alto porcentaje de esta energía que se pierde durante los procesos de conversión (55%). El 45% restante se distribuye entre el sector edificación (20%), el sector industria (15%), y uso propio (8%).

Algunos de los sectores productivos hacen uso de energías renovables como fuentes directas, tal es el caso del sector edificación que consume un 77% de las energías renovables de uso directo, y de los sectores industria y transporte, utilizando un 18% y 5%, respectivamente.

Figura 5: Distribución y uso de combustibles por sectores



Fuente: International Energy Agency (2012). World Energy Outlook 2012. Recuperado de <http://www.iea.org>

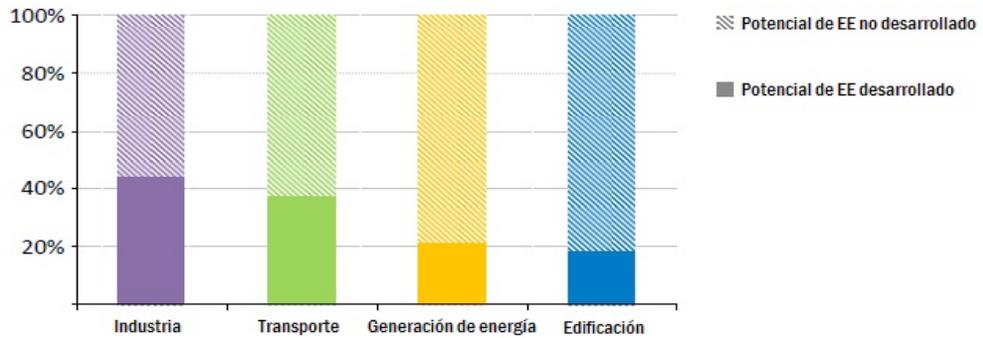
1.2.3. Oportunidades del sector edificación en eficiencia energética

Durante los últimos años países que lideran el consumo energético mundial, han fijado nuevas medidas y desafíos en respuesta al cambio climático. Estos desafíos poseen un factor común, y es que esperan lograrse a través de un uso eficiente de la energía.

- China se ha propuesto reducir un 16% la intensidad energética para el año 2015.
- E.E.U.U. ha implementado nuevas normas para el ahorro de combustibles.
- La Unión Europea se ha comprometido a reducir su demanda de energía en un 20% para el 2020.
- Japón busca reducir 10% su consumo de electricidad para el 2030.

Estas propuestas reflejan la importancia que está tomando la eficiencia energética a nivel mundial, sin embargo, aun no se ha llegado a explotar su máximo potencial de mejora. La siguiente gráfica muestra el potencial de medidas de eficiencia energética que ha sido desarrollado dentro de los diferentes sectores productivos. Es posible advertir que aún queda mucho por hacer respecto al tema y una importante parte que potenciar, principalmente en el sector edificación y generación de energía eléctrica donde aproximadamente un 80% aún no ha sido explotado.

Figura 6: Potencial de eficiencia energética utilizado por sectores

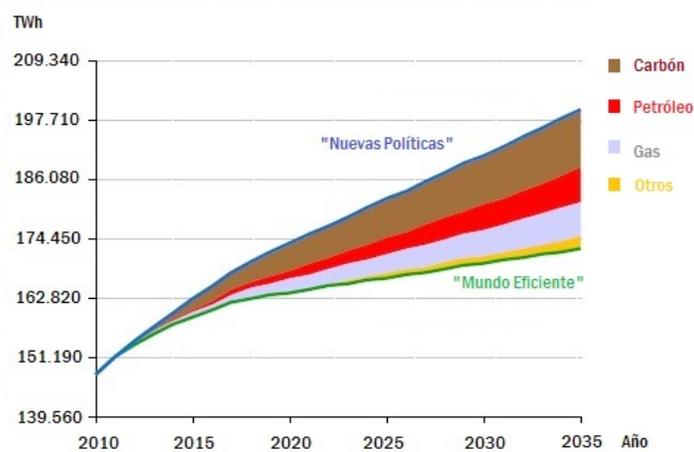


Fuente: International Energy Agency (2012). *World Energy Outlook 2012*.
 Recuperado de <http://www.iea.org>

El problema recae principalmente en las barreras de mercado que obstaculizan la inversión en medidas de eficiencia. Para eliminar estas barreras, es necesario actuar en diferentes frentes de trabajo. En primer lugar es necesario plasmar los beneficios concretos que significa implementar estas medidas, realizar mediciones de eficiencia y revelar las ventajas económicas de esta. Se debe dar mayor importancia al tema, tanto a nivel político como social. Se debe mejorar la accesibilidad a estas medidas, garantizando a los inversionistas una rentabilidad adecuada. Los gobiernos deben crear incentivos a los enfoques eficientes y castigar aquellos que vayan en desmedro de ello.

Si estos puntos son abordados, el escenario de un mundo eficiente sería factible y traería consigo múltiples beneficios a todo nivel, llegando a amortizar en el mejor de los casos la mitad del crecimiento de la demanda energética proyectado a 2035, basado en la reducción en el consumo de fuentes energéticas primarias tales como carbón, petróleo y gas natural.

Figura 7: Amortización de demanda energética mundial para 2035

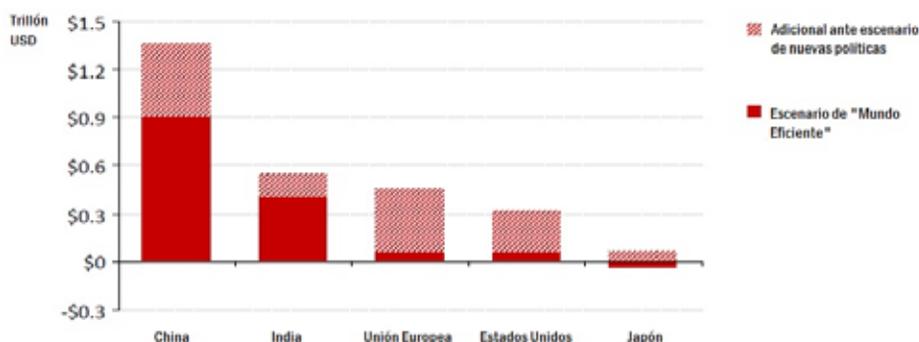


Fuente: International Energy Agency (2012). *World Energy Outlook 2012*.
 Recuperado de <http://www.iea.org>

Entre otros beneficios, se espera que al invertir en tecnologías energéticamente más eficientes se produzca una disminución en los gastos de combustibles. Estos ahorros ayudarían en gran parte a recuperar la economía mundial aumentando el producto económico mundial para 2035. Además en materias ambientales se mejoraría la calidad del aire, y las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzarían su máximo antes de 2020 para luego comenzar a declinar.

La siguiente gráfica muestra la proyección del gasto de energía para el 2035 ante el escenario de un "mundo eficiente", contrastado con el escenario de "nuevas políticas", en algunas de las potencias determinantes en el consumo energético mundial. Esta es una de las externalidades que se espera lograr ante el escenario de un mundo eficiente.

Figura 8: Gasto en energía en 2035 comparado con 2010



Fuente: International Energy Agency (2012). *World Energy Outlook 2012*. Recuperado de <http://www.iea.org>

Realizando un análisis de la situación particular de EE.UU., es posible advertir las oportunidades que existen de incorporar eficiencia energética dentro del sector edificación, y los beneficios que se esperan de estas acciones.

Para realizar este análisis se consideran cuatro escenarios posibles, que muestran como el asumir diferentes tipos de tecnologías incide en la intensidad energética del sector residencial, entendiéndose que esta se refiere al uso de energía promedio por hogar dentro de E.E.U.U. En primer lugar se tiene el escenario de "Tecnología de demanda 2011" el cual asume que no existen mejoras en eficiencia energética más allá de las implementadas hasta 2011, es decir, se mantienen las actuales y no se incorporan nuevas acciones. Luego se encuentra el caso de "Tecnología de alta demanda" el cual asume mayor eficiencia, disponibilidad temprana, menor costo, y mayor frecuencia de compras energéticamente eficientes para equipamiento avanzado.

El escenario de "Tecnología de la mejor demanda disponible" limita a los clientes que compran equipamiento nuevo y de reemplazo, adquiriendo el modelo más eficiente disponible en el año de la compra, sin importar el costo, y asume que las nuevas edificaciones se construyen bajo las especificaciones más eficientes. Por último incluye un escenario referencial, el cual proyecta una reducción de la energía promedio utilizada en los hogares para 2035 de casi un 20% respecto a lo registrado en 2010.

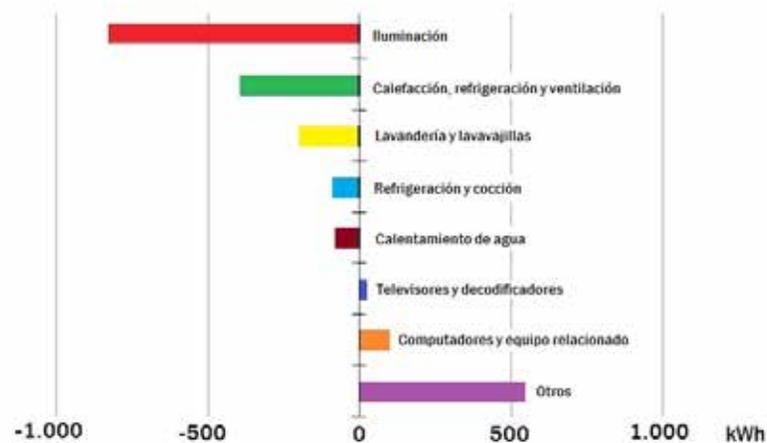
El consumo total de energía por parte del sector residencial en EE.UU. se mantendrá relativamente constante para el año 2035, sin embargo, el crecimiento en el número de hogares, provocará que se reduzca la intensidad de energía promedio consumida por cada uno de ellos. Los servicios consumidores de energía dentro del hogar reducirán su consumo, específicamente los servicios de calefacción significarán más del 50% de este descenso. Esto se ve

potenciado por el movimiento de la población hacia lugares más cálidos y climas más secos.

Entre 2010-2035 la intensidad energética de los hogares decrecerá cerca de un 30% bajo el escenario de "Tecnología de alta demanda", y cerca de un 40% en el escenario de "Tecnología de la mejor demanda disponible". Aun considerando que se mantiene la tecnología implementada hasta 2011 y que el equipamiento más antiguo es reemplazado, la intensidad energética en los hogares se reduce para 2035.

La siguiente gráfica muestra la variación que se espera del consumo energético de algunos servicios relevantes dentro del hogar para 2035. Se advierte la reducción del consumo en parte importante de los servicios, entre ellos destaca la reducción en iluminación la cual es casi un 50% menor y en calefacción, refrigeración y ventilación. Contrario a ello se espera que algunos servicios aumenten su demanda, dado por su mayor penetración en el mercado con poca cobertura en estándares de eficiencia energética, entre ellos televisores y computadores.

Figura 9: Variación en el consumo de energía residencial entre 2010-2035



Fuente: International Energy Agency (2012). World Energy Outlook 2012. Recuperado de <http://www.iea.org>

A pesar de un crecimiento continuo en el número de hogares y de aparatos electrónicos, el consumo de energía para algunos usos finales es menor en 2035 que en 2010, lo que implica que las mejoras en eficiencia energética compensan el crecimiento de la demanda de servicios.

1.2.4. Panorama Energético Nacional

Como se mencionó anteriormente, la energía es utilizada a diario por los diferentes sectores productivos del país, sustentando el funcionamiento de actividades y servicios fundamentales de nuestras ciudades y su infraestructura. Por tanto, la demanda de energía se encuentra directamente relacionada con el crecimiento y desarrollo económico.

Nuestra principal dependencia energética, está asociada a la generación de electricidad. Estudios revelan que la

demanda de energía eléctrica ha alcanzado niveles tan elevados, que cada año nace la necesidad de construir una nueva central de generación.

La generación de este tipo de energía se obtiene a partir de diversas fuentes. En primer lugar se encuentran las centrales de generación con base en energías no renovables, limitadas y altamente contaminantes. Estas hacen uso de combustibles como gas, carbón o derivados del petróleo como fuentes energéticas, y significan aproximadamente el 50% de la generación de energía eléctrica a nivel nacional. Por otra parte se encuentran las centrales de generación con base en energías renovables, aquellas cuyas fuentes energéticas son recursos naturales considerados inagotables y generan una menor contaminación al ambiente. Entre estas se destaca la energía hidráulica, generadora del 50% de electricidad no cubierto por las centrales convencionales.

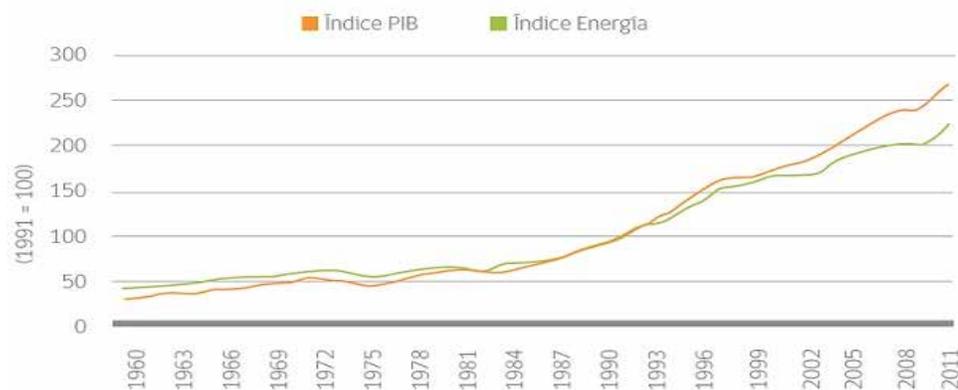
El problema que hoy prevalece respecto a la demanda energética, es que su proyección a futuro se encuentra acoplada al crecimiento económico del país, lo que se refleja en el PIB. Por lo tanto, a medida que el país se desarrolle, la demanda energética crecerá a la par de ello llegando a niveles donde la oferta no dará abasto. Esto derivará en la generación de nuevas centrales de generación, mayores niveles de contaminación y agotamiento de los recursos que alguna vez se creyeron inagotables.

En el escenario nacional actual se contempla el uso de energías renovables no convencionales como respuesta al problema, mediante la creación de centrales con base en energía eólica, solar, y geotérmica. Sin embargo, esto tardará años en concretarse, y constituye una proyección pensada a largo plazo. Por otra parte existe un recurso factible de usar en el corto plazo, y cuya implementación efectiva significaría el desacople de la curva de demanda energética respecto al crecimiento del país dentro de las próximas décadas: La eficiencia energética.

El escenario actual de Chile muestra un acoplamiento entre las curvas de crecimiento económico y crecimiento de la demanda energética, derivado de la necesidad de consumir energía para avanzar en el desarrollo. Tal escenario plantea la interrogante respecto hasta que punto será posible dar abasto a esta demanda creciente, considerando que los recursos energéticos son limitados y que algún día han de agotarse. Uno de los desafíos que surge en esta línea, es desacoplar ambas curvas, es decir, desvincular el desarrollo económico del consumo energético, de manera que sea posible crecer como país sin la necesidad de aumentar de manera proporcional tal consumo.



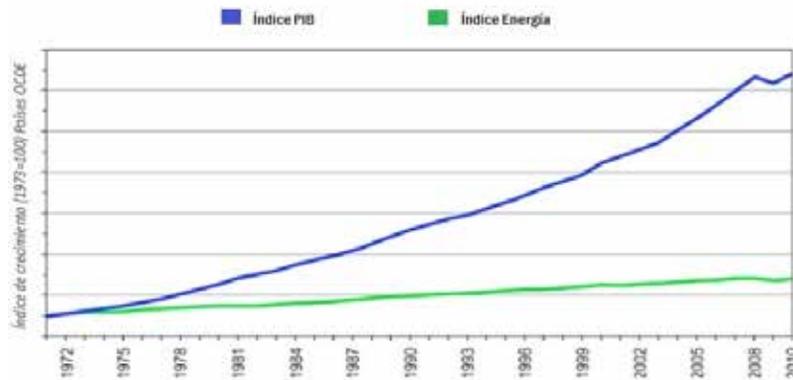
Figura 10: Expansión del PIB y Crecimiento de la demanda energética



Fuente: Ministerio de Energía. (s.f.). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

Ejemplo claro de desacople entre crecimiento económico y crecimiento de la demanda energética, ocurre en los países de la OCDE, lo cuales han logrado desvincular ambas curvas mediante la implementación de estrategias de uso eficiente de la energía y utilización de energías renovables.

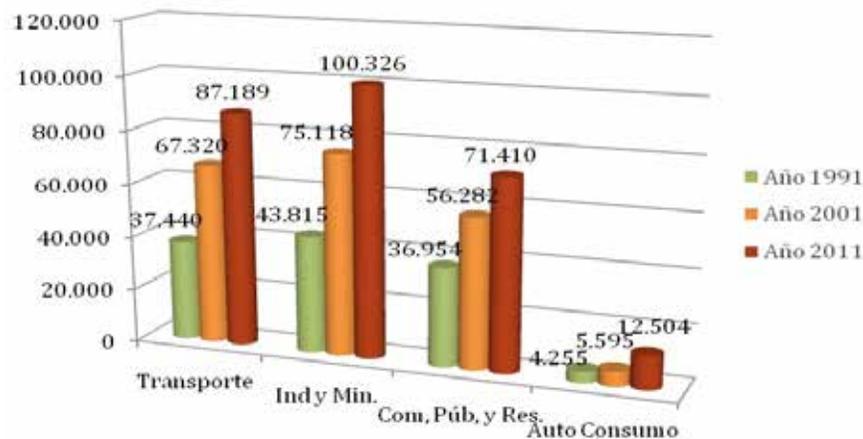
Figura 11: Expansión del PIB y Crecimiento de la demanda energética en países OCDE



Fuente: Ministerio de Energía. (s.f.). Balance Nacional de Energía. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

En vista de ello y a raíz de la información revelada en el balance nacional de energía del año 2011, donde se advierte un crecimiento del consumo energético de aproximadamente 122% respecto al año 1991, y un 33% respecto al 2001, es que se justifica el planteamiento de nuevos desafíos y requerimientos en temas de energía a nivel país, entre los cuales figura el impulso a las energías renovables y la implementación de criterios de uso eficiente de la energía dentro de los diferentes sectores productivos.

Figura 12: Consumo Energético por Sectores (Tcal)



Fuente: Ministerio de Energía. (2013). Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

Observando la gráfica de distribución del consumo energético por sectores, se advierte que la mayor parte de la demanda corresponde al sector de Industria y Minería, el cual lidera en las tres líneas comparativas (1991, 2001, 2011) seguido muy de cerca por el sector Transporte. En tercer lugar se encuentra el sector Comercial, Público, y Residencial, el cual pese a ubicarse por debajo de los mencionados, aún así muestra un nivel de consumo significativo. El sector de Auto Consumo muestra una demanda baja en comparación a los demás segmentos.

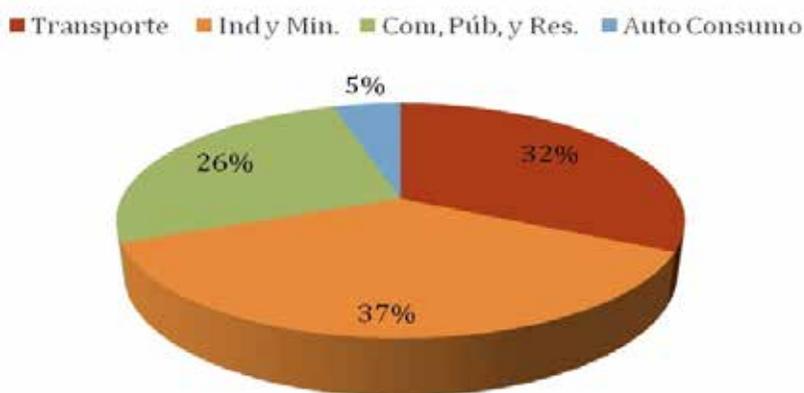
Tabla 1: Consumo Energético por Sectores (Tcal).

Consumo Energético por Sectores (Tcal)					
Año/Sector	Transporte	Ind y Min.	Com, Púb, y Res.	Auto Consumo	Total
1991	37.440	43.815	36.954	4.255	122.464
2001	67.320	75.118	56.282	5.595	204.315
2011	87.189	100.326	71.410	12.504	271.429

Fuente: Ministerio de Energía. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

El crecimiento de la demanda por sectores muestra que los tres bloques de mayor incidencia han incrementado

Figura 13: Distribución porcentual por sectores



Fuente: Ministerio de Energía. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

su demanda de manera regular, bordeando un 30% de crecimiento respecto a sus consumos respectivos registrados en 2001. El escenario discrepa para el sector de Auto Consumo, el cual en las últimas décadas ha aumentado su demanda en un 194% respecto a 1991, y un 123% respecto a 2001, sin embargo aún se aleja considerablemente del consumo registrado por los demás sectores.

Tabla 2: Incremento de Consumo Energético por Sectores (Tcal)

Incremento de consumo para el año 2011, respecto a las dos últimas décadas					
Referencia	Transporte	Ind y Min.	Com, Púb, y Res.	Auto Consumo	Total
1991	133 %	129 %	93 %	194 %	122 %
2001	30 %	34 %	27 %	123 %	33 %

Fuente: Ministerio de Energía. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

Analizando en particular la distribución de consumo energético por sectores registrada el año 2011, se observa lo siguiente:

El sector Industrial y Minero representa la mayor parte del consumo, con un 37% equivalente a 100,326 Tcal (116,679 GWh) de consumo durante el período. Este a su vez se divide en 11 subsectores, donde los protagonistas corresponden a: Minería del cobre con un 31%, Industrias varias con un 26%, y la Industria del papel y celulosa con un 20%.

El sector de transporte se ubica en segundo lugar con un consumo de 87,189 Tcal (101,400 GWh), equivalentes al 32% del consumo total registrado en el período. Esta cantidad se distribuye entre el sector terrestre (79%), el sector marítimo (11%), el sector aéreo (9%), y por último el sector ferroviario (1%).

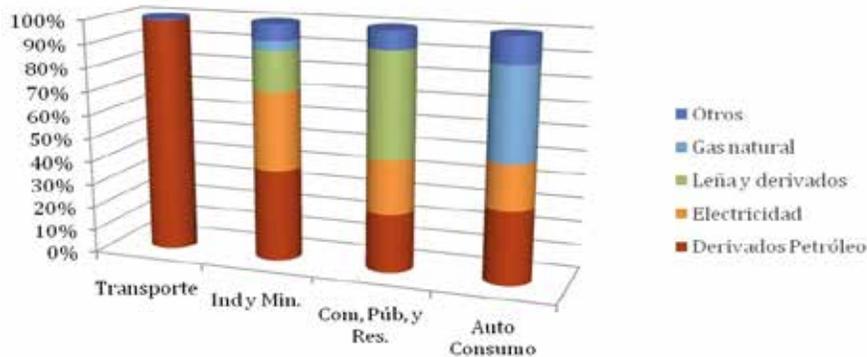
El sector comercial, público y residencial se encuentra en tercer lugar (83,049 GWh), representando un 26% del consumo energético del período. Entre los sectores que lo

componen, el área residencial se lleva la mayor parte del consumo con un 76,9%, el área comercial lo sigue con un 20,3%, y por último el sector público con un 2,8%.

El Auto consumo corresponde a la energía utilizada por los centros de transformación de energía durante su operación, este sector representa sólo un 5% del consumo total del período.

Respecto a los combustibles utilizados por los diferentes sectores, se destaca principalmente el uso de derivados del petróleo seguido por la electricidad. Excepciones ocurren en el sector comercial, público y residencial, donde predomina el uso de leña, y en el sector de auto consumo donde destaca el uso de gas natural.

Figura 14: Distribución porcentual de combustibles por sectores



Fuente: Ministerio de Energía. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

Desafíos energéticos futuros que enfrenta el país

El escenario actual de consumo energético del país plantea nuevos desafíos para este en términos del uso de la energía, partiendo por la existencia de una demanda energética creciente y la interrogante respecto a la satisfacción de esta a futuro.

Uno de estos nuevos desafíos es la necesidad de expansión del sector eléctrico, dado por el crecimiento del consumo (la electricidad se ubica en segundo lugar dentro de los recursos energéticos predominantes en los sectores productivos), proyectándose entre un 5,5% y 6,5% de incremento anual hasta el año 2020. De acuerdo a esta proyección, se deberá aumentar la capacidad de generación, ya sea mediante la construcción de nuevos centros y/o la explotación de nuevos recursos.

Otra problemática es la escasa diversificación de la matriz energética. Dicha matriz depende hoy en día en su mayor parte de combustibles fósiles importados para las centrales termoeléctricas y del recurso hídrico para las centrales hidroeléctricas. La disponibilidad de ambas fuentes de energía está sujeta a diferentes factores inmanejables. Por un lado, los combustibles fósiles importados (hoy en día el 78% de la matriz energética), están condicionados a la volatilidad de su precio a nivel internacional, dado por conflictos internos dentro de los países exportadores como también por el aumento o disminución en la extracción de dichos combustibles. En el caso de las centrales hidroeléctricas, la capacidad de generación estará condicionada por el clima y la lluvia, siendo los períodos de sequía (aparentemente cada vez más comunes debido al cambio climático) períodos que llevan a una disminución significativa de la producción energética. En este sentido, surge la necesidad de diversificar la matriz energética de manera que no se encuentre limitada por su dependencia de factores inmanejables.

A estos desafíos se suma la preocupación por reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, las cuales en su mayor parte son generadas por el sector energético.

La Estrategia Nacional de Energía 2012 - 2030 (ENE), entre sus pilares fundamentales, propone como respuesta a

estos desafíos hacer de la eficiencia energética una política de Estado. Esto quiere decir lograr que los diferentes sectores productivos del país incorporen dentro de la toma de decisiones criterios de uso eficiente del recurso. De esta forma se conseguiría amortizar el consumo energético creciente; reducir la dependencia de combustibles importados; garantizar la seguridad de suministro y satisfacción de la demanda; y por último, limitar la emisión de gases de efecto invernadero.

La primera iniciativa para fomentar la eficiencia energética como política de Estado, corresponde a la creación del Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) en el año 2005, el cual busca dentro de sus objetivos crear una cultura de eficiencia energética dentro de la población, generar un marco regulatorio en estas materias, y otorgar incentivos económicos, tributarios y financieros para el uso eficiente de la energía dentro de los sectores productivos.

Luego en el año 2010 se crea el Ministerio de Energía, el cual cuenta dentro de sus áreas con la División de Eficiencia Energética cuyo propósito principal consiste en elaborar propuestas respecto al marco regulatorio en temas de uso eficiente de la energía y presentarlas ante el Gobierno. Este mismo año el PPEE es reemplazado por la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), encargada principalmente de promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía dentro de los sectores de consumo energético del país con el fin de reducir la intensidad de consumo.

La meta propuesta por la ENE consiste en reducir en un 12% la demanda energética proyectada para el año 2020, a través del desarrollo del país con políticas de eficiencia energética. De acuerdo a las proyecciones realizada por el Ministerio de Energía, el ahorro del 12% a conseguir se distribuye dentro de los sectores productivos de la siguiente forma:

Figura 15: Distribución de ahorro por sectores.



Fuente: Ministerio de Energía. (2013). *Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020*. Recuperado de <http://www.minenergia.cl>

Para alcanzar esta meta, el Plan de Acción de Eficiencia Energética (PAEE20) contempla la implementación de medidas y programas de uso eficiente de la energía dentro de los diferentes sectores productivos, y acorde a las necesidades y características particulares de cada uno de ellos.

Como se observa en la gráfica, el segundo sector productivo donde se puede generar mayor ahorro en términos de EE, es el sector edificación. Las medidas propuestas dentro del plan de acción para este segmento son las siguientes:

- Mejorar el desempeño energético de la envolvente y el equipamiento de edificaciones, incorporando eficiencia energética en términos de rendimiento térmico, lumínico, ventilación y hermeticidad de la edificación, en edificaciones construidas son criterios de EE.
- Instruir a encargados de mantener y monitorear equipos de climatización, agua caliente, iluminación y otros equipos que entreguen confort ambiental a la edificación, respecto a la gestión eficiente de la energía.
- Promover la construcción de edificios energéticamente eficientes de alto estándar, mejorando los requisitos mínimos exigidos por la reglamentación vigente. Algunas de las iniciativas son el etiquetado energético de la vivienda nueva, y la estandarización de diseños para el sector público.
- Promover la oferta de productos y servicios de construcción energéticamente eficientes, mediante la capacitación de los actores relevantes en el medio.

Instrumentos legales que incorporan medidas de eficiencia energética

Algunos instrumentos legales que han permitido incorporar dentro del marco regulatorio nacional criterios e implementación de medidas de uso eficiente de la energía, son:

- El año 2007 entra en vigencia la segunda etapa de reglamentación térmica para vivienda nueva. A partir de ello el Ministerio de Energía en conjunto con MINVU crean el programa de subsidios de reacondicionamiento térmico, con el fin que las viviendas de sectores vulnerables alcancen las exigencias mínimas de eficiencia energética exigidas por la OGUC.
- El 14 de Mayo del año 2012 se publica en el Diario Oficial el reglamento que le entrega operatividad a la ley N° 20.402 que crea el Ministerio de Energía. El art 3° de esta ley le entrega a este Ministerio las facultades para establecer estándares mínimos de rendimiento energético sobre artefactos que lo requieran.
- El año 2012 se autoriza a la SEC para certificar artefactos que consumen leña y sus derivados como combustible, respecto a seguridad, eficiencia y emisiones.
- El 7 de enero de 2013 se publica en el Diario Oficial la creación del Comité Interministerial de Eficiencia Energética, el cual se encargará de coordinar las políticas de eficiencia energética al interior del gobierno.
- En febrero de 2013 entra en vigencia el reglamento de etiquetado vehicular, que obliga a los vehículos que se vendan en el país, indicar el gasto de combustible y emisión de CO2 a la atmósfera.
- Actualmente el Ministerio de Vivienda y Urbanismo en conjunto con el Ministerio de Energía se encuentran desarrollando el Sistema de Calificación Energética de Viviendas (SCEV), el cual consiste en un etiquetado energético que les permita a los compradores tomar decisiones de manera informada al momento de adquirir una vivienda.



Es claro entonces que la preocupación por solucionar el problema energético a nivel país existe, reflejado en las distintas iniciativas propuestas dentro de los sectores productivos, entendiendo que son estos los protagonistas del consumo.

En particular dentro del sector edificación las iniciativas para incorporar medidas y programas de uso eficiente de la energía ya han comenzado a desarrollarse y se espera que tomen cada vez más fuerza.

1.2.5. Iniciativas de la AChEE para el sector Edificación

El área de Edificación de la AChEE desarrolla iniciativas en dos ámbitos de acción: la edificación nueva y la edificación existente.

Edificación nueva

Esta línea de acción corresponde principalmente al apoyo a la incorporación de estándares de eficiencia energética en proyectos de edificación en etapas tempranas de diseño arquitectónico. Esto en función mediante la promoción de prácticas de "Diseño Integrado" en los cuales la colaboración multidisciplinaria de proyectistas, apoyados de expertos en eficiencia energética, permite integrar actividades tales como la simulación energética y el diseño conceptual de especialidades, de modo de enfocar esfuerzos en diseños de alto desempeño energético.

Figura 16: Esquema de proceso de diseño integrado



Fuente: Traducido y recuperado de www.wbdg.org/wbdg_approach.php

Guías de Diseño GEEEDuc y GEEESal

Dentro de las iniciativas llevadas a cabo por esta línea de acción figura la elaboración de guías para el diseño integrado de Arquitectura y especialidades en infraestructura educacional y Hospitalaria. Las guías GEEEDuc y GEEESal (AChEE 2012) se desarrollaron con el objetivo de fomentar el diseño eficiente en nuevos proyectos de infraestructura pública, entregando recomendaciones de diseño específicas al tipo de edificio público en cuestión, entregando además desempeños energéticos aplicables al diseño de establecimientos educacionales y de salud. Estas guías de diseño, son el resultado del trabajo realizado en esta línea y recogen la experiencia y resultados obtenidos de la intervención en diseño integrado de arquitectura para cinco colegios y dos hospitales durante el año 2011.

Apoyo al Sector Vivienda Social

Durante el año 2012 y 2013, la Agencia fomentó el desarrollo de la eficiencia energética en el ámbito de los proyectos de vivienda social. Para esto, se elaboró un convenio de colaboración con la fundación TECHO y su unidad de viviendas definitivas, para realizar asesorías de diseño integrado en parte de sus proyectos a ser construidos. Las asesorías en diseño impactaron en un total de casi 1000 viviendas, pertenecientes a conjuntos habitacionales de Fundación TECHO ubicados en la región Metropolitana (San José de Maipo, Curacaví, Conjuntos Maipú 1 y Maipú 3 y Buin), así como también conjuntos de regiones como Copiapó, Valparaíso, Valdivia, Andacollo, Lebu, Los Álamos y San Fernando.

Apoyo en Edificación nueva MINEDUC

En el marco del convenio de cooperación entre la AChEE y el MINEDUC, se desarrolla un plan de apoyo en la implementación de medidas de eficiencia energética en el diseño de 5 nuevos establecimientos durante el 2011.

Figura 17: Programa de Apoyo en Edificación nueva MINEDUC



Apoyo en Edificación nueva MINSAL.

En el marco del convenio de cooperación entre la AChEE y el MINSAL, se desarrolla un plan de apoyo en la implementación de medidas de eficiencia energética en el diseño de los 2 nuevos establecimientos hospitalarios.

Figura 18: Programa de Apoyo en Edificación nueva MINSAL



Edificación existente

Esta línea de acción está enfocada principalmente en el desarrollo de proyectos en edificación existente que sirvan como ejemplo para los distintos sectores y faciliten la promoción de nuevas formas de financiamiento de proyectos de Eficiencia Energética. Es así como el trabajo de la AChEE ha permitido la creación de metodologías para la intervención integral de edificios, consolidadas en el "Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos" (PEEEP).

El año 2011, el PEEEP financió el desarrollo de proyectos piloto de Eficiencia Energética en 5 edificios públicos, incorporando en ellos Medición y Verificación de los ahorros comprometidos por las empresas que implementaron las soluciones. Adicionalmente, durante los años 2011 y 2012, en el marco del proyecto "Diseño e Implementación de medidas de mejora en 4 hospitales públicos de la red MINSAL.

Adicionalmente, bajo el alero del área de Edificación de la AChEE se realiza el proyecto denominado "Perfil de gestor

en eficiencia energética para el sector comercial, público y residencial y diseño del plan de entrenamiento". Para el año 2013, la estructura del PEEEP se modifica para cumplir con dos líneas de ejecución principales:

Asistencia Técnica: Donde el trabajo estará enfocado en la creación de capacidades y gestión de la energía.

Desarrollo de Proyectos: Que tiene por objetivo continuar con la línea de implementación de proyectos tal como ha venido ocurriendo los años 2011 y 2012, es decir, con base en cuatro etapas: diagnóstico, implementación, medición y verificación y creación de capacidades.

El objetivo del PEEEP para el presente año, en el área de desarrollo de proyectos, es financiar proyectos que contemplen mejoras en eficiencia energética en edificios públicos, manteniendo y/o mejorando los estándares de calidad ambiental de sus recintos, y cuya medición y verificación de ahorros permita sentar las bases para futuras iniciativas. De este modo, se pretende lograr que la edificación pública existente sea un referente nacional en estándares de eficiencia energética y calidad ambiental interior.

Programas de la línea de acción.

Cogeneración en Hospitales

La AChEE y la Agencia de Cooperación Alemana GIZ, en conjunto con el Ministerio de Salud, desarrollan un proyecto de cogeneración para el Hospital Regional de Coyhaique.

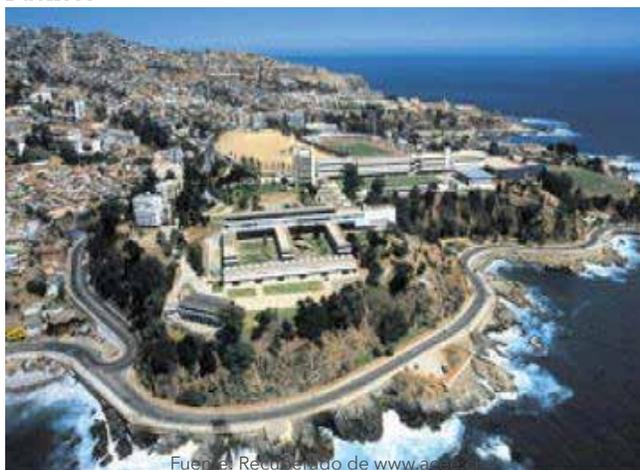
Figura 19: Cogeneración en Hospitales



Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos

El Programa contempla el desarrollo de proyectos de eficiencia energética en edificios públicos. Éstos pueden incorporar medidas como mejoramiento y control operacional de procesos, remplazo de componentes, integración tecnológica, entre otros.

Figura 20: Programa de Eficiencia Energética en Edificios Públicos



Implementación de Proyectos de Eficiencia Energética en Hospitales

Durante 2011 se realizaron pre-auditorías a cuatro hospitales públicos de la red MINSAL: Arica, Coyhaique, Punta Arenas y Posta Central.

Figura 21: Implementación de Proyectos de Eficiencia Energética en Hospitales



Proyectos de Eficiencia Energética en Edificación Municipal

Este programa consiste en la realización de un convenio con el objetivo de implementar medidas de Eficiencia Energética en edificios municipales de las respectivas comunas, para así mejorar la gestión energética en sus edificios.

Figura 22: Proyectos de Eficiencia Energética en Edificación Municipal



Formación de capacidades

Esta línea de acción se orienta a fortalecer el desarrollo de capacidades específicas para el sector Edificación en el ámbito de la Eficiencia Energética. Específicamente, contempla el levantamiento y validación de perfiles de Gestor en Eficiencia Energética para los subsectores comercial, público y residencial, además del contenido, la metodología y la implementación de los cursos de capacitación. Esto permitirá fortalecer el capital humano en los sectores para la inclusión de la EE en el desempeño de funciones críticas, aportando a mejorar las condiciones de empleabilidad de estos trabajadores.

Durante el 2012 se levantaron tres perfiles de competencias laborales: Perfil de Gestor en EE el Sector Público, Perfil de Gestor en EE el Sector Comercial y Perfil de Gestor en EE el Sector Residencial. En una segunda etapa se desarrollaron las traducciones formativas modulares de los perfiles y la elaboración de los contenidos para los cursos de capacitación (Curso de Formación de Gestores para el Sector Público, Curso de Formación de Gestores para el Sector Comercial y Curso de Formación de Gestores para el Sector Residencial).

Con la conformación de los cursos se logró capacitar en temas de Eficiencia Energética y Gestión de la Energía a 60 trabajadores y profesionales de los tres sectores, los conocimientos adquiridos permitirán a las personas capacitadas poder tomar decisiones relacionados al uso eficiente de la energía y la adopción de medidas necesarias para la reducción del consumo energético en las instituciones donde se desempeñan.

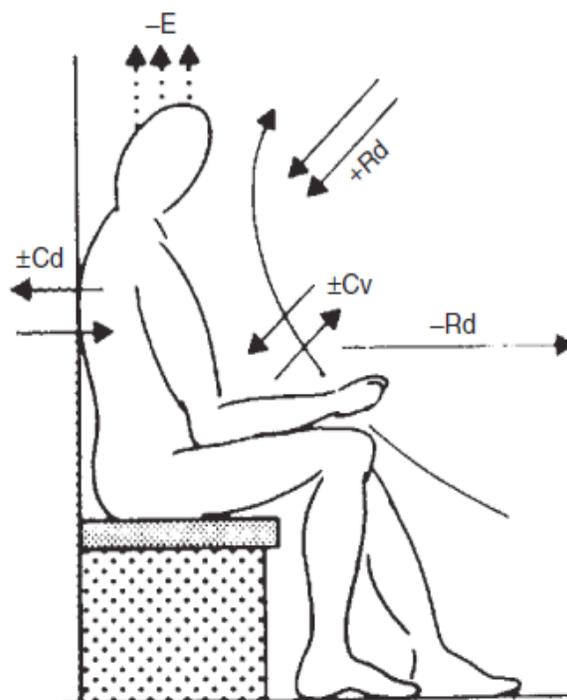
Para el 2013 el objetivo es dar continuidad a las capacitaciones de los tres perfiles levantados, además del levantamiento de una metodología que permita efectuar seguimiento a los trabajadores capacitados en sus propias instituciones. Por otro lado también se pretende levantar dos nuevos perfiles uno asociado al sector construcción y el otro al sector hotelero, además de un tercer perfil en el marco del PEEEP relacionado con la Gestión de la Energía en Hospitales.

Unidad 1.3: Fundamentos de la Eficiencia Energética

Se define como energía a la capacidad de uno o varios cuerpos de realizar un trabajo. Es una propiedad asociada a todo objeto y sustancia existente en la naturaleza, y la cual se requiere para la realización de diferentes transformaciones, ya sean físicas (cambio de forma o posición) o químicas (cambio de composición).

En este sentido, se entiende como energía al recurso necesario para la realización de toda acción en la naturaleza, del cual dependemos directamente y el cual es inherente a todo cuerpo (entre ellos, el ser humano).

Figura 23: Balance térmico de un ser humano



Parámetros involucrados en el balance térmico de un ser humano

$$S = M \pm Rd \pm Cv \pm Cd - Ev$$

S = Intercambio de calor

M = Producción metabólica de calor

Rd = Intercambio de calor por radiación

Cv = Intercambio de calor por convección

Cd = Intercambio de calor por conducción

Ev = Intercambio de calor por evaporación

Fuente: Szokolay (2004). Introduction to Architectural Science.

Por otro lado, la Real Academia de la Lengua Española RAE, define eficiencia como la “*capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado*”, definición que en términos energéticos se ajusta mucho a la realidad, con una leve salvedad: este efecto determinado debe ser realizado con el menor consumo del recurso disponible, con la máxima optimización de recursos y al costo más bajo posible.

La AChEE define “Eficiencia Energética” como el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la

cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. Por eso, ser eficientes con el uso de la energía significa “hacer más con menos”.

Para entender cómo optimizar la energía, debemos comprender que todo trabajo que requiera una cierta cantidad de energía (un input) se someterá a una transformación o conversión de dicha energía (un output de movimiento, electricidad, producción de calor o frío), de la cual a su vez, ocurrirán pérdidas de energía. La eficiencia de dicha transformación energética estará dada por la diferencia entre la energía generada (output) y la energía incorporada (input)

Figura 24° : Pérdidas y eficiencia de un sistema tipo



$$[\text{Input}] = [\text{Output}] + [\text{Pérdidas}]$$

$$[\text{Eficiencia } \eta] = \frac{[\text{Input}]}{[\text{Output}]} = 1 - \frac{[\text{Pérdidas}]}{[\text{Input}]}$$

Fuente: Michihiro Nishi (s.f.). PPT Fundamentals of Energy Conservation Technology.

En la actualidad, donde cada día se hace más compleja la obtención de nuevas fuentes energéticas, así como la disponibilidad del petróleo, es fundamental la investigación y el desarrollo en el área de la energía de modo de desarrollar nuevas tecnologías que maximicen su aprovechamiento y que además, sean compatibles con el medio ambiente.

En este sentido, el desarrollo tecnológico ha sido un factor fundamental y la piedra angular del progreso científico e industrial. Como un ejemplo de esto está la máquina a vapor que permitió por primera vez hacer uso de la energía otorgada por el calor, ya sea en forma de presión de gases, vapor y/o energía calórica. Este invento que marcó la revolución industrial y que se perfilaba a fines del siglo XVIII como la mayor invención del hombre, permitió un avance importante en todas las áreas del saber humano. Sin embargo, más allá del artefacto en sí, la máquina a vapor abrió paso al desarrollo tecnológico de la termodinámica y al descubrimiento de otras formas de energía.

Por otra parte, la eficiencia aplicada al desarrollo tecnológico puede observarse en muchas actividades de nuestra vida cotidiana. Un ejemplo es la telefonía celular. Basta recordar los primeros teléfonos en nuestro país a comienzos de los años '90, con tamaños que hoy parecen arcaicos y baterías igualmente enormes y de una duración de a lo sumo medio día, siempre y cuando su uso hubiese sido moderado. Hoy en día, las baterías de los teléfonos celulares son considerablemente menores que sus precursoras y tienen una duración de hasta 5 veces más, esto debido a la aplicación de baterías de Litio; Un componente que no sólo almacena bien la energía, sino que además permite una buena distribución de la misma, permitiendo a su vez mayores tiempos de duración y mayor capacidad energética que las baterías de Cadmio originalmente utilizadas.

En la construcción, se necesita llegar a niveles similares de innovación tecnológica y eficiencia, concentrándose en la disminución del consumo de energía durante la vida útil de la edificación. Es tarea de arquitectos y diseñadores realizar proyectos de edificación de manera tal que aprovechen al máximo los recursos naturales tales como la adecuada orientación respecto al uso de la energía solar (calor y luz natural) y el aprovechamiento de los vientos. Los ingenieros a su vez, deben plasmar en el cálculo y las especialidades los criterios de eficiencia energética requeridos, para que finalmente, los constructores, en pleno conocimiento y manejo de las medidas de eficiencia energética planteadas, lleven la ejecución de éstas de manera adecuada.

1.3.1 Optimización de la Eficiencia Energética

La optimización de la eficiencia energética (EE) se refiere al conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos, sin sacrificar la producción, la calidad o los niveles de confort. Dicho de otra forma, la EE corresponde a “hacer más con menos”.

Existen básicamente dos tipos de medidas de eficiencia energética: las **medidas operacionales**, que consisten en modificar las formas de operar un equipo o sistema; y las **medidas de recambio tecnológico**, que contemplan el reemplazo de un equipo o sistema por uno optimizado.

Ejemplos básicos de acciones de optimización son:

Apagar las luces en ambientes que no lo requieren o no están habitados (medida operacional) y el reemplazo de ampollas incandescentes por luminarias fluorescentes compactas (recambio tecnológico).

El uso optimizado de la energía genera diversos beneficios en términos económicos, medioambientales y a nivel país.

- Beneficios económicos: Reduce los costos de producción u operación de las empresas, mejorando la competitividad de las empresas.
- Beneficios ambientales: Reduce el consumo de recursos naturales y por ende, disminuye la emisión de gases contaminantes.
- Beneficios a nivel país: Aumenta la seguridad de abastecimiento de energía y disminuye la vulnerabilidad del país por dependencia de fuentes energéticas externas.

1.3.2. Eficiencia energética en edificios

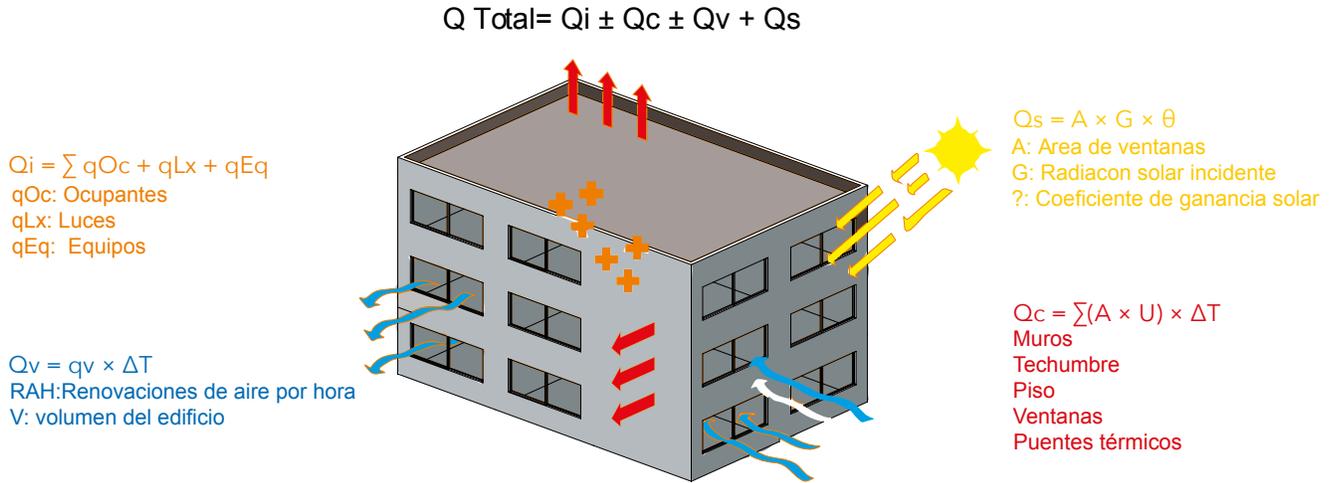
Conociendo el significado de la eficiencia energética, sus fundamentos y beneficios, es necesario trasladar el concepto al caso particular del sector Edificación. Para lograr la eficiencia energética en edificios, es importante considerar los siguientes aspectos:

Tal como el confort humano se ve influenciado por diversos parámetros, la calidad del ambiente interior (o confort ambiental) de un edificio también se ve afectado por parámetros muy similares: el calor generado internamente por sus ocupantes y equipos (producto de la cantidad de personas y su nivel de actividad), la radiación solar a la cual el edificio está expuesto (en especial aquella que incide en ventanas), las pérdidas o ganancias producto del intercambio de aire entre el interior y el exterior (el edificio “respira” a través de la ventilación y las infiltraciones) y la transferencia de energía a través de la “piel” del edificio, llamada comúnmente la “envolvente”. Estos parámetros en conjunto constituyen el balance térmico del edificio, reflejado en la siguiente gráfica.

Figura 24: Pérdidas y eficiencia de un sistema tipo

Todos estos parámetros estarán a su vez condicionados por

Figura 25° : Balance térmico en la edificación



Fuente: Szokolay (2004). *Introduction to Architectural Science*

el diseño arquitectónico y estructural del edificio, el cual, de modo de responder adecuadamente a ellos podrá hacer uso o no de principios de diseño "pasivo" o "bioclimático".

El diseño pasivo o bioclimático consiste, entre otras cosas en el uso del efecto llamado "calentamiento solar pasivo". Sabemos que durante el día, la energía del sol se almacena en forma de calor en lo que puede ser, por ejemplo, una estructura de hormigón armado de un edificio. Este efecto permite que durante gran parte del día el interior mantenga una temperatura fresca y adecuada, y que al llegar la noche, los muros liberen paulatinamente el calor almacenado. Este efecto simple permite que en épocas como el verano, un edificio no se sobrecaliente y proporcione así una mejor calidad del ambiente interior a sus habitantes. Por otra parte, el resultado o beneficio de este efecto no

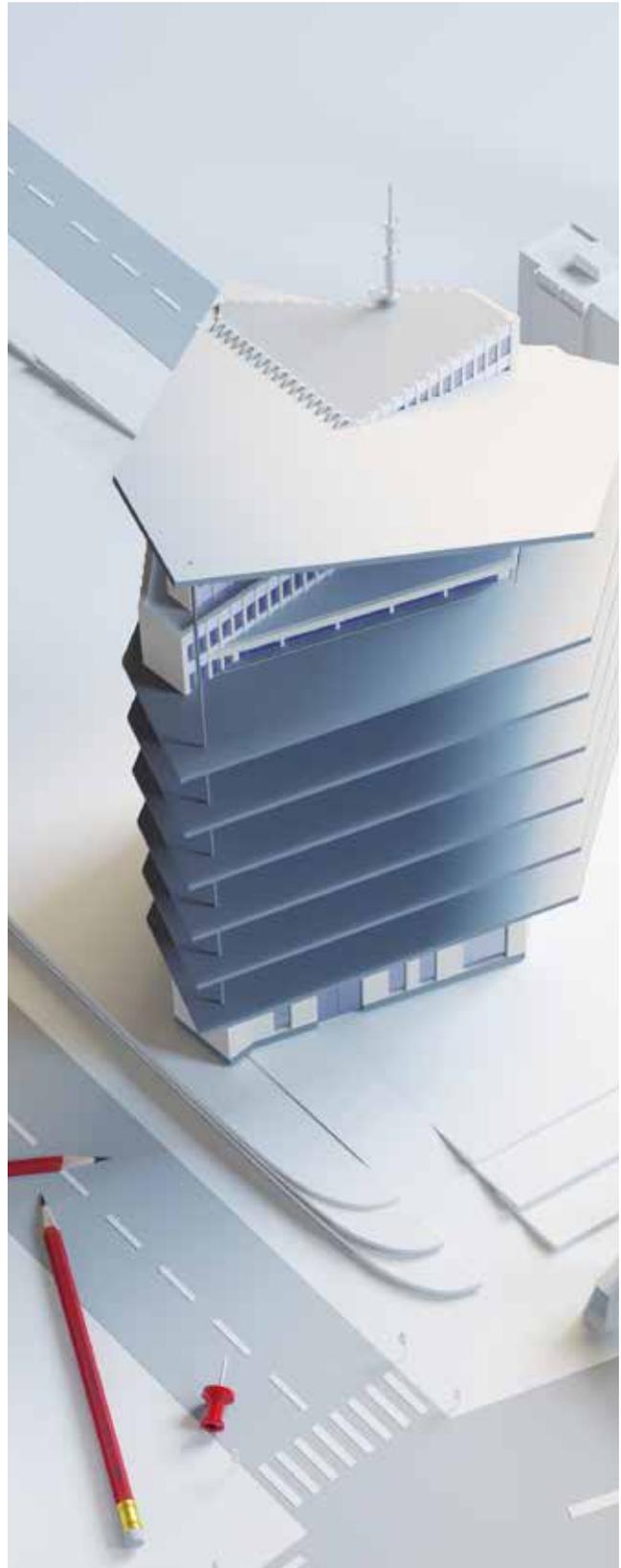
es al azar y dependerá de la concepción pasiva o bioclimática del proyecto. Esto consiste en el diseño adecuado de la forma arquitectónica y el uso de disposiciones óptimas de materiales, ventanas y elementos de protección que, junto con una adecuada distribución de los espacios, permita obtener el mejor resultado de un aprovechamiento de la energía solar y la iluminación natural que esta proporciona.

Un factor fundamental a considerar en el diseño pasivo o bioclimático es el clima del lugar donde se emplazará la edificación. Para el caso particular de nuestro país, con más de 4.000 km de extensión norte-sur y la presencia de mar, lagos y cordillera, posee una gran variedad de climas y microclimas que lo hacen un desafío para el diseño y para la construcción. Claramente, dos edificios idénticos construidos uno en Arica y el otro en Puerto Natales no utilizarán los mismos procesos, técnicas ni materiales.

Otro principio importante del diseño pasivo es entender que el diseño de la edificación tiene un efecto no sólo en su propio ambiente interior, sino también en el clima urbano y a la energía usada por la ciudad, por lo que también deben considerarse estos efectos durante su diseño, ejecución y uso.

Podemos considerar y agregar otra importante característica asociada al diseño pasivo o bioclimático: la optimización del uso del flujo del aire (viento) como medio regulador térmico en el edificio. Es un hecho conocido por todos que el calentamiento global ha hecho que las temperaturas se eleven notoriamente con el pasar de los años, por lo que cada vez se hace más difícil mantener bajas temperaturas en recintos habitados. El aprovechamiento de las corrientes de aire en el diseño para enfriar y, se hace absolutamente necesario y fundamental.

La incorporación de estos principios o criterios de diseño de manera temprana en proyectos de edificación repercutirá directamente en una mayor satisfacción por parte de los usuarios, mejorando no sólo su estabilidad corporal en cuanto a la sensación térmica, sino también en su estado anímico y su productividad. Estos principios o criterios a su vez, permiten un dimensionamiento más adecuado de los sistemas activos de apoyo tales como climatización e iluminación, siempre necesarios en un edificio, pero muchas veces erróneamente dimensionados. Finalmente, la incorporación de tecnología eficiente en sistemas activos de apoyo, sumado al mejor diseño pasivo de edificios, permitirán en el futuro un mejor ambiente construido, más responsable con el medio ambiente y la energía.



1.3.3 Balance térmico en la edificación

Para dar a entender los fenómenos de transferencia de calor al interior de un edificio tomaremos un caso simple y desarrollaremos paso a paso el balance térmico de éste. Los conceptos mencionados a continuación se revisan en detalle en el capítulo 2 del presente Manual.

Parte 1:

Asumiremos que el flujo térmico que tendrá el recinto será por una parte, producto de su envolvente térmica (Ver unidad 2.2), en este caso, los elementos constructivos expuestos al exterior como ventana y muros de fachadas. Lo siguiente dado por la siguiente ecuación:

$$F_{Te} = \sum U * A \text{ (W/k) donde:}$$

F_{Te} : es el flujo térmico por envolvente

U : es la transmitancia térmica de cada elemento que compone la envolvente térmica

A : la superficie de cada elemento

Por otra parte, el flujo térmico producto de la ventilación del recinto estará compuesto sus requerimientos de ventilación, así como también producto de las infiltraciones de aire no controladas (para más detalles, ver unidad 2.3).

$$F_{Tv} = V * 0.35 \text{ RAH (W/K) donde:}$$

F_{Tv} : es el flujo térmico por ventilación

V : es el volumen del recinto

RAH : son las renovaciones de aire por hora del volumen considerado

Asumamos para el presente caso que se trata de un recinto que tendrá 1 renovación de aire por hora

Los estándares que determinarán el flujo térmico del edificio estarán dados por la transmitancia térmica de cada elemento de su envolvente (ver más en 2.3.2.1), dados a continuación:

Luego, el flujo térmico total del recinto será:

$$F_T = F_{Te} + F_{Tv} = 69 + 21 = 90 \text{ W/K}$$

Luego, el balance térmico del recinto estará sujeto al diferencial de temperaturas entre el exterior del recinto y de la temperatura de confort mínima requerida al interior (para más detalles, ver unidad 2.2). Así, el balance térmico de los elementos de la envolvente y de la ventilación estará dado por las ecuaciones:

$$Q_c = U * A * dt \text{ (para envolvente) y } Q_v = 0,35 * RAH * V * dt \text{ (para ventilación)}$$

Donde:

$U * A$: el Flujo térmico F_{Te}

$0.35 * RAH * V$: el flujo térmico F_{Tv}

dt : el diferencial de temperatura entre exterior e interior

Finalmente, es posible aplicar esta información en función de grados día o a temperaturas de un periodo de tiempo para una ubicación geográfica específica (ver más en 2.1.8). de modo de visualizar de modo sencillo el comportamiento energético de una edificación frente a su entorno.

Parte 2:

Asumiendo que nuestra edificación se ubica en Concepción, tomaremos los grados día mensuales para determinar aproximadamente el balance energético del recinto bajo dichas condiciones climáticas. En adición a esto, estimaremos el aporte de ganancias solares que obtendría el recinto, de estar su ventana orientada hacia el norte (ver 2.3.3). Para esto último utilizaremos datos de kWh/m²*mes (estos datos pueden ser obtenidos sabiendo la radiación solar global del lugar y calculando la radiación solar incidente en el plano inclinado, en este caso, un plano en 90°). Por último, incorporaremos las ganancias internas que tendría el recinto suponiendo una carga de ocupación permanente de dos personas.

Flujo térmico por envolvente				
Valor de transmitancia térmica del elemento			Superficie	Flujo térmico
Muros	1.9 W/m ² k	Equivalentes a un muro de ladrillo titán de 14 cm de espesor	18 m ²	34.2 W/K
Ventanas	5.8 W/m ² k	Equivalente a un vidrio simple de 4mm	6 m ²	34.8 W/K
Total				69 W/K

Luego:

$$Q_{\text{Total}} = Q_i + Q_s + (-) Q_c + (-) Q_v$$

Q_i : Ganancias internas por carga de ocupación, en este caso asumiremos que dos personas aportan 140 W durante todos los días (aproximadamente 100 kWh*mes)

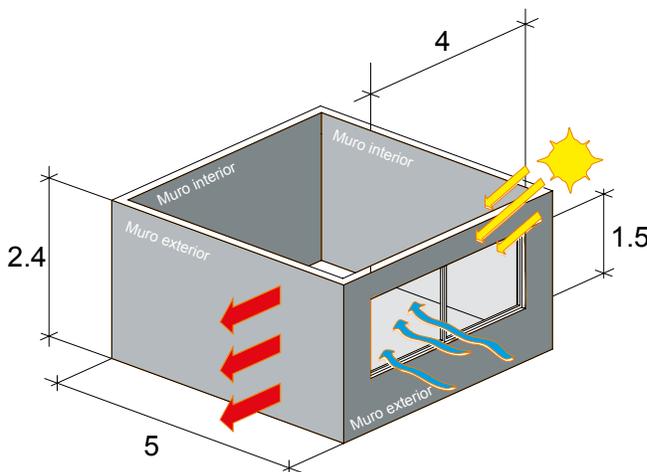
Q_s = Ganancias solares, calculadas en kWh/m²*mes para el plano de la ventana, de acuerdo a su tamaño y coeficiente de ganancia solar θ . Para el caso de una ventana de vidrio simple, θ será 0.87 (ver

Q_c : $F_{te} \cdot \text{horas uso} \cdot \text{grados día}$

Q_v : $F_{tv} \cdot \text{horas uso} \cdot \text{grados día}$

Luego:

Figura 26° : Balance térmico en la edificación, caso ejemplo



Grados día												
Concepción	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
	14	20	55	64	110	161	181	178	137	105	56	36
Balance térmico mensual												
Q_c (kWh)	-719	-927	-2823	-3180	-5647	-7998	-9292	-9138	-6806	-5390	-2782	-1848
Q_v (kWh)	-219	-282	-859	-968	-1719	-2434	-2828	-2781	-2071	-1641	-847	-562
Q_i (kWh)	104,16	94,08	104,16	100,8	104,16	100,8	104,16	104,16	100,8	104,16	100,8	104,16
Q_s (kWh)	397,3	433,4	606,5	611,0	481,7	438,7	449,5	529,2	522,8	474,5	373,2	342,0
Q_{total} (kWh)	-436,0	-682,1	-2972,2	-3435,4	-6779,8	-9893,3	-11566,1	-11285,5	-8254,0	-6452,1	-3154,8	-1964,4

Finalmente, podemos hacer un análisis comparativo simple de cómo podría mejorar el desempeño energético de nuestro caso, de utilizar mejores estándares de edificación (reduciendo transmitancia térmica de muros y ventanas). A continuación se presenta una tabla con los resultados de ahorro energético de diferentes mejoras

Caso mejorado 1	Caso mejorado 2	Caso mejorado 3
Se incorpora aislación de 45mm en el muro, Valor $U = 0.54 \text{ W/m}^2\text{K}$	Se incorpora aislación de 45mm en el muro, Valor $U = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$	Se incorpora aislación de 45mm en el muro, Valor $U = 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, se incorpora ventana DVH, $U = 2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\theta = 0.75$
31%	40%	60%

Usando una metodología simple como la anterior, es posible darse una idea de cómo ocurre el balance térmico al interior de un edificio, sin embargo, la determinación de estándares energéticos de un edificio requerirá un análisis mucho más complejo, puesto que existen muchos otros fenómenos que influyen en el comportamiento térmico al interior de la edificación, como también en el desempeño de la envolvente térmica. Muchos de estos temas se abordan en los siguientes capítulos.

Por otro lado, existen herramientas sofisticadas que el Gestor puede utilizar para estimar con mayor grado de confianza el comportamiento del edificio, así como el desempeño energético de sistemas activos (ver 2.5.1).

DISEÑO PASIVO ARQUITECTÓNICO

CAPÍTULO

02



al término del módulo el alumno será capaz de:

- Identificar y adoptar criterios respecto a los diferentes factores climáticos que afectan al diseño arquitectónico
- Manejar ampliamente el concepto y las dimensiones de la calidad ambiental interior en la edificación.
- Establecer criterios para la aplicación de estrategias pasivas de diseño bioclimático en proyectos
- Apoyar la gestión energética de un proyecto arquitectónico, manejando alternativas tanto metodológicas, como de sistemas constructivos, herramientas de simulación y sistemas de certificación disponibles

El siguiente módulo entrega los conceptos fundamentales para gestionar el diseño pasivo de edificios. Al finalizar el módulo el alumno será capaz de:

- Conocer y comprender los diferentes factores que influyen en el diseño de la envolvente del edificio y su impacto en la demanda y consumo de energía.
- Conocer el impacto de materiales, elementos y sistemas constructivos en la demanda y consumo de energía del edificio.
- Conocer herramientas de simulación del comportamiento energético del edificio bajo los supuestos adoptados en el diseño.
- Conocer herramientas de verificación que permitan corroborar el comportamiento energético del edificio una vez construido.
- Conocer herramientas de certificación energética de edificios desarrolladas actualmente en Chile.

Factores que influyen en el diseño arquitectónico

Para efectos del presente Manual, un diseño arquitectónico energéticamente eficiente será el que:

- Responde adecuadamente a parámetros climáticos del lugar
- Entrega a su vez condiciones de calidad medioambiental interior adecuadas, mediante estrategias de diseño pasivo.

En este sentido, el Gestor Energético debe saber que:

- Existen criterios fundamentales de diseño arquitectónico pasivo, también conocidos como arquitectura bioclimática, que pueden ser aplicados en un diseño de modo de adecuarlo a los requerimientos climáticos y del entorno.
- Existen fuentes de información climática que ayudarán a identificar las exigencias energéticas de un futuro proyecto de edificación.

- Existen herramientas computacionales que permiten simular el comportamiento de un diseño arquitectónico de acuerdo a parámetros climáticos, entregando las temperaturas interiores, necesidades de iluminación y otros aspectos. Estas herramientas son de gran utilidad durante la etapa de diseño y permiten plantear estrategias de diseño pasivo o bioclimático, evaluando sus resultados.

Los criterios y herramientas antes mencionadas pueden ser incorporados por el Gestor a un proyecto de edificación, mediante el desarrollo de un proceso de "Diseño Integrado de Eficiencia Energética" (ver 1.2.5.), para el diseño tanto arquitectónico como de especialidades involucradas en el edificio.

A continuación se presentan los parámetros principales que condicionan un diseño arquitectónico pasivo.

Unidad 2.1. Estudio de parámetros climáticos

Es tarea del Gestor Energético que el clima local sea considerado dentro de un proceso de diseño arquitectónico de un edificio. Dicho diseño arquitectónico debe responder a las condiciones climáticas características del lugar donde se emplaza, buscando aprovechar al máximo los beneficios del clima y al mismo tiempo protegerse de sus inclemencias.

Estas condiciones climáticas varían dependiendo de la ubicación geográfica del edificio, especialmente en el caso de Chile donde su geografía da lugar a casi la totalidad de climas posibles.

Existen diversos parámetros que intervienen en las condiciones climáticas de un lugar, y que se deben controlar desde la etapa de diseño puesto que influyen fuertemente en el comportamiento energético del edificio: Los parámetros más importantes son la temperatura, radiación solar, humedad, vientos, nubosidad y pluviometría.

Es importante contar con datos climatológicos válidos, es decir, obtenidos a partir de información histórica de la zona. La información meteorológica del país se encuentra disponible en anuarios climatológicos de la Dirección General de Aeronáutica Civil, Dirección Meteorológica de Chile. También es posible obtener esta información a partir de otras bases de datos existentes (Organización Mundial Meteorológica, por ejemplo) o bien construir una base de datos climática mediante interpolación de datos meteorológicos utilizando software especiales como Meteonorm. Estas bases de datos climáticos son necesarias en caso de utilizar software de simulación energética (Ver 2.5.1.).

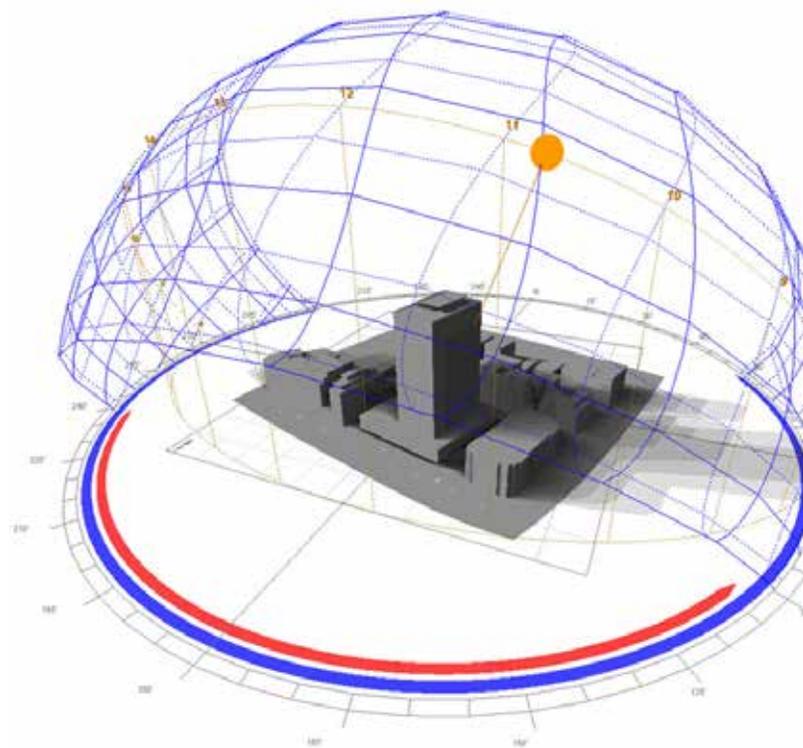
2.1.1. Temperatura

Es uno de los parámetros fundamentales del clima que varía principalmente por períodos estacionarios. Corresponde a la radiación solar acumulada en la superficie terrestre y entregada al ambiente como radiación infrarroja. Es un concepto relativo, asociado a la percepción de calor y frío, que se encuentra condicionado por diversos factores como altitud, latitud, relieve, vegetación, topografía, entre otras condiciones meteorológicas.

Se valora en grados Celsius, y su magnitud influye en la evaporación, radiación y movimiento del aire. De esta forma la temperatura del lugar define los requerimientos de acondicionamiento térmico del edificio.

Es posible caracterizar el clima de un lugar en función de la temperatura utilizando el concepto de grados día. Este es un indicador que relaciona la temperatura horaria de una zona con una temperatura base, conocida como temperatura de confort, definiendo de esta forma su rigurosidad climática. Existen Grados Día para Calefacción y Grados Día para Refrigeración o Enfriamiento, y son una herramienta que facilita la determinación de cargas térmicas anuales o mensuales para acondicionamiento térmico (Ver 2.1.8).

Es importante al momento de caracterizar el clima de una zona, considerar además del cálculo de los grados días otros factores tales como: temperaturas medias en invierno y verano, temperaturas mínimas en invierno y máximas en verano, y las oscilaciones térmicas diarias.



Fuente: <http://www.plataforma-pep.com/>

2.1.2. Radiación solar

Es un parámetro que varía constantemente a lo largo del año. Corresponde a la cantidad de energía solar que llega a la superficie terrestre de manera directa, difusa, o reflejada. Su incidencia sobre la envolvente del edificio aumenta la temperatura en la superficie exterior que luego se transmite y libera al interior de los recintos, además genera movimiento de masas de aire entre zonas a diferentes temperaturas.

Su magnitud depende de la inclinación con que llegan los rayos del sol a la superficie terrestre y del ángulo en que se encuentra este respecto del norte, he ahí su variación a lo largo del año, existiendo mayores niveles de radiación en verano y menores en invierno.

Se determina a partir del azimut y la altitud del sol respecto del cenit, información disponible en cartas solares donde se describe la trayectoria solar que recibe la zona donde se proyecta el edificio así como los espacios al interior de este, concepto conocido como "asoleamiento".

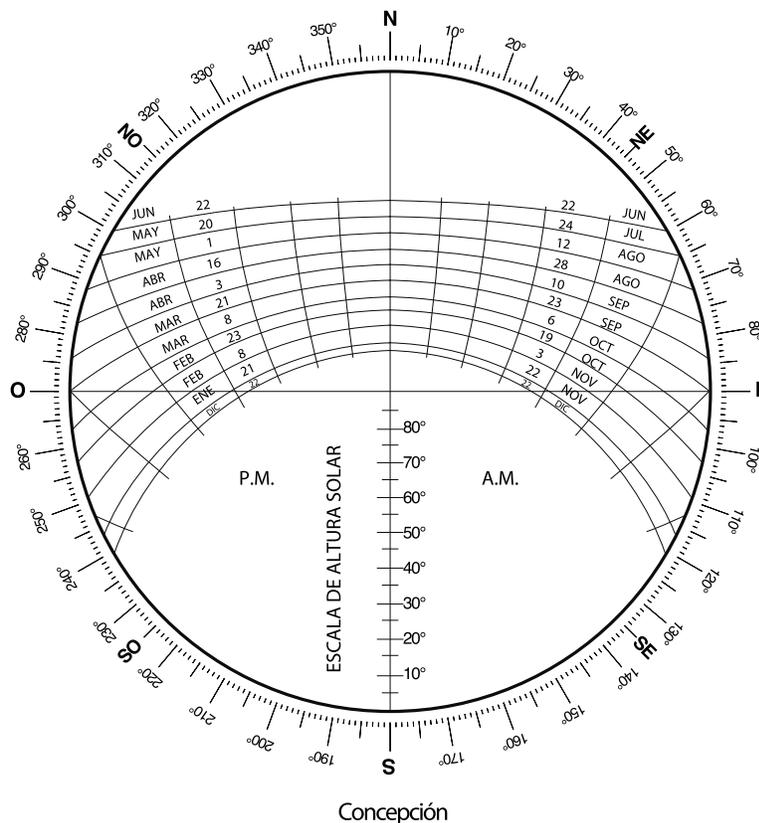
La información entregada por la carta solar del lugar es fundamental para la correcta orientación del edificio y ubicación de aberturas, elementos de protección solar, y captadores de energía.

2.1.3. Humedad

Es uno de los parámetros fundamentales para caracterizar el clima de un lugar. Corresponde a la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, resultado del calentamiento y evaporación de las masas de agua por acción de la radiación solar.

Es una variable de gran importancia para el estudio del comportamiento térmico de la edificación durante el diseño del edificio y para la implementación de medidas correctoras posteriormente durante la operación.

Figura 27: Carta solar ciudad de Concepción.



Fuente: Ministerio de Obras Públicas. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Recuperado de <http://www.mop.gov.cl/>

La magnitud de humedad no se estudia en términos absolutos sino que se utiliza el concepto de **humedad relativa**, el cual relaciona la cantidad de vapor de agua que contiene una masa de aire con la cantidad que tendría si estuviera completamente saturada. Este valor varía dependiendo de la temperatura (a mayor temperatura del aire mayor capacidad de contener vapor de agua) y además se ve influenciado por la cercanía a fuentes de agua. En zonas próximas al mar o lagos, el aire posee una mayor cantidad de vapor de agua, mientras que en zonas áridas y desérticas este valor es menor.

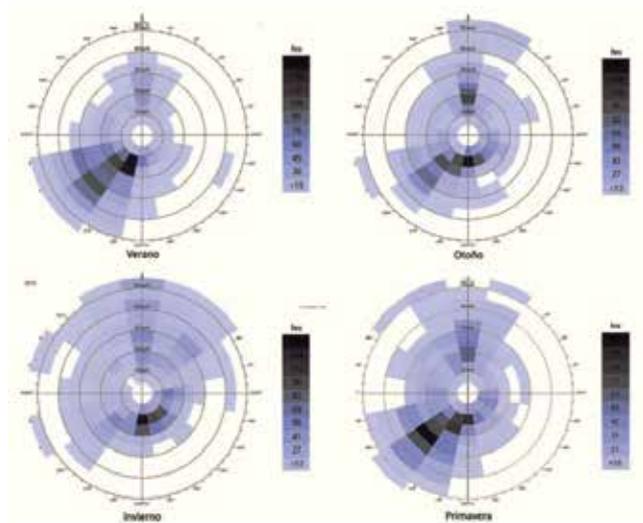
La humedad junto con el movimiento y la temperatura del aire, inciden directamente en la condiciones de confort del edificio, por ende se debe tener especial cuidado en su estudio durante el diseño. Además influye en el fenómeno de condensación, en climas donde la humedad relativa es alta y en presencia de bajas temperaturas invernales el riesgo de condensación en los elementos constructivos es mayor. En el ítem 2.3.7. se incorpora un ejercicio práctico que aborda el cómo determinar condiciones de riesgo de condensación mediante la herramienta de “Carta Psicrométrica”.

2.1.4. Vientos predominantes

Los vientos corresponden a movimientos de aire que se producen por la búsqueda del equilibrio de presiones en la atmósfera. Existen tres parámetros que se miden respecto al viento: su velocidad de desplazamiento, su dirección respecto a los puntos cardinales y su frecuencia (cantidad de horas en que se presenta cierta velocidad de viento dentro de un período determinado).

Los vientos modifican la temperatura y humedad de los lugares por donde circulan, por ende son considerados como la principal forma de climatización de recintos en climas cálidos y húmedos, donde se condiciona el diseño del edificio de manera tal que permita la ventilación natural. Esta ventilación natural puede resultar beneficiosa ante altas temperaturas que demanden la circulación y renovación constante de aire al interior de los recintos, más puede resultar perjudicial ante bajas temperaturas donde se deben limitar las pérdidas energéticas. La figura a continuación muestra el ejemplo de los vientos predominantes en la ciudad de Concepción (ciudad litoral de clima frío templado) durante las cuatro estaciones. Mediante este tipo de información, un Gestor Energético podría determinar condiciones aptas para el uso de ventilación natural teniendo en cuenta la reducción de posibles pérdidas de energía.

Figura 28: Vientos predominantes ciudad de Concepción.



Fuente: Ministerio de Obras Públicas. (2012). Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos. Recuperado de <http://www.mop.gov.cl/>

2.1.5. Nubosidad

Corresponde a la cantidad de días cubiertos por nubes y la extensión del cielo que se encuentra cubierta. La información respecto a este parámetro no se encuentra generalmente en informes climáticos, por ende es clave consultar para su correcta caracterización con habitantes de la zona donde se emplazará el edificio y observar la cantidad de nubes y sus formas durante determinados períodos de tiempo.

Este parámetro influye en la magnitud de otras variables, como temperatura, humedad, movimiento del aire y radiación solar. Respecto a esta última, la nubosidad puede significar un aporte positivo al proteger el edificio de los altos niveles de radiación, o negativo al limitar los niveles y la calidad de la iluminación natural disponible y coartar el suministro de energía solar para sistemas que funcionen a partir de ella.

2.1.6. Pluviometría

Corresponde a la cantidad de agua que cae sobre la tierra en forma de llovizna, lluvia, nieve, agua-nieve, o granizos, descartando de la clasificación los fenómenos de neblina y rocío.

Acotando el concepto a la caracterización del clima de una zona en particular, la cantidad de precipitaciones que ocurren en un lugar durante un período de tiempo determinado se conoce como pluviosidad, y se mide en milímetros caídos.

Este parámetro es determinante dentro del diseño del edificio puesto que se relaciona con la velocidad y dirección del viento, además de influir en la humedad relativa, vegetación y contaminación del lugar. Su magnitud y frecuencia define el diseño y materialidad de la envolvente, en especial de la cubierta.

2.1.7. Microclimas

Adicional al análisis de los parámetros que caracterizan el clima del lugar, se debe estudiar la existencia de microclimas dentro de la región que modifiquen estas condiciones climáticas características. Estos pueden ser de origen natural asociados a peculiaridades geográficas, o artificial asociados a la existencia de centros urbanos, tales como la forma del territorio, sus pendientes, valles, presencia de cuerpos de agua como mar, lagos, vegetación, etc.

Tabla 3: Resumen de modificaciones de parámetros por efecto de microclimas

Parámetros climáticos modificados	Características de microclima					
	Topografía	Pendientes	Valles	Presencia de agua	Centros urbanos	Vegetación
Radiación solar	P	P	P			P
Temperatura	P			P	P	P
Proyección de sombras	P	P				P
Dirección y/o velocidad de vientos	P		P	P	P	P
Exposición a vientos y/o precipitaciones			P			P
Iluminación natural			P			P
Humedad del aire				P		P
Calidad del aire					P	P
Visibilidad					P	P

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada

2.1.8. Aplicabilidad del clima en la Gestión Energética del Diseño

Tal como se ha mencionado en puntos anteriores, existen diversas fuentes de información climática para que el Gestor Energético apoye el buen desarrollo de un diseño, no obstante es importante clarificar algunas de estas fuentes debido a su relevancia en las normativas vigentes o estándares más utilizados a nivel local.

En relación a esto último, es importante mencionar que Chile cuenta con una Zonificación Térmica y una Zonificación Climática:

La Zonificación térmica (ZT), tipo de zonificación utilizada actualmente para la Reglamentación Térmica de Viviendas (Art 4.1.10 OGUC). Esta corresponde a una caracterización del país de acuerdo a sus temperaturas mínimas y sus correspondientes requerimientos de calefacción mediante la metodología de Grados-Día (ver 2.1.1.1). De acuerdo a esta Zonificación, Chile se divide en siete Zonas térmicas. Para obtener más información sobre la reglamentación térmica, se recomienda visitar http://www.minvu.cl/opensite_20070417155724.aspx.

Los grados días de calefacción se calculan como la sumatoria anual de las diferencias horarias entre la temperatura del aire exterior y una temperatura base de calefacción para todos los días del año, cuando la temperatura exterior del edificio es menor a esta temperatura base.

En el caso de la zonificación térmica definida en la reglamentación térmica vigente para viviendas (Artículo 4.1.10 OGUC), para la estimación de los GD se tomó como base de temperatura interior 15°C, bajo el supuesto de que lo que resta para alcanzar confort de 18 a 20°C es aportado por las ganancias internas (personas, electrodomésticos, iluminación artificial y otros) junto con las ganancias solares. Para esta zonificación se determinaron grados-día anuales. La siguiente tabla muestra las zonas térmicas con su respectivo rango de GD de calefacción con base en 15°C.

Tabla 4: Grados días anuales por zona térmica.

Zona Térmica	Ciudades dentro de la ZT	Grado Día (Anuales con base en 15°C)
1	Arica, Iquique, Antofagasta, Copiapó, La Serena	≤ 500
2	Calama, Ovalle, Valparaíso, Viña del Mar	> 500 - ≤ 750
3	Los Andes, Santiago, Rancagua, Teno	> 750 - ≤ 1.000
4	Talca, Curicó, Concepción, Chillán	> 1.000 - ≤ 1.250
5	Temuco, Valdivia, Osorno	> 1.250 - ≤ 1.500
6	Ancud, Puerto Montt	> 1.500 - ≤ 2.000
7	Coyhaique, Punta Arenas	> 2.000

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

Para efectos prácticos, es importante mencionar que herramientas de simulación simplificadas (tales como RetScreen entre otras, y la herramienta CE_Chile para Calificación Energética de MINVU) incorporan en sus bases de datos los grados día por localidad, los cuales pueden ser obtenidos de información de temperaturas en estaciones meteorológicas locales. La tabla a continuación presenta un ejemplo de la información obtenible para 7 ciudades del país.

Tabla 5: Grados días anuales por zona térmica en 2013.

Grados Día de calefacción para temperatura base de 15°C.													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Arica	0	0	0	2	5	7	13	4	3	0	0	0	34
Calama	ND	ND	ND	104	130	127	133	161	128	117	101	69	1.001
Santiago	3	4	26	69	134	190	214	184	120	67	40	12	1.063
Concepción	14	20	55	64	110	161	181	178	137	105	56	36	1.117
Valdivia	8	22	69	85	105	208	234	214	162	93	57	14	1.271
Puerto Montt	47	48	92	115	160	223	263	260	220	170	120	72	1.790
Punta Arenas	92	123	166	202	319	349	356	409	319	248	224	190	2.997

Fuente: Elaboración propia con base en datos obtenidos de estaciones SCAR (Arica), SCCF (Calama, El Loa), SCEL (Santiago, Pudahuel), SCIE (Concepción), SCVD (Valdivia), SCTE (Puerto Montt) y SCCI (Punta Arenas), a través de <http://www.degreedays.net>.

La Zonificación Climática Habitacional, establecida en la NCh1079Of.2008, norma que tiene por objetivo determinar recomendaciones de diseño arquitectónico, tomando en consideración no solamente variables de temperatura, sino también todos los factores climáticos relevantes, tales como la oscilación térmica, la insolación, la humedad relativa, etc.. De acuerdo a la Zonificación que entrega esta Norma, Chile se divide en nueve Zonas climáticas, las cuales se indican en la tabla a continuación.

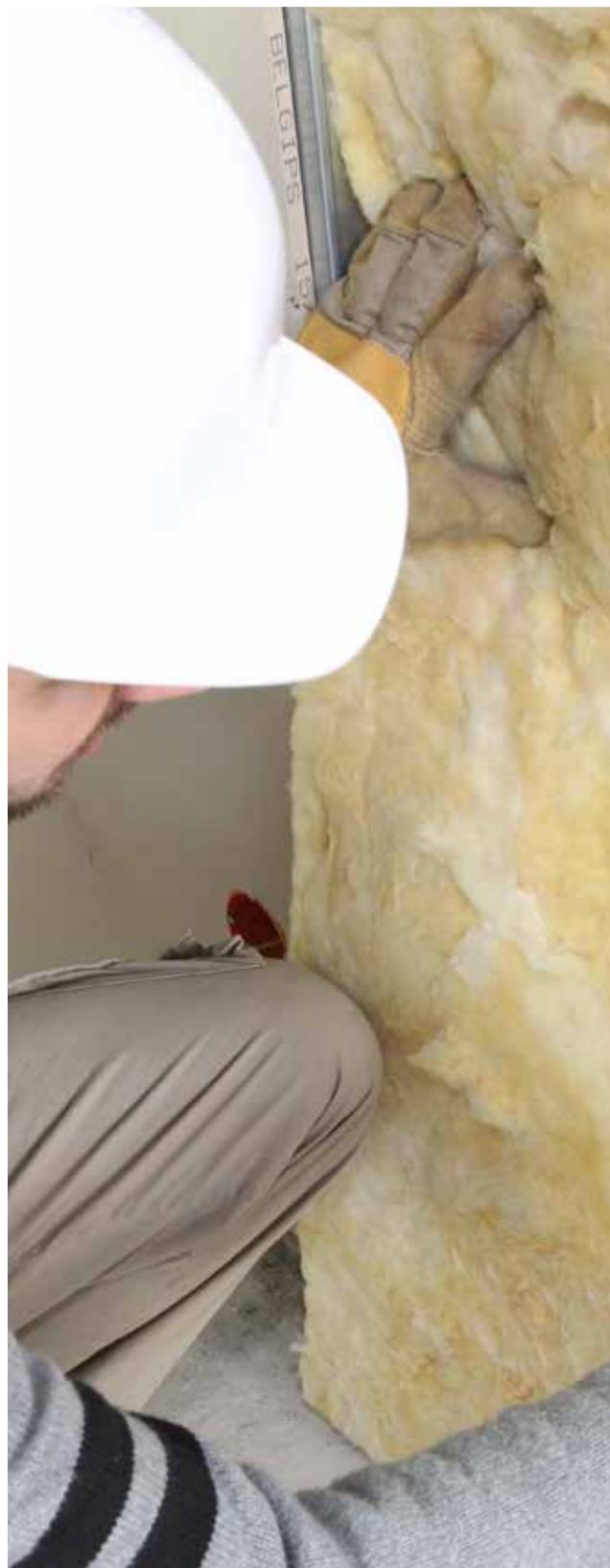


Tabla 6: Zonificación Climática Habitacional.

Nombre		Ciudades de Referencia
NL	Norte Litoral	Arica, Iquique
ND	Norte Desértica	Calama
NVT	Norte Valles Transversales	Copiapó, Ovalle
CL	Central Litoral	Valparaíso, Constitución
CI	Central Interior	Santiago
SL	Sur Litoral	Concepción, Valdivia
SI	Sur Interior	Traiguén, Osorno
SE	Sur Extremo	Aysén, Punta Arenas
An	Andina	El Teniente

Fuente: Elaboración propia con base en NCh1079Of.2008.

Unidad 2.2. Calidad del Ambiente Interior

En la actualidad, aproximadamente entre un 70% y 80% de la población reside en núcleos urbanos de tamaños medio a grande. Se estima dentro de esta proporción, que un ciudadano urbano promedio pasa aproximadamente el 90% de su tiempo en espacios interiores. Dada esta referencia es posible dimensionar el impacto que tiene calidad de los ambientes interiores en la vida y salud de las personas.

La calidad ambiental de los recintos al interior de un edificio es constantemente perturbada por la interacción de agentes físicos (temperatura, viento, radiación, ruidos), químicos (sustancias y compuesto orgánicos e inorgánicos) y biológicos. De esta situación derivan diferentes consecuencias sobre el entorno humano y material inmediato, entre ellos problemas a la salud y pérdida de las condiciones de confort del edificio.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido el "Síndrome del Edificio Enfermo" como al conjunto de molestias o enfermedades que aparecen durante la ocupación de un recinto afectado y desaparecen tras su abandono, entre estas molestias se encuentran sequedad de piel y mucosas, escozor de ojos, cefalea, astenias, falta de concentración y rendimiento. Esta situación se da al menos en el 20% de los usuarios que permanecen al interior de este tipo de recintos y es consecuencia de una mala calidad del ambiente interior producto principalmente de la limitada renovación de aire que da lugar a la presencia de contaminantes en el medio.

El estudio de las potenciales soluciones a este problema ha dado lugar a un nuevo campo de conocimiento denominado *Calidad de Ambientes Interiores*.

Se denomina *Calidad de Ambiente Interior* a la consecución de una perfecta calidad en el conjunto de factores ergonómicos asociados al ambiente térmico, ambiente acústico, ambiente luminoso, y aire interior referido a los contaminantes en él presentes. Una buena calidad del ambiente interior debe evitar generar molestias y afecciones a la salud a quienes hacen uso del edificio y sus recintos.

Es importante que el Gestor Energético tenga en cuenta el impacto de un buen diseño del edificio, no solo desde el punto de vista energético, sino también del cumplimiento de parámetros ligados a la calidad del ambiente interior, en muchos de los aspectos antes enunciados.

2.2.1. Confort higrotérmico

Se refiere a la percepción del entorno inmediato mediante el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente, principalmente a través de la piel y los pulmones.

El ser humano, a diferencia de los animales de sangre fría que adaptan su temperatura a la del medio ambiente, debe mantener su temperatura estable entre los 36,5°C y 37,5°C independiente de las condiciones climáticas. Para lograrlo obtiene energía a partir de la oxidación de los alimentos.

La mayoría de los procesos metabólicos involucrados en la generación de esta energía son de carácter exotérmico, es decir, liberan calor. De la energía producida aproximadamente un 20% se utiliza para las necesidades propias del cuerpo humano, mientras que el 80% restante es disipado al ambiente en forma de calor. Esta disipación ocurre a través de la piel y los pulmones, y su magnitud depende del nivel de actividad del ser humano, a mayor actividad mayor disipación de energía al ambiente.

Tabla 7: Tasa metabólica típica y generación de calor por unidad de área de superficie del cuerpo humano para varias actividades

Actividad	Tasa metabólica (MET)	Generación de calor (W/m ²)
Descansar		
Durmiendo	0,7	41
Apoyado	0,8	46
Sentado, quieto	1,0	58
Parado, relajado	1,2	70
Caminar		
0.9 m/s	2,0	116
1.3 m/s	2,6	151
1.8 m/s	3,8	221
Trabajo de Oficina		
Leer sentado	1,0	58
Escribir a mano	1,0	58
Escribir a computador	1,1	64
Archivar, sentado	1,2	70
Archivar, parado	1,4	81
Levantar/Embalar	2,1	122
Ocupacional		
Cocinar	1,4 - 2,3	81 - 134
Aseo de casa	1,7 - 3,4	99 - 198
Movimiento de extremidades, sentado	2,2	128
Uso máquina aserradora	1,8	105
Trabajo de maquinaria liviana	1,6 - 2,0	93 - 116
Trabajo de maquinaria pesada	3,0	175
Manejo de cargas de 50 kg	4,0	233
Ocio		
Bailar	1,4 - 4,4	82 - 256
Ejercicio	3,0 - 4,0	175 - 233
Tenis	3,6 - 4,0	210 - 233
Básquetbol	5,0 - 7,6	291 - 442
Lucha en competencia	7,0 - 8,7	407 - 506

Fuente: CIBSE Guide A 2006.

El metabolismo es uno de los factores internos más importantes involucrados en la obtención de las condiciones de confort del ser humano. Otros factores son la edad, el sexo, la forma y superficie corporal, la acumulación de grasa, el estado de salud, la alimentación, etc.

Respecto a los factores externos involucrados en el confort del individuo, se encuentran:

- La temperatura del aire (en este caso, aire interior), dado que a mayor diferencia entre la temperatura del aire y la del cuerpo existirá un mayor flujo de calor entre ambos.
- El movimiento del aire, puesto que incrementa la disipación de calor del organismo ya sea potenciando las pérdidas de calor por convección y/o acelerando el proceso de evaporación.
- El movimiento del aire además tiene efectos mecánicos en el individuo que tienen que ver con su sensación de confort. Algunas reacciones subjetivas a diferentes velocidades del aire se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 8: Sensaciones subjetivas de acuerdo a la velocidad del viento.

Rango de Velocidad	Sensación
< 0,25 m/s	Imperceptible
0,25 - 0,50 m/s	Agradable
0,50 - 1,00 m/s	Perceptible
1,00 - 1,50 m/s	Desagradable
> 1,50 m/s	Muy molesto

Fuente: Fuentes, V. (s.f.). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de <http://arq-bioclimatica.com/>

- El grado de arropamiento del individuo, el cual determina la resistencia al intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente y con ello el nivel de disipación de la energía.
- La temperatura radiante o radiación, la cual afecta de manera importante la sensación térmica del organismo incluso más que la temperatura del aire.
- La humedad del aire, involucrada en los procesos de intercambio térmico del cuerpo tanto por sudoración como por evapotranspiración.

La falta de condiciones de confort térmico al interior de los ambientes puede provocar diversos trastornos en la salud de los individuos, que van desde afecciones leves a situaciones más complejas.

2.2.2.1. Modelos de análisis disponibles

Para conseguir el confort térmico al interior del edificio se deben analizar las relaciones que existen entre el medio ambiente térmico y las sensaciones tanto fisiológicas como psicológicas de los individuos inmersos en este. Existen dos enfoques respecto al estudio de estas relaciones:

- El enfoque cuantitativo de Confort Térmico, basado en modelos de balance térmico del cuerpo. Dentro de esta línea, existen diferentes metodologías de cálculo basadas en investigaciones empíricas efectuadas en cámaras climáticas bajo condiciones controladas, basándose principalmente en las respuestas fisiológicas del organismo.
- El enfoque cualitativo y la “teoría de confort adaptativo” que asume que los individuos se adaptan o intentan adaptarse a las condiciones térmicas de su entorno modificando su comportamiento o las condicionantes ambientales inmediatas (grado de arropamiento, horarios de uso, niveles de actividad, dieta, postura, ventilación, etc.) así como realizando ciertos ajustes psicológicos de manera inconsciente. Su metodología de cálculo se ha obtenido a partir de estudios *en campo* bajo condiciones reales y en relación al confort térmico en estado estable. Para profundizar, se recomienda leer Gómez - Azpeita, G., Bojorquez, G., Ruiz, R.P - El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados.

Ambos enfoques han dado luz a diversas herramientas o modelos de análisis ampliamente utilizados para evaluar las condiciones ambientales en proyectos de edificación. A continuación presentamos algunos de los métodos que el Gestor Energético debe conocer:

Método de Fanger – Predicted Mean Vote (PMV)

Éste es uno de los métodos cuantitativos más extendidos en la actualidad para la valoración del confort térmico, siendo utilizable mediante varias herramientas de simulación energética. Este caracteriza el ambiente térmico en estudio a partir de dos índices: el voto medio estimado (PMV) y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD). Este último indicador ha sido incorporado de modo de considerar los efectos de confort adaptativo

El procedimiento consiste en asignar un voto de confort, dentro de la escala de sensación térmica, a una cantidad de tensión térmica basada en la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo y el ambiente. A partir de una muestra

de personas expuestas a un ambiente térmico determinado, el método determina el voto estimado medio de confort (PMV) y el porcentaje de personas insatisfechas para dicho voto.

La escala de sensación térmica con la que se relaciona es la siguiente:

Tabla 9: Escala de sensación térmica relacionada a índice PMV

Voto medio estimado PMV	Escala de sensación térmica	Porcentaje de insatisfacción PPD
-3	Frío	99%
-2	Fresco	77%-99%
-1	Fresco ligero	25%-77%
0	Neutro	>25%
1	Caluroso ligero	25%-77%
2	Caluroso	77%-99%
3	Cálido	99%

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

La ecuación para determinar el voto medio pronosticado (PMV) involucra diferentes variables que influyen en el confort térmico del individuo.

Tabla 10: Variables que influyen en el cálculo del índice PMV.

Variables que influyen en el cálculo del índice PMV	
Variables Ambientales	Temperatura del aire
	Temperatura radiante media
	Velocidad relativa del aire
	Presión de vapor del agua
Variables Fisiológicas	Calor metabólico producido (interno)
	Energía metabólica producida (externo)
	Temperatura superficial de la piel
	Sudoración
	Intercambio de vapor evaporativo y convectivo a través de la respiración
Arropamiento	Pérdidas de calor seco del cuerpo por radiación, convección y conducción
	Grado de aislamiento de la ropa (flujo conductivo a través de la ropa)
	Relación entre área arropada y área superficial desnuda
	Temperatura superficial de la ropa

Fuente: Fuentes, V. (s.f.). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de <http://arq-bioclimatica.com/>

La fórmula general para determinar el voto medio estimado (PMV) es:

$$PMV = (0.303 e - 0.036M + 0.028) * [(M - W) - H - Ec - Cres - Eres]$$

Donde:

PMV: Voto medio estimado.

M: Tasa metabólica (W/m²).

W: Energía mecánica efectiva (trabajo) (W/m²).

H: Pérdidas de calor seco.

E: Intercambio de calor evaporativo de la piel (W/m²).

Cres: Intercambio de calor convectivo respiratorio (W/m²).

Eres: Intercambio evaporativo respiratorio (W/m²).

La fórmula para determinar el porcentaje de personas insatisfechas (PPD) es:

$$PPD = 100 - 95 e^{-(0.03343 PMV^4 + 0.2179 PMV^2)}$$

En la práctica, el uso de este modelo de análisis le permitirá al Gestor energético cuantificar condiciones ambientales interiores tanto en proyectos de edificación, como también en evaluaciones de edificios existentes. Este modelo de análisis está también disponible en programas de simulación térmica, (Ver 2.5.1.).

En la sección 2.2.7. se presenta un ejercicio práctico para entender la utilidad del modelo de Fanger.

Teoría de Confort Adaptativo

Modelo de análisis promovido actualmente para la comprobación de estándares de "diseño pasivo" en edificaciones (Es el caso de los requerimientos de los Términos de Referencia Estandarizados para Obras de Arquitectura del MOP publicados en <http://www.arquitecturamop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default.aspx>).

El modelo considera los efectos adaptativos del cuerpo humano, tales como los enunciados en la tabla a continuación. Luego, se establece una temperatura operativa mínima y máxima para determinar una banda de confort

Tabla 11: Efectos de distintos comportamiento adaptativos sobre la temperatura de confort

Acción	Efecto	Variación Temperatura
Quitarse o ponerse una chaqueta	Cambio de arropamiento ± 0,35 Clo	± 2,2°C
Usar ropa holgada o ajustada	Cambio de arropamiento ± 0,26 Clo	± 1,7°C
Quitarse la corbata y desabotonar la camisa	Cambio de arropamiento ± 0,13 Clo	± 0,8°C
Cambiar tipo de silla de oficina	Cambio de arropamiento ± 0,05 Clo	± 0,3°C
Permanecer sentado o caminar alrededor	Variación en metabolismo ± 0,4 Met	± 3,4°C
Nivel de estrés	Variación en metabolismo ± 0,3 Met	± 2,6°C
Vigor en las actividades	Variación en metabolismo ± 0,1 Met	± 0,9°C
Diferentes posturas	Variación en metabolismo ± 10% Met	± 0,9°C
Consumir bebidas frías	Variación en metabolismo -0,12 Met	+ 0,9°C
Consumir bebidas o alimentos calientes	Variación en metabolismo +0,12 Met	- 0,9°C
Encender un ventilador de mesa	Variación en velocidad del aire + 2,0 m/s	+ 2,8°C
Encender un ventilador de techo	Variación en velocidad del aire + 1,0 m/s	+ 2,2°C
Abrir una ventana	Variación en velocidad del aire + 0,5 m/s	+ 1,1°C

Fuente: Fuentes, V. (s.f.). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de <http://arq-bioclimatica.com/>

La temperatura óptima del aire interior (temperatura neutral) es aquella que permite que el cuerpo disipe adecuadamente el calor generado. Su valor se ubica dentro de un rango de temperatura en el cual el ser humano expresa satisfacción térmica con el ambiente (zona de confort). De acuerdo a los estudios realizados por S. Szokolay y Auliciems, la temperatura de confort térmico o temperatura neutral se puede determinar aplicando la siguiente fórmula:

$$Tn = b + m * Tm$$

$$Zc = Tn +/- 2,5°C$$

Donde:

Tn: Temperatura neutral

Tm: Temperatura media anual o mensual (al interior)

Zc: Zona de confort

Los valores de b y m varían de acuerdo a diferentes estudios vigentes presentes en la tabla a continuación.

Tabla 12: Valores de b y m para la construcción de modelos de confort térmico

Autor	b	M
Humphreys (1976)	11,9	0,534
Auliciems (1981)	17,6	0,31
Griffiths (1990)	12,1	0,534
Nicol et al. (1993)	17,0	0,38
Brager-De Dear (1998)	17,8	0,31
Humphreys - Nicol (200)	13,5	0,54

Fuente: Gomez - Azpeita, G., Bojorquez, G., Ruiz, R.P - El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados.

Para el caso de estándares de confort térmico para edificios públicos en Chile, se utilizan los valores de Auliciems (1981), es decir, la ecuación utilizada es la siguiente:

$$Tn = 17,6 + 0,31 * Tm$$

Para el caso de un recinto "confortable", la temperatura neutral tendrá valores límite superiores (para refrigeración) e inferiores (para calefacción). Dichos valores determinarán una "banda de confort térmico" que habitualmente tendrá un rango entre los 20°C y los 25°C. Es el caso de los requerimientos de los Términos de Referencia Estandarizados para Obras de Arquitectura del MOP publicados en <http://www.arquitecturamop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default.aspx>.

En la práctica, la simulación térmica de un edificio podrá determinar el porcentaje del tiempo de ocupación de un edificio o recinto específico, en el cual éste se encuentra dentro del rango de confort establecido. Esto a su vez determinará si un edificio puede considerarse "pasivo", o bien si requiere de apoyo activo de calefacción o refrigeración. Para el caso de estándares de edificios públicos, se considerará que un edificio es "pasivo" si el porcentaje de tiempo en confort iguala o supera el 95% (más información en el Anexo n°7 de los Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, publicado en <http://www.arquitecturamop.cl/CNBCN/Documents/ANEXON7TDRREFICIENCIAENERGETICAMOPDA.pdf>

2.2.2. Confort lumínico

Se refiere a la percepción del entorno inmediato a través del sentido de la vista. A diferencia del confort visual que comprende aspectos relacionados con la percepción espacial y de los objetos que rodean al individuo, el confort lumínico se encuentra asociado a los aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos relacionados con la luz.

La energía lumínica es una de las componentes de la radiación solar junto con la energía térmica y constituye uno de los recursos más abundantes del planeta, sin embargo, su uso es factible sólo durante el día. En respuesta a ello nacen sistemas de iluminación artificial que permiten ampliar este margen de uso, sin embargo, su aplicación trae consigo ciertos inconvenientes como la alteración de ciclos biológicos naturales y otras alteraciones tanto de carácter físico como psicológico del individuo.

No sólo es importante considerar la cantidad de luz al momento de evaluar el confort lumínico de un recinto, sino que también se debe estudiar la calidad de esta.

Calidad de la luz

La calidad se encuentra relacionada con las características de la iluminación que facilitan la visión y que se encuentran interrelacionadas entre sí. La principal característica lumínica que determina la calidad de la luz corresponde al tipo de luz o cualidad cromática, es decir, el tipo de energía recibida.

Dentro del amplio espectro de radiación electromagnética, se percibe como luz visible la banda que va desde los 380 a los 780 nanómetros (nm) de longitud de onda. El ojo

humano tiene su máxima sensibilidad a los 550 nm aproximadamente, mientras que la máxima emisión de radiaciones electromagnéticas del sol ocurre alrededor de los 500 nm. De esta manera el ojo humano es capaz de percibir de manera más sensible la luz emitida por el sol.

Teniendo esta información como referencia es posible evaluar la eficiencia de las fuentes de luz artificiales respecto a la emisión de radiación visible. Por ejemplo, la máxima emisión de una lámpara incandescente se registra a los 966 nm, valor que se encuentra fuera del espectro de luz visible. De esta forma, la exposición prolongada y constante a fuentes de luz artificial de este tipo significa un mayor esfuerzo visual que puede derivar en deformaciones y trastornos ópticos, así como otras afecciones a la salud de las personas.

La siguiente tabla muestra la distribución de energía emitida en la radiación de diferentes fuentes luminosas artificiales, indicando la proporción que corresponde a radiación visible, radiación ultravioleta, radiación infrarroja y aquella que se pierde en forma de calor por conducción y convección.

Tabla 13: Distribución de energía emitida en la radiación de diferentes fuentes luminosas.

Tipo de Fuente	% Radiación visible	% Radiación UV	% Radiación IR	% Conducción y convección
Incandescente	5,75	0,25	75	19
Fluorescente	28	0,5	-	71,5
Mercurio halogenado	24	1,5	24,5	50
Mercurio de alta presión	16,5	4	15	64,5
Sodio de baja presión	31	-	25	44
Sodio de alta presión	40,5	-	3,5	56

Fuente: Comité Español de Iluminación. (1996). Cuadernos de eficacia energética en iluminación N°1. Aplicaciones Eficientes de Lámparas.

Otros factores que determinan la calidad de la percepción lumínica corresponden al contraste y el deslumbramiento. El contraste corresponde a toda diferencia cualitativa o cuantitativa de luz percibida en un campo visual, este permite al ojo humano percibir los objetos. A mayor contraste mayor diferenciación entre los objetos, sin embargo, cuando este es excesivo ocurre el efecto de deslumbramiento, producto de la gran diferencia de iluminación entre una fuente y el espacio que la rodea.



Cantidad de luz

El ojo humano es capaz de recibir un amplio espectro de variación lumínica que va desde los 0,1 lux equivalentes a la luz de la luna llena hasta los 100.000 luxes equivalentes a la luz solar brillante.

La pupila se encuentra diseñada para adaptarse a estas variaciones, sin embargo, cambios bruscos pueden provocar sensaciones desagradables, dolor, y en casos más graves lesiones transitorias o permanentes.

Los niveles de iluminación óptimos varían en función del tipo de trabajo a realizar. Para tener una referencia normativa respecto a ello, la siguiente tabla resume las exigencias de algunos países.

Tabla 14: Normas de iluminación alta en algunos países

País	Trabajo delicado (iluminación alta)	Trabajo excepcionalmente severo (iluminación especial)
URSS	50 - 100 lux	150 - 300 lux
Hungría	150 - 300 lux	300 - 500 lux
México	300 - 400 lux	600 lux
Reino Unido	600 lux	2.000 - 3.000 lux
USA	1.500 lux	5.000 - 10.000 lux

Fuente: Fuentes, V. (s.f.). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de <http://arq-bioclimatica.com/>

Además de las afecciones fisiológicas producto de una calidad y/o cantidad de luz inadecuada, existen afecciones de carácter psicológico asociadas. El tipo de luz y su intensidad inciden en la percepción de los ambientes, repercutiendo en los estados de ánimo y en la forma de desenvolverse de los individuos en sus actividades diarias.

Manejando de manera adecuada la luz es posible mejorar la eficiencia y productividad, estimular el apetito, y lograr diferentes sensaciones como alegría, melancolía, romanticismo, etc.

Tabla 15: Distribución de energía emitida en la radiación de diferentes fuentes luminosas

Iluminancia mínima (lux)	Tipo de actividad iluminación
30	Circulación en superficies públicas mal encendidas
50	Orientación rápida para visitas de corta duración
100	Tareas visuales estrictamente ocasionales
300	Tareas con exigencias visuales simples
500	Tareas con exigencias visuales medias
1.500-2.000	Tareas con elevadas exigencias visuales
3.000 a 10.000	Tareas muy meticulosas

Fuente: Recuperado de http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/TDRe_MOP-DA_Parte3.pdf

2.2.3. Confort acústico

Se refiere a la percepción del entorno inmediato mediante el sentido del oído. La existencia de los sonidos permite percibir el medio circundante, estos están presentes en todos los ambientes en mayor o menor intensidad.

El confort acústico se refiere a contar con los niveles sonoros y la calidad sonora adecuada en los espacios. La acústica se preocupa del diseño de los espacios, dispositivos, y equipos que permiten contar con estos requerimientos.

Una buena audición es determinante para el correcto procesamiento de la información adquirida al interactuar con el medio ambiente. El sonido se caracteriza por dos factores: intensidad y sonoridad. La intensidad corresponde a la energía transmitida a través del aire, esta varía en función de la distancia fuente-receptor y se mide en Decibeles (dB). La sonoridad corresponde a la fuerza con que se percibe el sonido y se mide en niveles de presión acústica (NPA).

La percepción del sonido depende de diferentes factores como la edad, el sexo, el estado de ánimo, etc. La Organización Mundial de la Salud ha definido rangos de confort generales en función de la intensidad de este.

Tabla 16: Percepción del sonido en función de su intensidad.

Rango de intensidad	
Muy silencioso	0 - 25 dBA
Silencioso	25 - 35 dBA
Moderado	35 - 45 dBA
Ruidoso	45 - 55 dBA
Muy ruidoso	> 55 dBA
Límite de la OMS	90 dBA
Umbral de dolor	130 dBA

Fuente: Fuentes, V. (s.f.). Arquitectura Bioclimática. Recuperado de <http://arq-bioclimatica.com/>

Tabla 17: Aislamiento acústico a ruido aéreo mínimo.

Recinto Emisor	Recinto receptor				
	Oficinas (dBA)	Salas de clase (dBA)	Pabellones (dBA)	Áreas comunes (dBA)	Equipamiento (dBA)
Oficinas	35	50 dB	35 dB	35 dBA	50 dBA
Salas de clase	--	50 dB	--	50 dBA	50 dBA
Pabellones	--	--	35 dB	45 dBA	50 dBA
Áreas comunes	--	--	45 dB	35 dBA	50 dBA
Equipamiento	--	--	55 dB	--	50 dBA

Fuente: Recuperado de http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/TDRe_MOP-DA_Parte3.pdf

Si el sonido no cumple con los requerimientos de confort acústico, es desordenado o muy intenso, se denomina "ruido" el cual es un factor contaminante dentro de los ambientes y que tiene repercusiones en la salud del ser humano a corto, mediano y largo plazo. Entre algunas de sus consecuencias se encuentran:

- Interferencia en la comunicación
- Pérdida temporal o permanente de forma gradual, parcial o total de la capacidad auditiva
- Perturbación del sueño
- Estrés, cefaleas, migrañas y dolores musculares
- Disminución de la concentración y bajo rendimiento
- Accidentes por distracción a causa de ruidos
- Problemas psicológicos

2.2.4. Calidad del aire

Se refiere a la renovación adecuada del aire viciado por aire fresco. Este parámetro de confort puede medirse en la práctica por el nivel de concentración de CO₂ en el aire, el cual de acuerdo a recomendaciones internacionales tiene como valor límite los 1.000 ppm (ASHRAE 1020). No obstante, existen algunos requerimientos normativos vigentes que se enfocan más bien en los caudales mínimos de ventilación, es decir, la dotación mínima de litros de aire fresco por persona por hora de acuerdo al tipo de espacio.

Tabla 18: Resumen de rangos mínimos de ventilación en edificación

Tipo de recinto	Índice de aire exterior por persona	Índice de aire exterior por área
	l/s persona	l/s m ²
Edificios de oficinas		
Oficina, Áreas de recepción, Teléfono / Ingreso de datos, Hall de acceso principal	2,5	0,3
Edificios educacionales		
Sala Cuna y Jardín Infantil (hasta edad 4 años), Enfermería en Sala Cuna y Jardín Infantil, Sala de clases de arte, Taller de maderas / metales, Laboratorios	5	0,9
Sala de clase (edad 5- sobre 9 años), Laboratorio de computación, Centro multimedia	5	0,6
Auditorio, Sala de uso múltiple	3,8	0,3
Música / Teatro / Danza	5	0,3
Edificios de salud		
Salas de pacientes, Salas de espera	5	0,9
Pasillos / Espacios de circulación	3	0,4
Sala de enfermeras	5	0,9
Salas de tratamiento, recuperación, aislamiento y Pabellones quirúrgicos	8	1,2
Edificios de seguridad		
Celda	2,5	0,6
Sala de día, Estación de guardia	2,5	0,3
Sala de ingreso / espera	3,8	0,3

Fuente: Recuperado de http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/TDRe_MOP-DA_Parte2.pdf

En la práctica, estos caudales mínimos de ventilación deberán ser considerados por el Gestor, ya que repercutirán en el desempeño energético del proyecto como pérdidas de energía por ventilación (Ver 2.3.2.1.).

2.2.5. Confort olfativo

Se refiere a la percepción del entorno inmediato a través del sentido del olfato. Este se puede analizar desde dos puntos de vista: el uso de olores agradables para estimular ciertas sensaciones psicológicas del individuo y el manejo de olores desagradables, que apunta principalmente a la contaminación ambiental por desechos y residuos.

Para conseguir el confort olfativo al interior de los ambientes se debe proceder en ambas líneas, utilizando fuentes naturales o artificiales de olores agradables para eliminar o enmascarar aquellos que van en desmedro del confort olfativo, y manejando las fuentes de olores desagradables almacenándolas en lugares especiales controlados, además de la adecuada ventilación de los espacios.

2.2.6. Confort psicológico

Se refiere a la recepción en el cerebro de toda la información sensorial del medio ambiente percibida a través de los sentidos. Se encuentra implícito en todos los tipos de confort mencionados, esto permite que bajos niveles de confort en ciertas áreas puedan ser compensados potenciando otras.

Por ejemplo, bajos niveles de confort térmico y lumínico pueden ser compensados con el manejo de los colores, texturas, y espacios de manera de otorgar un mayor confort visual, así como bajos niveles de confort acústico pueden ser compensados eliminando la percepción visual de la fuente sonora, aun cuando esta mantenga sus niveles de ruido, psicológicamente el disconfort disminuye.

2.2.7. Ejercicio práctico: Método de Fanger

El gestor energético puede realizar el cálculo simplificado de estos índices a través de herramientas computacionales diseñadas para ello, donde debe ingresar ciertos parámetros conocidos en sus unidades respectivas y el software calcula de manera automática los valores PMV y PPD asociados.

Las variables involucradas en el cálculo impactarán de diferente forma en el valor PMV obtenido. A continuación se evaluará la incidencia de algunas de ellas.

Para el cálculo se ha utilizado el software **PMV 2008 V.1.0, Ingvar Holmer** donde se ha ingresado la siguiente información como caso base:

- Producción de energía metabólica: 70 W/m²
- Tasa de trabajo mecánico: 0 W/m²
- Temperatura del aire: 20 °C
- Temperatura radiante media: 22 °C
- Velocidad relativa del aire: 0,5 m/s
- Humedad relativa: 50%
- Aislamiento básico de ropa: 1 clo.

El caso base representa una persona parada en estado de relajación bajo condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad del aire agradables. El Valor PMV obtenido ante estas condiciones es - 0,69 (15% de insatisfacción), el cual dentro de la escala de sensación térmica se encuentra entre una sensación neutra (0) y una sensación de fresco ligero (-1).

Caso 1: Comportamiento de PMV ante variación de temperatura del aire (Demás variables fijas).

Temperatura del aire (°C)	15	16	17	18	19	20
PMV	-1,56	-1,39	-1,21	-1,04	-0,86	-0,69
PPD	54	45	36	28	21	15

Variando la temperatura del aire entre 15°C y 20°C, los valores PMV obtenidos fluctúan entre -1,56 y -0,69. Entre las variables evaluadas, ésta es la de mayor influencia en el índice PMV, disminuyendo su valor aproximadamente 0,2 puntos por cada grado de temperatura adicional.

Caso 2: Comportamiento de PMV ante variación de velocidad del aire (Demás variables fijas).

Velocidad del aire (m/s)	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
PMV	-0,69	-0,75	-0,81	-0,86	-0,90	-0,94
PPD	15	17	19	21	22	24

Variando la velocidad del aire entre 0,5 m/s y 1 m/s, los valores PMV obtenidos fluctúan entre -0,69 y -0,94. Entre las variables evaluadas, ésta posee una incidencia de nivel medio en el índice PMV, aumentando su valor aproximadamente 0,1 puntos por cada décima adicional.

Caso 3: Comportamiento de PMV ante variación de humedad relativa (Demás variables fijas).

Humedad relativa (%)	50	55	60	65	70	75
PMV	-0,69	-0,66	-0,63	-0,61	-0,58	-0,55
PPD	15	14	14	13	12	11

Variando la humedad relativa entre 50% y 75%, los valores PMV obtenidos fluctúan entre -0,69 y -0,55. Entre las variables evaluadas, ésta es la de menor influencia en el índice PMV, disminuyendo su valor aproximadamente 0,03 puntos por cada tramo.

Unidad 2.3. Estrategias de diseño pasivo.

El diseño pasivo de edificios, también conocido como diseño bioclimático, es una técnica que busca optimizar el aprovechamiento de las condiciones naturales de la zona donde se emplaza el edificio a través de la incorporación de soluciones arquitectónicas y constructivas adecuadas al clima y ecosistema. Esto supone el máximo aprovechamiento de los recursos naturales y la reducción al mínimo de las necesidades de consumo energético en sistemas activos de acondicionamiento, tales como calefacción, refrigeración e iluminación artificial.

El aprovechamiento de la energía solar, en forma de luz y calor, es una de las estrategias que tiene mayor incidencia en la climatización pasiva del edificio. Es posible incorporar criterios de diseño que permitan un aprovechamiento continuo de la energía solar así como incorporar tecnologías que permitan manejar el recurso dentro de grandes períodos de tiempo.

Criterios de aprovechamiento continuo son, por ejemplo, el posicionamiento de las ventanas, el aporte de masa térmica y la aislación del edificio. Un correcto posicionamiento de las ventanas, sumado al aporte de masa térmica y un buen aislamiento, puede conseguir hasta un 30% de ahorro en calefacción.

El Gestor Energético deberá perseguir la aplicación de estrategias de diseño pasivo en la etapa de Arquitectura. Para esto, el presente Manual propone los aspectos a evaluar conforme al proceso de diseño arquitectónico.

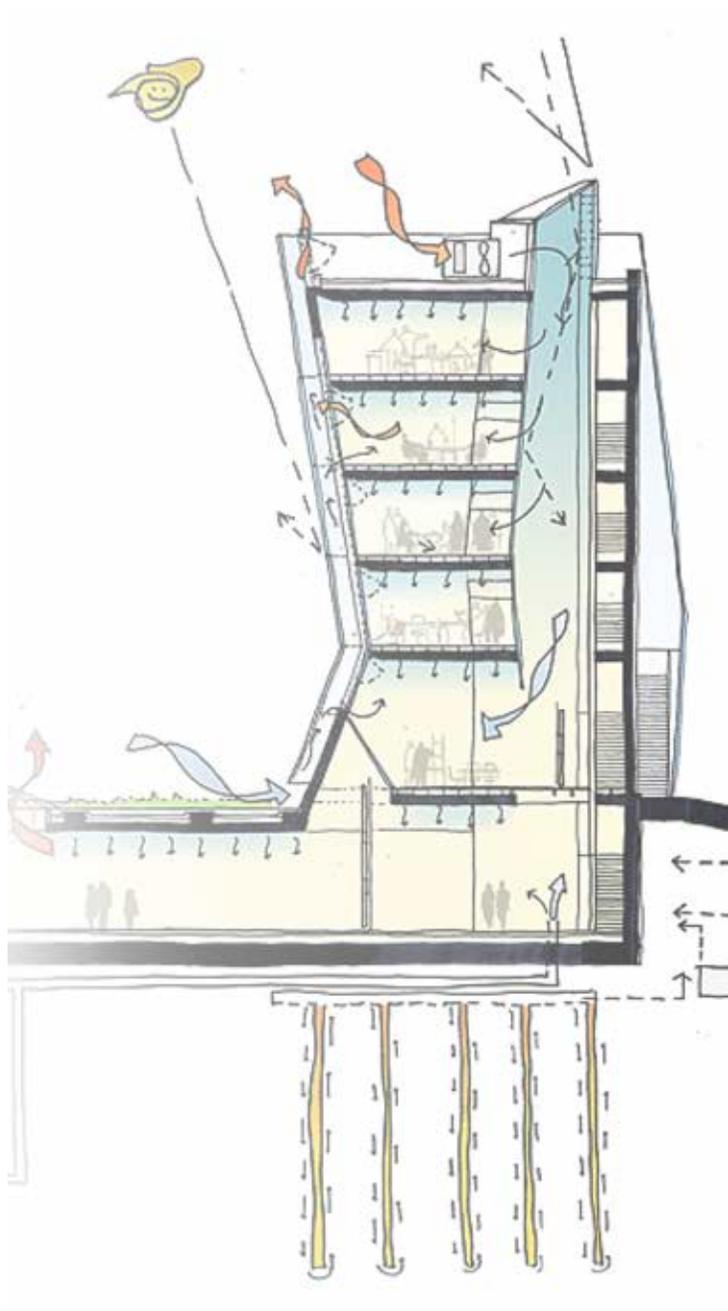


Figura 29: Aspectos a evaluar Estrategias de diseño pasivo



Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

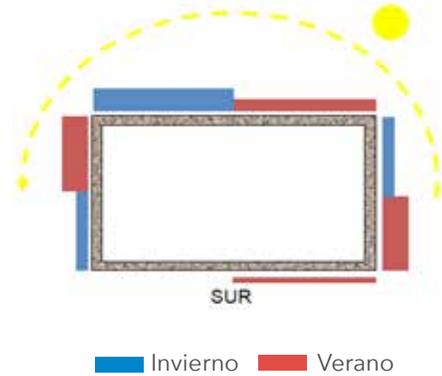
2.3.1. Orientar, definir forma y distribución.

Orientación y distribución:

Estudiar la orientación adecuada de recintos del edificio será un factor determinante en la demanda energética de éste, tanto en climatización como en iluminación.

Cada una de las fachadas del edificio se expone de manera distinta a la radiación solar y a la acción del viento, afectando de esta forma a la temperatura, humedad y condiciones de iluminación al interior de los recintos. Una correcta orientación deberá minimizar las ganancias solares en verano y maximizarlas en invierno.

Figura 30: Exposición a la radiación solar en función de la orientación del edificio.



Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada

Es recomendable utilizar los siguientes criterios de orientación:

Orientación Norte: privilegiar recintos habitables, en especial aquellos con reducido número de habitantes (carga térmica), como por ejemplo, dormitorios y salas de estar. Es necesario cuidar a la vez de sobrecalentamiento mediante protecciones solares

Orientación Este y Oeste: reciben 2,5 veces más radiación en verano que en invierno, por lo tanto es importante considerar protecciones solares en ellas. Es importante cuidar la cantidad de superficies acristaladas en ambas fachadas, dado que puede ocurrir sobrecalentamiento de los recintos si no existen las protecciones solares apropiadas.

Orientación Sur: privilegiar recintos de uso esporádico como pueden ser baños o cocinas. Éstos pueden servir de moderadores térmicos de recintos habitables orientados a su vez hacia el norte. Esta fachada no requiere de protecciones solares. Debe limitarse el porcentaje de superficies acristaladas.

La cubierta es la superficie que recibe mayor asoleamiento en verano, llegando a ser 4,5 veces superior a lo que recibe en invierno. Es por ello que muchas veces se utiliza para captar la energía solar y aprovecharla en sistemas de climatización, generación de agua caliente sanitaria o en generación de energía eléctrica.

Forma:

Respecto de la forma del edificio, esta determinará la exposición a la radiación solar y a la acción del viento, por lo cual es importante que el Gestor Energético oriente respecto a decisiones de diseño en este aspecto. En muchos casos, intervenir un diseño arquitectónico desde el punto de vista de la forma puede ser difícil, más aún cuando existe un anteproyecto concebido, o el tipo de proyecto requiere una forma extendida. En general debe tomarse en cuenta que a mayor compacidad, mayor eficiencia y menos riesgos de puentes térmicos.

En el caso de unidades de vivienda, esto puede abordarse mediante una forma óptima de agrupamiento. En este sentido, la regla general será que viviendas adosadas o continuas serán más eficientes que viviendas aisladas.

Figura 31: Demandas Energética según agrupamiento – Vivienda social eficiente para Valdivia (AChEE – TECHO)

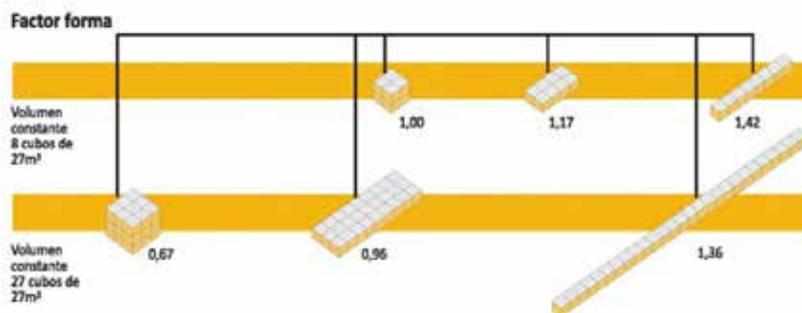


Fuente: Recuperado de www.acee.cl

Para tener una noción de esto, existe un indicador llamado *factor de forma*, el cual determina la sensibilidad de las condiciones interiores del edificio ante variaciones en el exterior. Este indicador relaciona la superficie externa del edificio con su volumen.

Factor de forma = Superficie de la envolvente/Volumen contenido

Figura 32: Ejemplos de diferentes valores de factor de forma ante volúmenes constantes.



Fuente: Agencia Chilena de Eficiencia Energética. (2012). Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos de la Salud. Recuperado de <http://www.acee.cl/>



El factor de forma señala el nivel de contacto e intercambio de energía que existe entre el edificio y su entorno. En la medida que la superficie del edificio en contacto con el exterior sea mayor, más intercambios de energía habrán, lo cual puede ser beneficioso ante ciertos tipos de climas mientras que en otros puede resultar desfavorable.

Para climas mediterráneos y templados se recomiendan edificios de forma lineal con un factor de forma elevado (superior a 1,2), con la fachada de mayor extensión orientada hacia el norte, provista de aperturas que promuevan la ventilación e iluminación natural del edificio.

Para climas extremos se recomiendan edificios de carácter compacto con una elevada inercia térmica en el caso de climas cálidos, y un buen aislamiento y control de infiltraciones en el caso de climas fríos (factor de forma bajo). Sin embargo, se debe tener cuidado al usar un factor de forma muy bajo, pues esto puede provocar problemas de ventilación y un menor aprovechamiento de la luz natural.

En conclusión si se busca reducir las pérdidas de calor no deseadas se debe minimizar la superficie de la envolvente de manera de obtener un factor de forma bajo, por el contrario si se busca potenciar las pérdidas, el factor de forma debe ser mayor.

2.3.2. Definir la envolvente térmica

El Gestor Energético deberá orientar desde el inicio de un proyecto de edificación sobre cuál será su estándar de envolvente térmica o "piel" exterior. La definición de dicho estándar permitirá estimar en etapa temprana las demandas de energía asociadas mediante herramientas de simulación. A su vez para casos de reacondicionamiento térmico, definir el estándar de envolvente térmica será lo principal.

Deberán tomarse en cuenta dos aspectos importantes. En primer lugar, cuáles valores de transmitancia térmica de envolvente serán los adecuados, esto vinculado a cuál será el nivel de aislamiento térmico requerido. En segundo lugar, deberá considerarse los efectos de la masa térmica del edificio. Esto tendrá un efecto importante y dependerá si es una estructura liviana de baja inercia térmica o bien, una estructura pesada de hormigón con mayor inercia.

Cabe destacar que la definición final y detallada de la envolvente térmica continuará hasta la etapa de diseño de detalles constructivos, en la cual deberán abordarse temas de la continuidad de la envolvente, resolviendo puentes térmicos,

además de cuidados con la hermeticidad de la envolvente respecto de infiltraciones de aire (Ver ítem 2.3.6.).

2.3.2.1. Transmitancia térmica

Actualmente tanto el sector residencial como el sector de edificios públicos cuenta con referencias sobre valores límite de transmitancia térmica de envolvente (Valor U); en el caso del sector residencial, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (art 4.1.10) exige valores de acuerdo a la Zonificación Térmica (Ver 2.1.8.). Para el caso de valores para edificación de uso público, existen también los requerimientos de los Términos de Referencia Estandarizados del MOP (Ver <http://www.arquitecturamop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default.aspx>), así como también las Guías de Eficiencia Energética AChEE disponibles en el sector edificación en <http://www.acee.cl/recursos/guias>.

En esta materia, el Gestor energético deberá manejar indicadores de Resistencia (R) y Transmitancia Térmica (U). Ambos indicadores permitirán caracterizar las cualidades de su envolvente en términos de pérdidas de energía.

Las pérdidas de energía que se producen a través de la envolvente del edificio ocurren principalmente producto de la transferencia de energía a través de los cerramientos, dada por las diferencias de temperatura interior y exterior.

La transferencia de energía en forma de calor en los cerramientos, en este caso, está dada por:

$$QC = S kG (ti - te)$$

Donde:

Qc: Transferencia de calor en los cerramientos (W).

S: Superficie del cerramiento (m²).

kG: Coeficiente global de transmisión de calor por los cerramientos (W/m²•K).

Si una pared opaca se ubica entre dos ambientes a diferentes temperaturas, se produce una transferencia de calor desde la cara caliente hacia la cara más fría. Esta transmisión se produce a través de diferentes fases que se indican a continuación:

- Desde el aire interior (ambiente más caliente) hasta la cara interna de la pared.
- A través de la pared.
- Desde la cara externa de la pared (ambiente más frío) hasta el aire exterior.

La transmisión de calor en la fase "b" se produce por conducción (siempre y cuando no existan en la pared cámaras de aire o dicho de otro modo, que la pared esté compuesta sólo por elementos sólidos), mientras que en las fases "a" y "c", el calor se transmite por convección.

Si el muro se compone de varios elementos sólidos contiguos entre sí, en cada uno de ellos el calor se transmite por conducción. La diferencia en cómo se transmite el calor en uno respecto de otro material sólido depende de la resistencia que cada elemento ofrece al paso de calor. Surge así el concepto de resistencia térmica de conducción, la que depende de la conductividad térmica del material y su espesor.

La conductividad térmica es una propiedad del material y equivale al calor por unidad de tiempo que lo traspasa cuando éste tiene un espesor de un metro, una superficie transversal al flujo de 1 m^2 y está sometido a una diferencia de temperatura de 1 K . ($1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$).

Las diferencias en conductividad térmica entre diferentes materiales hace que un elemento de espesor de $1,0 \text{ cm}$ de poliestireno expandido (densidad aparente de 10 kg/m^3) tiene igual resistencia térmica que 38 cm de hormigón armado normal y que $11,6 \text{ cm}$ de ladrillo hecho a mano.

En las cámaras de aire que pueden existir al interior de un muro-panel se produce también un proceso de

transferencia de calor en la medida que exista una diferencia de temperatura entre la cara interior y exterior del muro panel. En esta cámara de aire se da esencialmente un proceso de transferencia de calor por convección y radiación térmica (se desprecia en ella la transferencia de calor por conducción) lo que también finalmente se traduce en una resistencia térmica propia de la cámara de aire. La resistencia de esta cámara de aire es mayor en la medida que disminuyan sus niveles de ventilación o intercambio de aire con el exterior. Es decir, las cámaras de aire poseen un mejor comportamiento térmico si presentan altos niveles de hermeticidad.

Cuando el aire interior de un recinto hace contacto con un elemento de la envolvente a una temperatura distinta, se produce un intercambio de calor denominado transmisión por convección, el cual se produce por el movimiento de materia caliente hacia las zonas frías. Si este movimiento se produce exclusivamente por la diferencia de densidad del aire se produce el proceso denominado convección natural.

Para los análisis teóricos de resistencias térmicas de superficie debidas a movimientos convectivos se puede utilizar la información de la siguiente tabla:

Tabla 19: Resistencias térmicas de superficie (m² x K/W).

Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Resistencias térmicas de superficie en m ² x K/W					
		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Fuente: Instituto Nacional de Normalización. (2007). NCh 853 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Recuperado de <http://www.inn.cl>

Si consideramos tanto las Resistencias de convección, conducción y radiación en un elemento de la envoltura de un edificio estaremos hablando de la Resistencia Térmica (Rt) de dicho elemento.

Resistencia térmica

$$R_t = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

Donde:

- R_{si} = Resistencia superficial interior
- e = Espesor del elemento
- λ = Conductividad térmica
- R_{se} = Resistencia superficial exterior

La Transmitancia Térmica (U), es el recíproco de la Resistencia Térmica (Rt) de una determinada solución constructiva. Expresa la cantidad de calor que se transmite a través de un elemento -que puede estar compuesto por varias capas de distintos materiales, incluidas las cámaras de aire- por unidad de tiempo y unidad de superficie cuando entre los ambientes que separa el elemento existe una diferencia de un grado Kelvin de temperatura. Se expresa en (W/m² K).

$$U = \frac{1}{R_t} \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Donde:

- R_t = Resistencia térmica total del elemento

La siguiente tabla indica la transmitancia térmica de algunas soluciones constructivas tradicionales:

Tabla 20: Transmitancia térmica de soluciones constructivas tradicionales.

Solución constructiva	U (W/m²K)
Ladrillo hecho a máquina de 14 cm sin estuco	2,11
Ladrillo hecho a máquina de 14 cm, estuco (20 mm) ambos lados	1,99
Ladrillo hecho a máquina de 14 cm, poliestireno exp. de 25 mm, estuco (20 mm) ambos lados	0,92
Ladrillo hecho a máquina de 14 cm, lana mineral 50 mm, estuco (20 mm) ambos lados	0,57
Ladrillo hecho a mano, estuco (20 mm) ambos lados	2,01
Bloque de mortero 14 cm, estuco (20 mm) ambos lados	3,35
Bloque de mortero 14 cm, poliestireno exp. de 25 mm, estuco (20 mm) ambos lados	1,14
Hormigón 100 mm, estuco (20 mm) ambos lados	3,85
Hormigón 150 mm, estuco (20 mm) ambos lados	3,44
Hormigón 200 mm, estuco (20 mm) ambos lados	3,11
Estuco 20 mm, hormigón armado 200 mm, lana mineral 50 mm, contrachapado madera interior	0,62
Contrachapado madera 16 mm, lana mineral 50 mm, cámara de aire, yeso cartón	0,56
Hormigón 200 mm, estructura metálica (CA 60), lana mineral 70 mm, placa de fibrocemento 7,5 mm	0,70
Hormigón 200 mm, estructura metálica (CA 60), lana mineral 50 mm, placa de fibrocemento 10 mm	0,70
Placa fibrocemento (8 mm) ambos lados, estructura metálica (CA 90), lana mineral 50 mm	0,75

Fuente: Bustamante, W. (s.f.). Clima y viviendas: Fundamentos para el diseño.

Obviamente, a medida que es mayor la transmitancia térmica de un elemento de la envolvente de un edificio, mayor serán las pérdidas de calor a través de él en períodos fríos del año, lo que induce a un mayor gasto de energía para calefacción.

En el cálculo de la transmitancia térmica se consideran los fenómenos de transferencia de calor a través de materiales sólidos de un elemento, como también los que se dan a través de las cámaras de aire que en el elemento pueden existir. De igual modo, la transmitancia térmica contiene en su cálculo la transferencia de calor por convección en las capas de aire contiguas al elemento en ambos lados de éste.

La transmitancia térmica de un elemento de la envolvente de un edificio puede ser calculada haciendo uso de la Norma chilena NCh853Of. 2007 "Acondicionamiento

térmico. Envolvente térmica de edificios. Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas" (Instituto Nacional de Normalización. 2007). En esta Norma se presentan los métodos de cálculo de transmitancia térmica de soluciones constructivas de muros, paneles, techumbre y pisos. Del mismo modo contiene información de propiedades térmicas de diferentes materiales de construcción.

Transmitancia térmica de techumbres

Para el cálculo de techumbres que contengan entretecho, se toma en cuenta el nivel de ventilación existente en él, de modo que a medida que ésta aumenta, la transmitancia térmica también se verá incrementada.

Para el caso de invierno, idealmente un entretecho debe ser poco ventilado para disminuir las pérdidas de calor. En períodos calurosos, se recomienda ventilar los entretechos para efecto de evitar la transmisión de calor desde el exterior hacia el interior del edificio. La ventilación del entretecho disminuye las posibilidades de sobrecalentamiento en el aire del entretecho, cuestión que sucede cuando este aire no se intercambia con el del exterior.

Transmitancia térmica de ventanas y puertas.

El aislamiento térmico de una ventana relacionado directamente con el número de vidrios que lo componen y el tipo de carpintería o marco utilizado. Dada la alta conductividad térmica que posee el vidrio, las pérdidas de calor a través de ventanas son muy significativas en un edificio. De este modo es importante poder llegar a un equilibrio entre la superficie vidriada de un edificio y las pérdidas que ellas generan en invierno.

Las ventanas permiten también ganancias térmicas por su exposición a la radiación directa del sol, lo que también obliga a ciertos equilibrios entre ganancias solares y pérdidas de calor en período de invierno.

Tabla 21: Transmitancia térmica en solución de ventanas.

Acristalamiento	Transmitancia Térmica (W/m2K)			
	Vidrio	Marco de madera	Marco de PVC	Marco de metal (Sin interrupción de puente térmico)
Simple	5,8	5,0	4,9	6,1
Doble				
Cámara de aire 6 mm	3,4	2,9	2,9	3,2
Cámara de aire 8 mm	3,3	2,8	2,8	3,0
Cámara de aire 12 mm	3,0	2,6	2,6	2,9

Fuente: De Herde "Le manuel du responsable energie. L'utilisation rationnelle de l'energie dans le tertiaire". Ministère de la Region Wallonne. Architecture et Climat.

Tabla 22: Transmitancia térmica de los perfiles.

Material del perfil	Transmitancia térmica
Metálico	5.7
Metálico RPT (4mm < d < 12mm)	4
Madera Dura (p=700 Kg/m3 y 60mm de espesor)	3.2
Madera Blanda (p=500 Kg/m3 y 60mm de espesor)	2.2
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	2.2

Fuente: UNE-EN ISO 100077-1

2.3.2.2. Inercia térmica del edificio

Una forma de controlar el comportamiento térmico del edificio, es aprovechar la inercia térmica de los elementos que conforman la envolvente. La inercia térmica es la capacidad de un material de acumular y ceder el calor, de esta manera, si los elementos constructivos que conforman la envolvente del edificio poseen inercia térmica suficiente es posible regular a través de ellos los intercambios de energía con el exterior de manera que acumulen calor en invierno y lo disipen en verano.

La inercia térmica de un elemento depende directamente de su masa, a mayor masa del elemento mejor capacidad de acumular el calor. Sin embargo se debe tener cuidado con ello, puesto que un elemento constructivo con un espesor excesivo en un clima muy frío, puede provocar que el calor se acumule en él y no sea cedido al ambiente.

En una edificación con elevada masa térmica puede tomar horas para que el calor fluya de un lado de la envolvente al otro. Esta desaceleración del flujo de calor se conoce como *time lag* (o tiempo de desfase), y se mide como la diferencia de tiempo entre la temperatura de pico en la superficie exterior de un elemento de construcción y la temperatura máxima en la superficie interior. Este retardo de tiempo puede comprender hasta ocho o nueve horas para construcciones con elevada masa térmica (doble ladrillo o paredes de tierra apisonada), mientras que en otros materiales su valor es significativamente menor, como es el caso del vidrio.

A modo de ejemplo, si el sol sale de detrás de las nubes y golpea una envolvente del edificio con una alta capacidad térmica a las 10:00 horas, la temperatura de la superficie exterior se incrementará rápidamente. Sin embargo, puede ser que varias horas antes de esta temperatura "peak" se

sienta en la superficie interior de la pared. La razón es que algo del calor se almacena en el material de la muralla hasta que se ha absorbido tanto como puede (saturado) y luego el calor fluirá hacia el interior, a base de la conductividad del material.

La inercia térmica recomendada para el diseño de la envolvente dependerá del contexto climático. Para climas de carácter continental en época de invierno se recomienda una inercia térmica elevada en las zonas soleadas del edificio y baja en aquellas donde no llega el sol, de manera que se calienten con mayor rapidez. Mientras que en verano se recomienda una inercia térmica elevada con el objeto de compensar las oscilaciones térmicas entre el día y la noche.

Para entender los efectos de inercia térmica en distintos materiales, se presentan a continuación algunos conceptos útiles

Difusividad (a)

Esta propiedad de los materiales, que expresa la capacidad de ellos para **transmitir una variación de temperatura**, depende de la conductividad térmica y de la capacidad térmica del material.

$$a = \lambda / (\delta \cdot c_e) \quad [m^2/s]$$

Donde:

λ = conductividad térmica.

δ = densidad.

c_e = Calor específico.

Tabla 23: Valores de difusividad de algunos materiales.

Material de construcción	Difusividad a [m2/s]
Hormigón ordinario	8*10-7
Mortero	≈ 4*10-7
Hormigón celular	≈ 4*10-7
Ladrillo macizo	5 a 6*10-7
Poliestireno expandido	4 a 8*10-7
Lana mineral	20*10-7
Madera	2,5*10-7
Acero	≈ 140*10-7
Aluminio	≈ 970*10-7
Fibra de madera	1,9*10-7

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

Efusividad (b)

La *efusividad* expresa la capacidad de un material para **absorber** una potencia térmica. Un elemento absorberá mejor un flujo de energía mientras mayor sea su capacidad de transmisión de calor y mayor sea su capacidad térmica.

$$b = (\lambda \cdot \delta \cdot c_e)^{1/2} \left[J / (m^2 Ks^{1/2}) \right]$$

Donde:

λ = conductividad térmica

δ = densidad

c_e = Calor específico

Tabla 24: Valores de efusividad de algunos materiales.

Material de construcción	Efusividad b [J/(m ² Ks ^{1/2})]
Acero	≈ 13.200 (muy altas)
Albañilerías	≈ 2.000 (altas)
Maderas	≈ 350 (bajas)
Poliestireno, lanas de vidrio y roca.	≈ 30 (muy bajas)

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

Haciendo uso de las propiedades de los materiales antes descritas, es posible estimar y controlar dinámicamente los efectos de la masa térmica del edificio. Muchos programas de simulación térmica consideran en sus procesos de cálculo, la estimación de estos tiempos de desfase.

En la sección 2.3.7. se presenta un ejemplo de cálculo para determinar el tiempo de retardo de distintos materiales y distintos espesores de materiales.

2.3.2.3. Sistemas constructivos y materiales

Una correcta selección de sistemas constructivos, materiales y acabados es determinante del buen comportamiento energético del edificio. En la actualidad existen diversas soluciones constructivas para muros, pisos y techumbres, las cuales pueden resultar más o menos eficientes dependiendo del contexto climático en que se diseña el edificio.



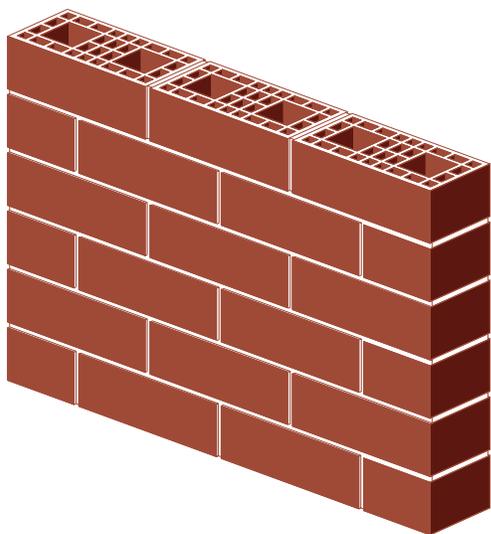
Soluciones de Muros

A continuación se revisan soluciones constructivas de muros, de posible aplicación para un proyecto, conforme a las estrategias que requerirá el tipo de clima

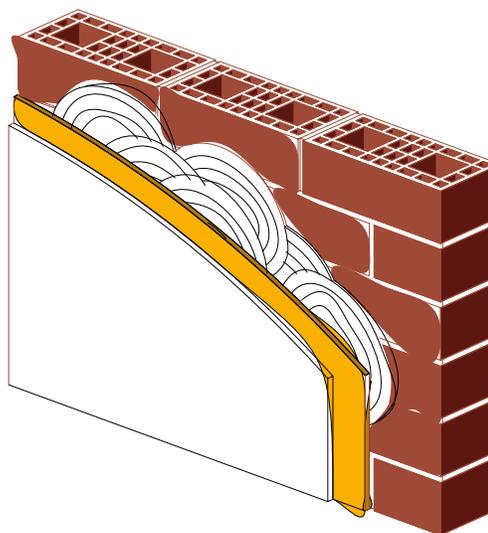
Muros de alta masa térmica para climas cálidos

En climas cálidos y secos, donde las oscilaciones de temperatura entre el día y la noche son significativas y la radiación solar tiene alta incidencia en el edificio, es altamente posible esperar requerimientos o cargas de enfriamiento (refrigeración) en lugar de cargas de calefacción, es por esto que la solución de muros debe ser capaz de absorber lentamente el calor durante el día, reteniéndolo mediante masa térmica (inercia), y cediéndolo una vez que la temperatura exterior haya disminuido. Esta es una estrategia básica para que la edificación se mantenga fresca durante el día y cálida durante la noche.

Por lo tanto, se recomienda configurar muros con alta inercia térmica, en materiales tales como el hormigón, albañilerías de ladrillo o albañilerías de concreto (materiales con alta efusividad, (Ver 2.3.2.2.). En climas de este tipo será posible incluso prescindir de aislantes térmicos, o bien incorporar algo de resistencia térmica al muro mediante una cámara de aire. Esto es posible utilizando sistemas constructivos tales como bloques prefabricados de hormigón.



Muro ladrillo Extra Tit-n Reforzado Estructural
(290x140x94 mm) $U= 1.9 \text{ W/m}^2\text{k}$



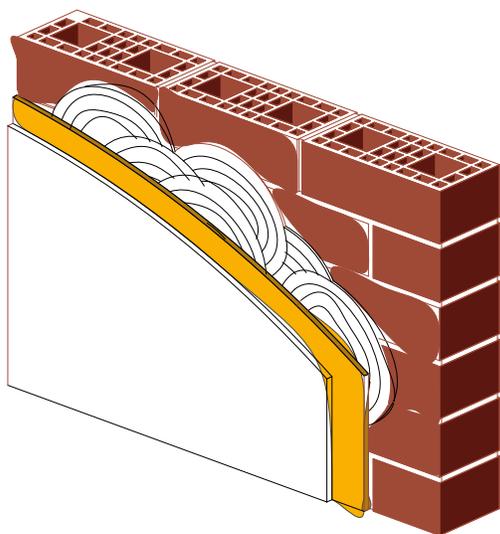
Placa aislante Aislaforte 12mm sobre muro de
albañilería 140x290x94mm
P.Exp 15 Kg/m³
e=10mm (P.Exp) - $U= 1.2 \text{ W/m}^2\text{k}$

Fuente: Elaboración propia en base a las soluciones constructivas para
acondicionamiento térmico - Listado Oficial MINVU

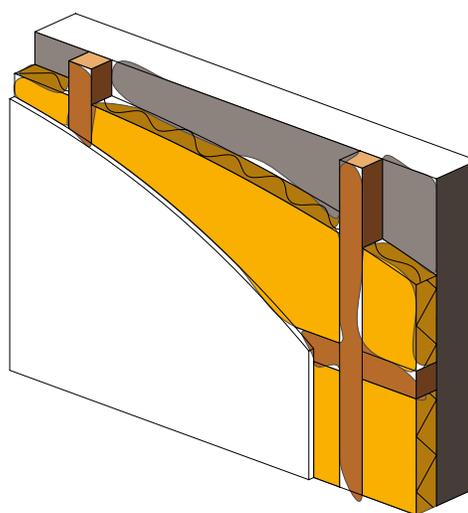
Muros de alta resistencia térmica, con masa térmica interior para climas templados

En climas templados y fríos, donde las temperaturas oscilan entre estaciones alcanzando valores extremos (muy altos en verano y muy bajos en invierno), puede resultar conveniente utilizar hormigón o albañilería como solución de muros, combinando estas soluciones con aislante térmico instalado por el exterior. Esta solución permitirá aislar térmicamente y al mismo tiempo contar con inercia térmica para almacenar energía al interior evitando que ésta fluya al exterior. La masa térmica al interior permitirá almacenar la energía tanto de ganancias solares internas (ver 2.3.3.) como de ganancias de calor producto de la ocupación del edificio (fuentes de calefacción, calor de los ocupantes).

Otros materiales como los ladrillos de barro, los ladrillos de arcilla, la tierra comprimida y la piedra poseen cualidades térmicas similares. En el caso de que la estructura del edificio no sea de hormigón o ladrillo, sino de estructura liviana, los ladrillos de barro instalados por el interior pueden incorporar la inercia térmica requerida.



Placa aislante Aislaforte 12mm sobre muro de albañilería 140x290x94mm
P.Exp 15 Kg/m³
e=20mm (P.Exp) - U= 0.9 W/m²k



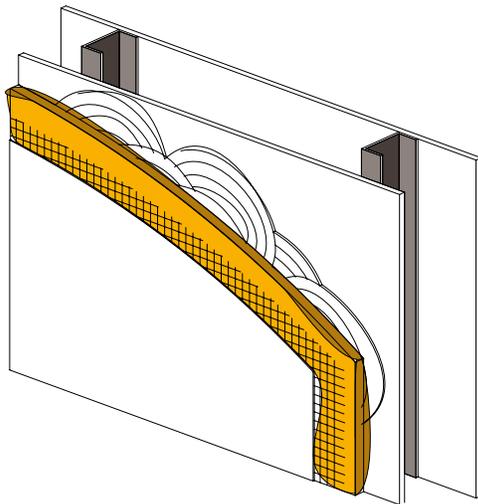
Muro hormigón armado 100mm con aislante de Poliestireno Expandido confinado en cara exterior P. Exp 10 kg/m³
e=70mm (P.Exp) - U= 0.6 W/m²k

Fuente: Elaboración propia en base a las soluciones constructivas para acondicionamiento térmico - Listado Oficial MINVU

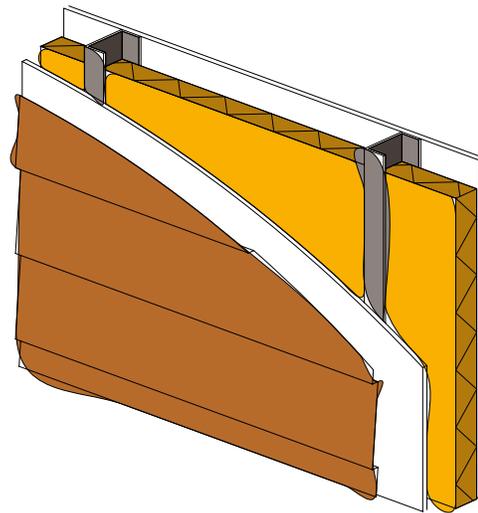
Muros de alta resistencia térmica y sin masa térmica para climas fríos

En climas muy fríos, con baja radiación solar y con temperaturas moderadas en verano, existirán únicamente cargas o requerimientos de calefacción, para lo cual el uso de inercia térmica al interior de los edificios no será un mayor aporte. En este tipo de climas, los muros deben cumplir principalmente con ser efectivos aislantes térmicos, por lo tanto se recomienda el uso de sistemas constructivos que permitan la incorporación de altos niveles de aislante térmico.

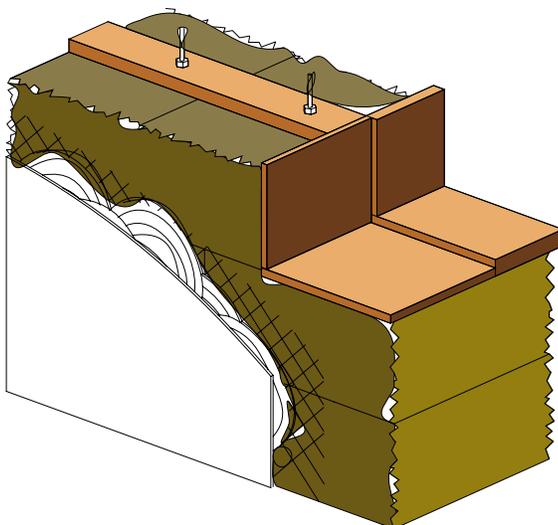
Por otro lado, es habitual encontrar problemas de puentes térmicos e infiltraciones en sistemas constructivos livianos tales como tabiquerías de acero, por lo tanto, es de cuidado que la solución aislante se diseñe tomando en cuenta estos problemas. En este sentido, la continuidad de la envolvente térmica es el concepto principal.



Sistema EIFS CielPanel Drywall
Placas Yeso-Cartón 12.5mm sobre perfiles de acero 89mm, P.Exp 15 Kg/m³ espesor 53mm pegado con mortero cementicio, Premezclado base acrílica de terminación sobre malla de refuerzo $U = 0.58 \text{ W/m}^2\text{k}$



Tabique montantes metálicos con yeso cartón, aislante, fibrocemento y siding metálico Lana Mineral 80mm 40 Kg/m³ $U = 0.61 \text{ W/m}^2\text{k}$



Muro en base a fardos de paja, espesor aproximado 400mm Instalados sobre fundación impermeabilizada, estabilizados con tensores de acero y malla de acero y con estuco de terminación valor de transmitancia térmica aproximada $U = 0.16 - 0.11 \text{ W/m}^2\text{k}$

Soluciones de Techumbre

La techumbre es el elemento constructivo de la edificación que recibe mayor cantidad de radiación durante el día de forma directa. Su nivel de eficiencia en términos energéticos se encuentra definida por dos propiedades principales: la reflectividad y la emisividad del material que conforma la cubierta.

La reflectividad corresponde a la cantidad de luz incidente que es reflejada por una superficie, en este caso, por la cubierta del edificio. Un factor que es determinante de esta propiedad es el color, mientras que los colores más claros presentan altos niveles de reflectividad colores más oscuros se caracterizan por su capacidad de absorber la radiación en vez de reflejarla.

Por otra parte, la emisividad corresponde a la capacidad de un material de liberar la radiación que este ha absorbido. Materiales de cubierta con una alta emisividad permiten liberar el calor y por ende mantener la edificación más fría.

Ambas propiedades se deben combinar adecuadamente a fin de maximizar la eficiencia del sistema. Esta eficiencia se encuentra condicionada por las características climáticas de la zona donde se emplaza la edificación, mientras que en climas cálidos se deben utilizar materiales que permitan reducir los requerimientos energéticos de refrigeración, en climas fríos se debe procurar limitar las pérdidas del calor interior a través de la techumbre.

A continuación se detallan las características de algunos materiales respecto de su reflectividad y emisividad.

Tejas de Arcilla

Si se busca mantener el calor alejado de la edificación, las tejas de piedra, hormigón o arcilla constituyen una buena solución. La arcilla posee la capacidad de absorber la humedad, la cual al evaporarse, enfría el aire que se encuentra bajo el elemento. De esta forma es posible mantener fresca la edificación de manera natural y por ende disminuir los requerimientos energéticos de refrigeración.

Adicionalmente, respecto a sus niveles de reflectividad, las tejas de arcilla tradicionales poseen una reflectividad de hasta un 30%, niveles que pueden ser mejorados con la incorporación de pigmentos reflectantes avanzados llegando hasta un 70% de capacidad reflectante.

Cubierta Metálica

Las cubiertas metálicas, de acero o aluminio, se caracterizan por sus altos niveles de reflectividad (hasta 60%) contrastados con bajos niveles de emisividad (se calientan fácilmente). Soluciones de acero galvanizado (acero recubierto con zinc) poseen altos niveles de reflectividad, sin embargo estos se ven reducidos rápidamente por efecto de la oxidación del zinc.

Nuevas soluciones de techos metálicos pre-pintados con recubrimientos especiales permiten contrarrestar estas deficiencias. El uso de colores claros y blanco como recubrimiento aumenta considerablemente los niveles de emisividad y al mismo tiempo permite conservar las propiedades reflectantes de los materiales. Mientras que soluciones de acero galvanizado recubierto con zinc mezclado con aluminio permiten conservar la reflectividad por mucho más tiempo.

Tejas de Asfalto

En la actualidad su uso se ha masificado, principalmente por su bajo costo. Sin embargo sus propiedades no las convierten en una solución energéticamente eficiente, puesto que su color oscuro les proporciona bajos niveles de reflectividad.

En respuesta al problema, se han elaborado tejas de asfalto color blanco, con propiedades reflectante mejoradas. Sin embargo estas no poseen más allá de un 30% de reflectividad.

Soluciones de Aislación térmica

La envolvente del edificio constituye tanto una barrera térmica como una barrera de aire, objetivo que se debe lograr ante cualquier solución constructiva utilizada. Para dar lugar a una barrera térmica eficaz es determinante la correcta elección de los materiales aislantes, la calidad de estos y su correcta instalación.

Figura 33: Configuración de aislantes.

	Techumbre	Muros	Pisos
Aislante térmico en cara exterior	exterior  interior	exterior interior 	interior  exterior
Aislante térmico interior	exterior  interior		interior  exterior
Aislante en cara interior	exterior  interior		interior  exterior

Fuente: Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2006). Manual de aplicación Reglamentación Térmica - Soluciones constructivas genéricas. Recuperado de <http://www.minvu.cl/>

Los aislantes se pueden ubicar en la cara interna, externa o en ambas caras de elemento constructivo. Dependiendo su configuración este proporcionará mayor o menor capacidad aislante. Sin embargo la decisión no dependerá sólo de esta variable sino que debe ser contrastada con la complejidad del sistema, costo, mantenciones, vida útil, entre otros factores influyentes.

En la siguiente tabla se expone un análisis comparativo entre diferentes soluciones de aislantes disponibles en el mercado, evaluando métodos de instalación, resistencia térmica e impacto en la calidad del aire interior. El valor-R indicado en la tabla es una medida de la resistencia térmica del material en m^2K/W . Valores-R más altos indican una mejor resistencia al flujo del calor y por ende un mejor grado de aislación.

Tabla 25: Análisis comparativo de soluciones aislantes.

Tipo de Aislante		Instalación	Valor-R por mm		Impacto en calidad de aire interior
Fibra	Celulosa	Suelta, paquete denso mojado-aerosol, estabilizado	0,12	0,15	Las fibras y los productos químicos pueden ser irritantes, deben ser aislados del espacio interior.
	Fibra de Vidrio	Batts, suelta, estabilizada, cartón rígido	0,09	0,16	Las fibras y los productos químicos pueden ser irritantes, deben ser aislados del espacio interior.
	Lana Mineral	Suelta, batts	0,11	0,15	Las fibras y los productos químicos pueden ser irritantes, deben ser aislados del espacio interior.
Espuma	Poliestireno expandido célula abierta	Cartones rígidos	0,14	0,17	Preocupación sólo por aquellos productos con sensibilidad química.
	Poliestireno estirado célula cerrada	Cartones rígidos	0,20	0,20	Preocupación sólo por aquellos productos con sensibilidad química.
	Poliisocianurato célula cerrada	Cartones rígidos con cara de aluminio	0,22	0,30	Preocupación sólo por aquellos productos con sensibilidad química.
	Espuma fenólica célula cerrada	Cartones rígidos con cara de aluminio	0,31	0,31	Preocupación sólo por aquellos productos con sensibilidad química.
	Polycynene célula abierta	Rociado	0,14	0,14	
	Espuma a base de soya célula abierta	Rociado	0,14	0,14	
	Poliuretano célula cerrada	Rociado	0,22	0,27	Preocupación sólo por aquellos productos con sensibilidad química
	Poliuretano célula abierta	Rociado	0,17	0,17	Desconocido, parece ser muy seguro.

Fuente: Recuperado de http://www.bae.uky.edu/energy/residential/guide/spanish/CAPITULO_5.pdf

En soluciones sin aislante térmico la resistencia al flujo de calor a través del elemento compuesto está determinada por la existencia de cámaras de aire y por el espesor y las propiedades de cada uno de sus componentes. Esta solución puede resultar suficiente en zonas donde las condiciones climáticas lo permitan.

Al incorporar aislante térmico la resistencia térmica del elemento se ve mejorada, la cual dependerá del espesor del material aislante y de la sumatoria de resistencia térmica de los materiales que componen la solución.

En la siguiente tabla se exponen algunas soluciones de aislantes disponibles en el mercado y sus usos recomendados.

Tabla 26: Soluciones de aislantes y usos recomendados.

Tipo de Aislante	Uso
 <p>Poliestireno Expandido</p>	Útil para la aislación de techumbres, cubiertas inclinadas, muros y tabiques. Es impermeable y resistente.
 <p>Reflectante</p>	Útil para muros y tabiques sometidos a temperaturas extremas. Es resistente a la condensación por lo que mantiene secos muros y techumbres, evitando su deterioro. Su espesor es reducido.
 <p>Lana de Roca</p>	Útil para todas las zonas de la edificación. Crea una barrera aislante tanto térmica como acústica.
 <p>Fibra de Vidrio</p>	Útil para todas las zonas de la edificación. Tiene gran capacidad de absorción acústica, adicional a su resistencia térmica.
 <p>Paneles de Lana de Cãñamo o Algodón</p>	Útiles para tabiques y muros. Son ecológicos y reciclables, resistentes a la aparición de hongos y moho. No se recomiendan para climas extremos.
 <p>Fibra de Madera</p>	Útil para techumbres y muros. Duradero y fácil de instalar.

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

2.3.3. Idear estrategias para calefaccionar

Habiendo considerado los aspectos anteriores de orientación de recintos, así como también estándares de envolvente térmica, es recomendable definir estrategias adicionales de diseño pasivo, tales como estrategias de calefacción y estrategias de refrigeración.

Dichas estrategias deberán ser definidas siempre en función del contexto estacionario, es decir, periodos fríos de invierno y periodos cálidos de verano.

Tabla 27: Estrategias de diseño pasivo en función del contexto estacionario de invierno.

Contexto Estacionario	Objetivo	Estrategias
Invierno	Limitar las pérdidas de energía	Aislación
	Potenciar las ganancias de energía	Ganancias Solares Directas
		Ganancias Solares Indirectas
		Ganancias Solares Aisladas
		Uso de Masa Térmica

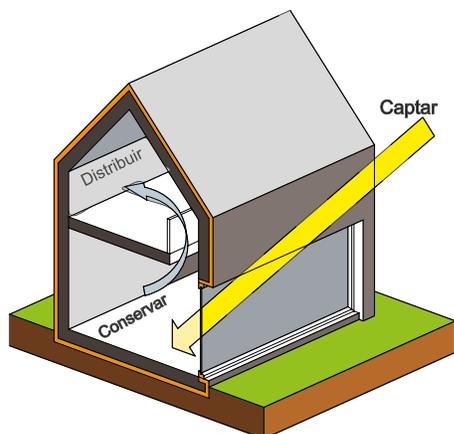
Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

En el Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos se mencionan las principales estrategias de calentamiento pasivo:

- Captar la energía solar en forma de radiación de forma directa o indirecta por el edificio y transformarla en calor.
- Conservar el calor dentro de los recintos, mediante aislación de la edificación con el exterior.
- Almacenar calor durante el día para emitirlo durante la tarde y noche, gracias a la contribución de la masa térmica de las edificaciones, dada por su materialidad.
- Distribuir el calor captado, de manera que llegue a distintos recintos del edificio, lo que puede realizarse en forma natural o forzada.

Las estrategias para captar calor pueden incluir formas tanto directas como indirectas o aisladas.

Figura 34: Estrategias de calentamiento pasivo.



Fuente: Recuperado de <http://www.arquitecturamop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default>.

En el manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos también se describen las ganancias solares y el uso de masa térmica referidos a continuación.

2.3.3.1. Ganancias Solares Directas

Es una de las formas más simples y de menor costo para aprovechar la energía solar para generar calor. Durante el invierno, el sol atraviesa las superficies vidriadas orientadas al norte y éste es absorbido al interior de los recintos por la masa térmica de los materiales.

2.3.3.2. Ganancias Solares Indirectas

Se consideran ganancias indirectas los sistemas en que la captación solar se produce en forma aislada de los espacios habitables. Es decir, la radiación solar es absorbida por un sistema que regula el ingreso al interior de los recintos habitados, según las necesidades de este.

2.3.3.3. Ganancias Solares Aisladas

La captación de ganancias aisladas es una estrategia solar pasiva que capta, acumula y distribuye el calor a través de un espacio que está térmicamente separado de los espacios habitados del edificio. El ejemplo más común de esto es el espacio solar o invernadero adyacente al edificio.

2.3.3.4. Uso de Masa Térmica

Corresponde a una estrategia tanto de calentamiento como de enfriamiento pasivo, recomendable para edificaciones localizadas en todas las zonas climáticas de Chile. La utilización de masa térmica es una estrategia de calentamiento pasivo en invierno que complementa la estrategia de captación solar, pero también es una estrategia para evitar sobrecalentamiento en verano, por lo que es recomendable considerar elementos constructivos con masa térmica. Como estrategia de calentamiento; una vez que hemos captado la radiación solar en nuestro edificio, es necesario mantener el calor generado en el interior de éste. Este calor se almacena en el seno de los materiales, para luego aportarlo al ambiente cuando sea necesario.

2.3.4. Idear estrategias para enfriar

Habiendo considerado los aspectos de orientación de recintos, así como también estándares de envolvente térmica, es necesario idear estrategias para reducir riesgos de sobrecalentamiento y por ende, posibles necesidades de enfriamiento durante periodos cálidos de verano

Tabla 28: Estrategias de diseño pasivo en función del contexto estacionario de verano

Contexto Estacionario	Objetivo	Estrategias
Verano	Potenciar las pérdidas de energía	Ventilación cruzada
		Ventilación convectiva
		Enfriamiento evaporativo
	Ventilación nocturna	
	Limitar las ganancias de energía	Protección Solar

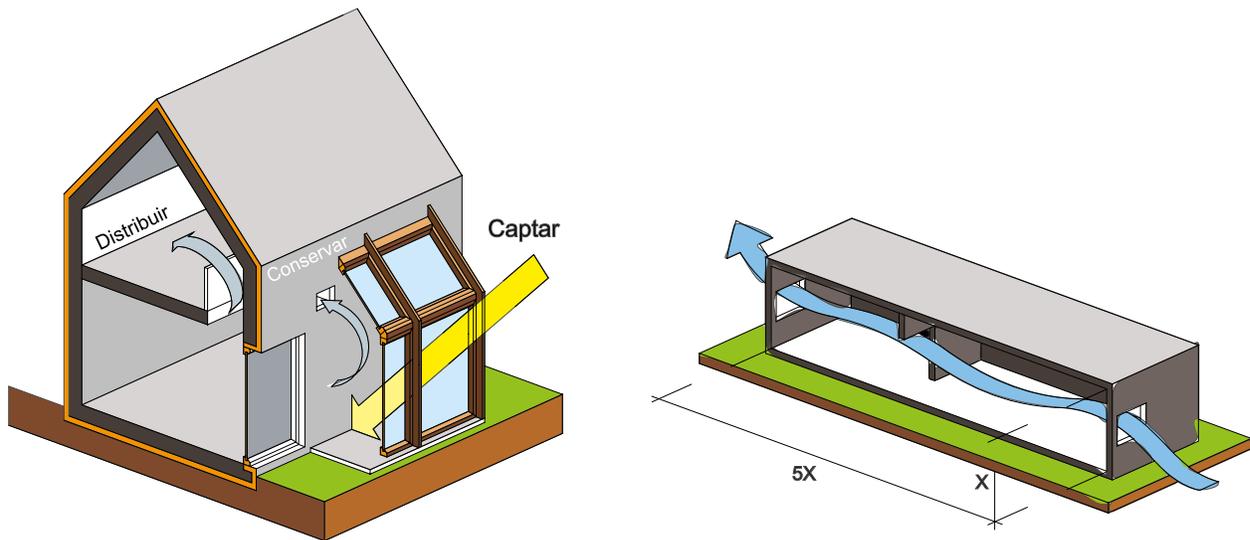
Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

En el Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos se mencionan las principales estrategias de enfriamiento pasivo:

2.3.4.1 Ventilación cruzada

Corresponde a la forma más simple de ventilar, ya que utiliza dos ventanas en fachadas opuestas, las que al abrirse simultáneamente generan movimientos de aire. El flujo arrastra el aire a mayor temperatura y lo reemplaza por uno a menor temperatura procedente del exterior. El enfriamiento se produce tanto por la diferencia de temperatura, como por la sensación de refrescamiento que produce el aire en movimiento. Para que se produzca la sensación de disminución de la temperatura, la temperatura exterior debe ser menor a la interior (al menos 2°C).

Figura 35: Distancia máxima entre ventanas de 15m. o como máximo 5 veces la altura piso a cielo.



Fuente: Manual de diseño pasivo y eficiencia energética en edificios públicos.

2.3.4.2 Ventilación convectiva

La ventilación por efecto "stack" utiliza la estratificación que se produce por la temperatura del aire. A medida que el aire se calienta es menos denso y sube; el aire que sube es eliminado y reemplazado por aire que ingresa a menor temperatura del exterior. Sólo funcionará como estrategia de enfriamiento si el aire exterior está a menor temperatura que el aire interior del edificio (mínima diferencia de temperatura de 1,7°C).

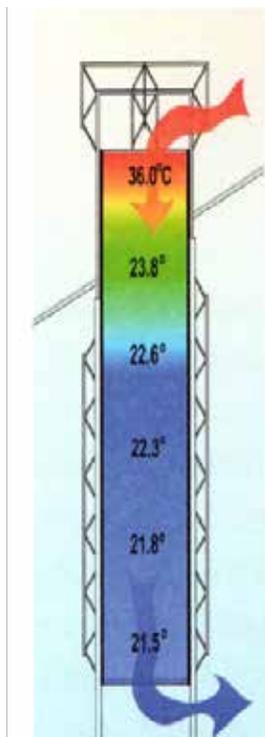
2.3.4.3 Ventilación nocturna.

Esta estrategia busca enfriar el interior de los edificios a través de la ventilación natural durante la noche, y de esta manera evitar el sobrecalentamiento en el día. Esto se logra adicionando masa térmica al edificio a través de materiales macizos (pétreos) que generan el efecto moderador de la temperatura del aire, reduciendo los extremos.

2.3.4.4 Enfriamiento evaporativo

Enfriamiento evaporativo PDEC: Para aprovechar el potencial de enfriamiento que tiene el agua evaporada, se puede lograr una reducción de la temperatura de entre 10°C a 12°C cuando el aire es relativamente seco, con una menor efectividad cuando el aire es más húmedo (Ford, Schiano-Phan y Francis, 2010).

Figura 36: Esquema de PDEC.



Fuente: Recuperado de <http://www.arquitecturamop.cl/eficienciaenergetica/Paginas/default>.

2.3.4.5 Intercambiadores de calor geotérmicos

Son tubos enterrados que logran enfriar o precalentar el aire utilizando la diferencia de temperatura existente entre la tierra y el ambiente. El sistema se basa en la estabilidad térmica de la tierra a cierta profundidad, donde a sólo 2 m. la temperatura será más alta que el ambiente en temporada de invierno y más baja en verano. El enfriamiento o calentamiento depende de esta diferencia, ya que los tubos intercambiadores capturan o disipan el calor hacia la tierra, utilizando la masa térmica de la tierra como un almacenador de calor. Son conocidos también como tubos subterráneos, intercambiadores aire- suelo, o pozos canadienses.

Protecciones solares

Las protecciones solares permitirán controlar la radiación solar. Existen sistemas fijos y móviles de protección, así como sistemas naturales que mejoran las condiciones climáticas dentro del entorno inmediato, como la vegetación. Se recomienda utilizar una combinación de protecciones fijas y móviles con control de apertura y cierre, sumado a la instrucción del usuario respecto al régimen de funcionamiento de los sistemas.

La elección de protecciones solares dependerá de la orientación del edificio. Se recomienda proteger las ventanas de la fachada Norte con sistemas fijos como voladizos y porches o sistemas móviles exteriores como toldos, persianas, pórticos y umbráculos, mientras que las ventanas de fachadas Este y Oeste deben protegerse con sistemas verticales tipo pantallas o sistemas móviles como persianas.

A modo de referencia, los estándares actualmente utilizados para edificios públicos respecto de la protección solar de ventanas exigen el acreditar valores límite de "Factor Solar Modificado" para ventanas y lucernarios, de acuerdo a su orientación y zona climática. Este factor corresponde al producto entre el Factor Solar* y el Factor de Sombra** y sus tablas de referencia se encuentran disponibles en los términos de referencia estandarizados, en http://www.arquitecturamop.cl/centrodokumental/Documents/TDRe_MOP-DA_Parte1.pdf

*Factor de sombra (Fs): Es la cantidad de energía solar que incide en un vano, sin ser bloqueada por la presencia de obstáculos tales como protecciones solares. Será un valor entre 0 y 1, siendo cero un bloqueo absoluto de la radiación sobre el vano. En definitiva, será la propiedad de protección del diseño arquitectónico de la fachada.

**Factor solar (g): Es la relación entre la cantidad total de energía que traspasa una superficie traslúcida y la cantidad de energía solar incidente. Se denomina como g y se expresa como un valor entre 0 y 1. Mientras g sea más cercano a cero, la protección frente a la radiación será mayor. En definitiva, será la propiedad de protección del vidrio en sí. Muchas empresas de cristales y ventanas proporcionan en sus catálogos los valores g de sus productos.

“Coeficiente de ganancia Solar” (SHGC) se define como la fracción de la radiación solar incidente, como ganancia de calor, en un edificio a través de la ventana (entera incluido perfil). Gran parte de la radiación se transmite directamente a través del acristalamiento hacia el interior del edificio, y algunos pueden ser absorbidos en el acristalamiento e indirectamente admitido en el interior, y otra es absorbida por el marco contribuyendo al factor de ganancia global ventana solar térmica.

Para realizar una conversión aproximada de g a SHGC, multiplique el valor SC por 0,87.

$$F = F_s * [(1 - F_m) * g_{\perp} + F_m * 0,04 * U_m * \alpha]$$

Dónde:

Fs: Factor de sombra.

Fm: fracción del vano ocupado por marco.

g_⊥: Factor solar.

Um: Transmitancia térmica del marco.

a: Absortividad del marco (varía entre 0.2 para marcos blancos y 0.95 para marcos de color oscuro).

En la sección 2.3.7 se presenta un ejercicio que ejemplifica el cálculo del Factor Solar Modificado.

Figura 37: Protección solar – persianas.



Fuente: Recuperado de <http://blog.bibliocad.com/>

Figura 38: Protección solar – pantallas horizontales.



Fuente: Recuperado de <http://blog.bibliocad.com/>

Figura 39: Protección solar – pantallas verticales.



Fuente: Recuperado de <http://blog.bibliocad.com/>

2.3.5. Estrategias de iluminación natural

Las estrategias de iluminación natural al interior del edificio se darán principalmente mediante el uso de ventanas, por lo cual, desde una perspectiva de diseño energéticamente eficiente, es importante promover el equilibrio entre el cumplimiento con estándares de confort lumínico, sin disminuir considerablemente el desempeño térmico, y viceversa.

La cantidad y calidad de luz natural que ingresa al interior del edificio depende de ciertos factores, tales como:

- Obstáculos al paso de la luz como edificaciones, árboles, y elementos colindantes.
- Sombras proyectadas sobre el edificio.
- Las dimensiones y disposición de las aberturas en la envolvente.
- La forma del edificio influye en la distribución de la luz al interior de este.
- Protecciones solares que reducen la cantidad de luz y controlan deslumbramiento.
- Orientación de las fachadas.

Existen ciertas limitantes que pueden impedir un total aprovechamiento de la luz natural, tales como climas extremos, orientaciones adversas, existencias de espacios cerrados o patios interiores oscuros. A continuación se mencionan algunas soluciones constructivas para resolver este tipo de problemas.

- Las pantallas horizontales reflectantes colocadas en el exterior del edificio permiten reflejar la luz que incide sobre ellas hacia el interior. Son útiles ante climas extremos u orientaciones adversas donde la superficie vidriada no puede ser muy extensa.
- Los conductos de sol y de luz permiten captar la luz natural que incide en la parte superior del edificio y conducirla hacia zonas internas de difícil acceso, para ello los conductos poseen un recubrimiento interior especial que permite la propagación de la luz a través de reflexiones. Son útiles para acceder a luz natural en espacios cerrados.
- Utilizar superficies lisas y colores claros en patios interiores permitirá una mejor reflexión de la luz e iluminación.

2.3.5.1. Estrategias

Existen cinco estrategias básicas que deben tomarse en cuenta para todo tipo de edificaciones:

- Captar la luz natural para hacer llegar la luz al interior del edificio en forma natural haciendo un uso correcto de la arquitectura, de su geometría y de los principios de diseño.
- Transmitir la luz favoreciendo la penetración de la luz al interior del local, a través de los elementos arquitectónicos, la geometría y las estrategias de iluminación.
- Distribuir la luz natural para dirigir y transportar los rayos luminosos de manera de crear una buena repartición de la luz al interior de un recinto.
- Proteger de la luz natural para detener parcial o totalmente la radiación solar cuando ésta presenta características negativas para la utilización del espacio, evitando así el deslumbramiento y el sobrecalentamiento de los espacios interiores.
- Controlar la luz para generar la cantidad y distribución de luz artificial en un espacio en función la luz natural disponible, a partir de las necesidades de los ocupantes.

2.3.5.2. Soluciones y dispositivos disponibles

La Guía de Eficiencia Energética para establecimientos Educativos (GEEEduc) elaborada el año 2012 por la AChEE presenta en su segunda unidad recomendaciones de diseño para dispositivos de iluminación aplicables al diseño de un aula, entre los cuales se destacan:

- Ventana lateral baja o ventana de vista.
- Ventana lateral superior.
- Repisas de luz.
- Luz cenital o lucernario asociado al muro.
- Iluminación cenital central.

La guía se encuentra disponible en el sitio web de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética www.acee.cl

2.3.6. Definir detalles y especificaciones eficientes

En una etapa final del diseño del proyecto, el Gestor Energético deberá apoyar en la definición de aspectos técnicos específicos para ciertas particularidades y elementos constructivos fundamentales para asegurar el desempeño energético deseado.

En esta etapa, los detalles constructivos y las especificaciones técnicas pasan a tomar protagonismo en el aseguramiento de la calidad energética del proyecto. La tabla a continuación propone algunos posibles problemas técnicos y criterios de revisión de dichas particularidades.

Tabla 29: Ejemplos de problemas técnicos y criterios de revisión.

Aspecto de cuidado	Problema técnico	Criterio de revisión	Métodos de Evaluación.
Muros Techumbres Pisos	Transmitancia térmica	Cumplimiento con valores de diseño	Calculo NCh 853/ ISO6946 Calculo dinámico
	Riesgos de condensación	Evaluación de solución constructiva bajo condiciones locales de humedad	Cálculo NCh 1973/ ISO13788 Cálculo dinámico
Encuentros: Piso - muro Muro - muro Muro - techo Muro - ventana	Puentes térmicos	Continuidad de aislantes térmicos	Cálculo NCh 3136 / ISO 10211 Cálculo dinámico UNE-EN 6946
	Riesgos de infiltraciones	Incorporación de membranas de aire. Incorporación de sellos en encuentros.	ASTM E1677 ASTM E1186 ASTM E 779-99 ASTM E1554
Ventanas y puertas	Puentes térmicos	Definición de roturas de puentes térmicos	UNE-EN 14024:2006 UNE-EN ISO 12241 ASTM C 1046-1 ASTM C1060-90 NCh 853
	Riesgos de infiltraciones	Definición de sellos	UNE-EN ISO 12569 UNE-EN 13829 UNE-EN 1026 UNE-EN 16012

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

A continuación se profundiza en algunos de estos aspectos mencionados en la tabla anterior.

2.3.6.1. Transmitancia térmica de muros, techumbres y pisos

Utilizando métodos de cálculo ya descritos en el ítem 2.3.2.1., o bien mediante herramientas de simulación térmica detallada, será posible verificar el cumplimiento de valores de diseño y de su consecuente resultado en la demanda energética final del edificio.

Para proyectos residenciales nuevos, la normativa vigente ya exige adjuntar en solicitudes de permiso de edificación, memorias de cálculo para acreditar los valores de transmitancia térmica de componentes de muros, techos y pisos ventilados.

En etapas finales de diseño, el Gestor energético debe observar los valores de transmitancia térmica de la solución estructural integral, es decir, considerando la ocurrencia de puentes térmicos debido a estructuras o pies derechos (en el caso de estructuras livianas).

Como referencia, se recomienda la revisión de sistemas constructivos validados mediante ensayos. Es el caso del listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico MINVU, disponible en http://www.minvu.cl/opensite_20070611111640.aspx.

2.3.6.2. Riesgos de condensación de muros

Utilizando métodos de cálculo, es posible determinar riesgos de condensación en los sistemas constructivos contemplados en el proyecto, bajo las condiciones ambientales esperadas dado el clima en cual se localice el edificio.

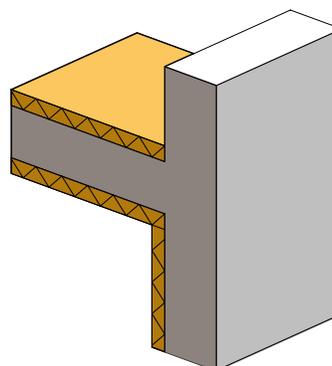
Dependiendo de dicho riesgo, podrán incorporarse barreras de vapor u otros sistemas que eviten la condensación intersticial o superficial en muros.

En la sección 2.3.7. se presenta un ejemplo de cálculo de riesgos de condensación.

2.3.6.3. Puentes térmicos

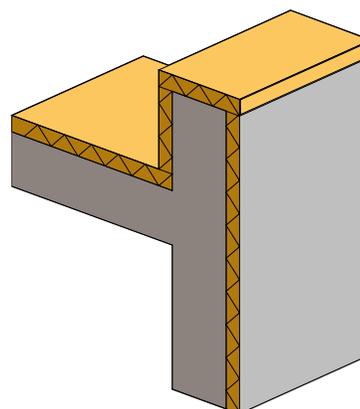
Un ámbito de cuidado en la envolvente térmica es la solución de puentes térmicos. Los puentes térmicos son zonas de elementos de la envolvente donde la aislación térmica es interrumpida. Su efecto en el comportamiento térmico de un edificio puede llegar a ser muy nocivo puesto que a través de éstos el calor que se intenta mantener al interior de los espacios en períodos fríos del año puede ser transmitido hacia el exterior en un alto porcentaje.

Figura 40: Ejemplo de puente térmico en losa de cubierta.



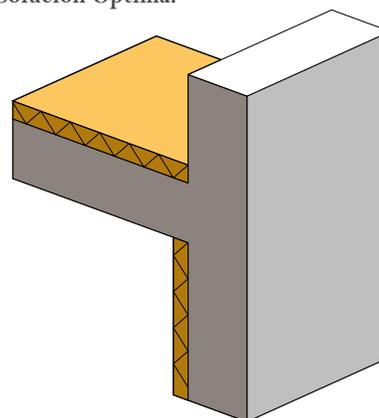
Fuente: Elaboración propia.

Figura 41: Solución Recomendada.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42: Solución Óptima.



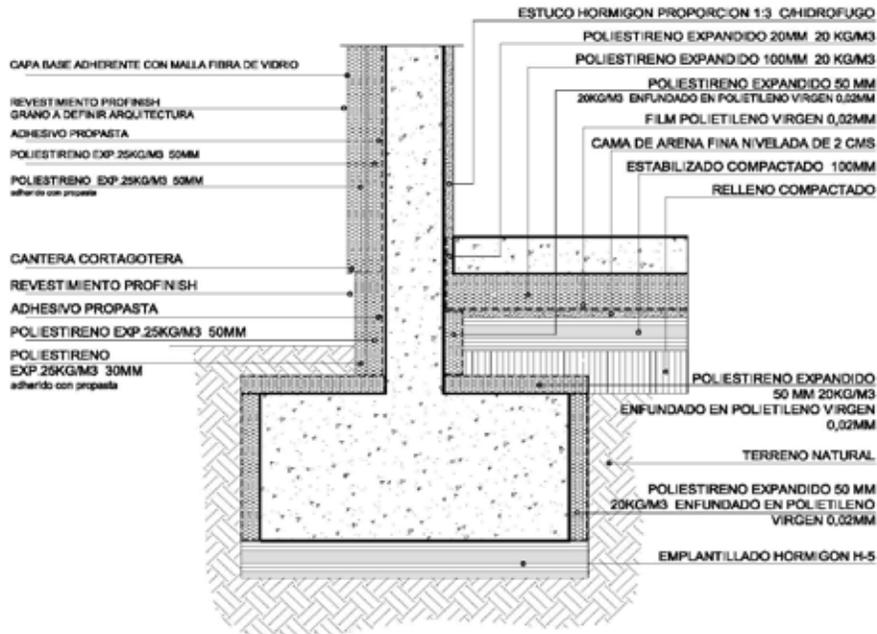
Fuente: Elaboración propia.

El Gestor Energético puede aportar en la búsqueda de soluciones constructivas factibles, que reduzcan la ocurrencia de éstos. Aquí es clave:

- asegurar una continuidad de los materiales aislantes
- evitar que elementos estructurales tales como aleros o marquesinas actúen como “disipadores” de calor hacia el exterior
- Proteger encuentros tales como soleras superiores o inferiores con pisos o entrepisos
- pensar en adecuados detalles de fijación de ventanas, entre otros.

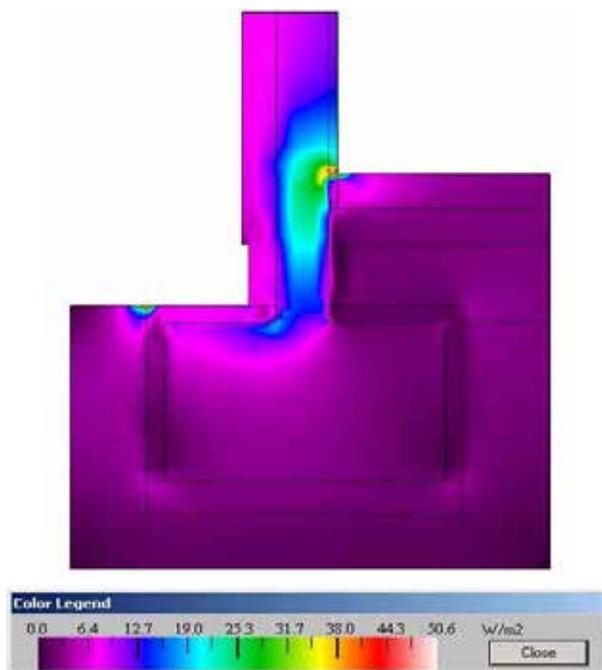
Para resolver dichos puentes térmicos, el Gestor puede apoyarse en la experiencia de especificadores de materiales o expertos en construcción. Para verificar en diseño un buen resultado de dichas soluciones, existen herramientas de evaluación de puentes térmicos basados en métodos de cálculo de normas internacionales, tales como el software Therm, visualizado en las siguientes figuras.

Figura 43: Detalle constructivo analizado.



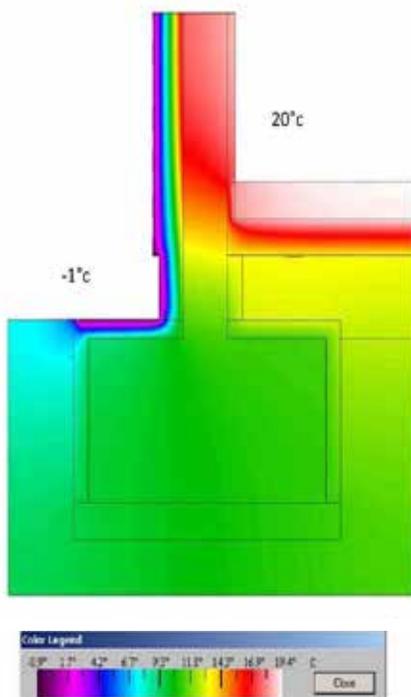
Fuente: Asesoría AChEE-MINEDUC 2011.

Figura 44: Flujo de temperatura.



Fuente: Asesoría AChEE-MINEDUC 2011.

Figura 45: Gradiente de temperatura.



Fuente: Asesoría AChEE-MINEDUC 2011.

2.3.6.4. Disminución de riesgos de infiltraciones – mejora de la estanqueidad

Desde una perspectiva de construcción eficiente, es necesario diferenciar entre ventilación (estrategias pasivas controlables mediante ventanas, etc., Ver 2.3.4) e infiltraciones.

Se denomina infiltración de aire cuando éste pasa sin control a través de grietas y aberturas no previstas en la envolvente de un edificio. Estas infiltraciones inciden de manera importante en el desempeño energético del edificio.

Teniendo en cuenta esta diferencia, es recomendable que la ventilación sea resuelta mediante la arquitectura, o mediante sistemas mecánicos, con el objetivo de proveer de la necesaria renovación de aire, mientras que la hermeticidad del edificio se aborde mediante soluciones de diseño de envolvente, de modo de disminuir su impacto.

Del punto de vista de las pérdidas energéticas, ambos fenómenos se describen de la misma forma. Las pérdidas de energía por ventilación o infiltración ocurren debido al diferencial de temperatura entre el aire exterior y el aire interior.

La pérdida de energía en forma de calor, en este caso, está dada por:

$$Q_i = V_i * c_v * (T_i - T_e)$$

Donde:

Q_i: Pérdidas por infiltraciones (kWh)

V_i: Caudal de aire de infiltraciones (m³/h)

c_v: Calor específico volumétrico de aire (kW/m³°C)

T_i: Temperatura interior de edificio (°C)

T_e: Temperatura exterior (°C)

El efecto más importante de las infiltraciones de aire es el mayor consumo energético para calefacción, debido a una mayor pérdida de calor del aire interior.

Aproximadamente, los diferentes elementos constructivos en la ocurrencia de infiltraciones de aire son 35% a los muros, 18% a los cielos y 15% a las ventanas. También, son importantes de mencionar, que un 30% de las infiltraciones se producen por los equipos de climatización y chimeneas. En Chile, es esperable que en edificios de muros de albañilería u hormigón, las infiltraciones se produzcan mayoritariamente por puertas y ventanas, y además por la techumbre en el caso de las casas. Asimismo, en construcciones de muros livianos (estructura de madera o perfiles livianos de acero), los muros pueden contribuir de manera importante a las infiltraciones.

En etapa de diseño, es necesario tomar medidas tales como:

- Establecer la ubicación y el uso de barreras de aire
- Identificar las vías de ocurrencia de infiltraciones
- Establecer la ubicación de la barrera de aire, tal como los ductos e instalaciones que la atraviesan.
- Uso de sellos de silicona al interior en encuentros de elementos constructivos tales como ventanas, puertas y revestimientos.
- Establecer exigencias para la hermeticidad de los edificios
- Tomar en consideración la existencia de posibles rendijas futuras en pisos en contacto con el terreno, tal como en ventilados.

A su vez, estas medidas repercutirán en características de la envolvente que podrán medirse durante el proceso de construcción o bien, durante etapas finales del proyecto. Para esto existen indicadores tales como el n50 o n100.

El indicador **n50** representa el número de renovaciones a 50 pascales de diferencia de presión entre el exterior y el interior de la edificación, al comparar con el volumen interno.

Para calcular el valor de n50, es necesario utilizar la siguiente expresión para cálculo teórico de n50 según UNE-EN 15242.

$$n50 = \frac{\sum_{i=1}^n Poi \cdot Aoi + \sum_{i=1}^n Pvi \left(\frac{50}{100}\right)^{0,667} \cdot Avi}{V}$$

Donde:

Poi: Permeabilidad al aire a 50 Pa del elemento opaco interior que conforma la envolvente vertical de la vivienda, m³/hm².

Pvi: Permeabilidad al aire a 100 Pa del elemento transparente interior que conforma la envolvente vertical de la vivienda, m³/hm².

Aoi: Área de elemento opaco vertical interior que conforma la envolvente de la vivienda, m².

Avi: Área de elemento transparente interior que conforma la envolvente de la vivienda, m².

Los valores de Poi y Pvi se encuentran tabulados y establecidos para distintos materiales de construcción. A continuación se presentan las tablas con los valores de algunos tipos de superficies opacas y transparentes que serán usadas para los cálculos posteriores.

Tabla 30: Permeabilidad al aire de ventanas (Pvi). Valores por defecto

Ventanas	Aluminio	PVC	Madera
Abatible	4	18	7
Corredera	16	18	
Fija	6	3	1
Guillotina	1	3	1
Oscilobatiente	1	6	
Plegable	2		
Proyectante	10	13	3

Fuente: CITEC UBB.

Tabla 31: Permeabilidad al aire de las superficies opacas principales (Poi)

Materialidad	Línea base	Intervalo
Hormigón	9,0	7,2 - 10,8
Albañilería de ladrillo	11,8	10,9 - 13,4
Albañilería de ladrillo y estructura liviana	15,0	11,7 - 18,3
Madera	24,6	18,6 - 30,6
Otras modalidades	10,2	7,9 - 12,6

Fuente: Proyecto Fondef D10I1025.

Teniendo en consideración los valores teóricos recientemente expuestos y en conocimiento de las áreas de superficies tanto opacas y transparentes de una vivienda, recinto o edificio, como además el volumen total de la misma, es posible obtener el valor teórico de las renovaciones de aire (n50) que presentará el edificio.

En relación a la medición de infiltraciones, esta materia se aborda en más detalle en el módulo 6. Al final del presente capítulo se presenta un ejercicio práctico de cálculo.

2.3.6.5. Especificación de Ventanas

Las ventanas son uno de los elementos más débiles en la envolvente del edificio en lo que se refiere a eficiencia energética. Las ventanas están compuestas por perfiles, vidrios y herrajes. Cada uno de estos elementos impacta en el comportamiento energético del elemento constructivo en conjunto, tanto en su resistencia térmica como en su comportamiento frente a la permeabilidad al aire.

2.3.6.5.1. Perfiles

Los perfiles de la hoja y el marco de la ventana representan entre el 25% y el 35% de su superficie. Su principal propiedad respecto a su comportamiento térmico es su transmitancia térmica (U), que representa el flujo de calor que pasa a través del elemento, entre la cara interior y exterior de la ventana. Mientras más bajo sea el coeficiente U, la capacidad aislante del elemento será mayor.

La siguiente tabla entrega los valores de transmitancia térmica junto con el grado de aislamiento asociado, para diferentes materiales de perfiles de ventanas.

Tabla 32: Transmitancia térmica y grado de aislamiento para diferentes materiales de perfiles de ventanas

Material del perfil	Transferencia térmica U(E/m ² K)	Grado de aislamiento
Metálico	5,7	Muy bajo
Metálico RPT (4mm ≤ d < 12mm)	4	Bajo
Metálico RPT (d > 12mm)	3,2	Medio

Metálico RPT (Separadores especiales > 24 mm)	1,9	Muy alto
Madera dura (ρ= 700kg/m ³ y 60 mm de espesor)	2,2	Alto
Madera blanda (ρ= 500kg/m ³ y 60 mm de espesor)	2	Alto
Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)	2,2	Alto
Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)	1,8	Muy alto

Fuente: Recuperado de <http://www.amevec.mx/>

El grado de aislamiento del perfil está determinado por su materialidad y por la existencia de cámaras interiores. A continuación se revisarán algunas materialidades comúnmente utilizadas en perfiles de ventanas.

Perfiles Metálicos

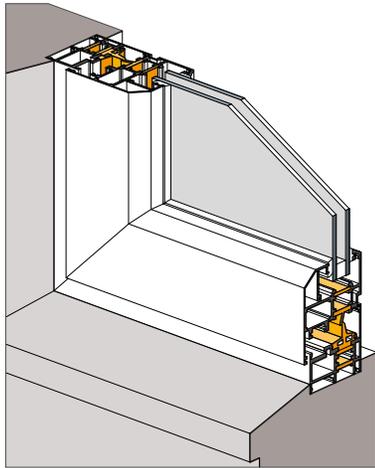
Son perfiles de aluminio, hierro o acero con diferentes acabados (lacados, anodizados, foliados como imitación de madera, etc.). Dentro de las soluciones para perfiles de ventanas disponibles hoy en el mercado es la opción menos eficiente, debido a su elevada conductividad térmica (facilidad para perder y ganar calor) y la baja estanqueidad al aire de su cierre poco hermético.

Perfiles metálicos con rotura de puente térmico (RPT)

Es una solución de perfil de aluminio cuyo diseño evita que las caras interior y exterior del perfil tengan contacto entre sí, interponiendo entre ellas un material aislante. De esta forma se reduce la transmitancia térmica y acústica del elemento.

Generalmente se utiliza en perfiles de aluminio un perfil separador de poliamida 6.6 reforzado con un 25% de fibra de vidrio, que se ensambla y une ambas caras del perfil. También existen sistemas provistos de cámaras de aire en el interior.

Figura 46: Perfiles metálicos con rotura de puente térmico (RPT).



Perfil de Ventana con elementos de rotura de Puente Térmico (RPT) - Poliamida o ABS

Fuente: Recuperado de <http://www.amevec.mx/boletines/images/foto-RPT-detalle.jpg>

Perfiles de madera

Corresponden a perfiles macizos de madera que otorgan altos niveles de aislación. La conductividad térmica de la madera es baja, por lo tanto favorece el aislamiento. Unos de sus inconvenientes es el especial cuidado que necesita ante el ataque de agentes externos, sin embargo, hoy se dispone en el mercado de diversos productos que proporcionan diferentes tipos de protección.

Perfiles de PVC

Corresponden a perfiles huecos de PVC con baja conductividad térmica y acústica, por lo que proporcionan un mayor grado de aislación.

Otros

Entre otros tipos de perfiles se encuentran soluciones mixtas de aluminio-madera, poliuretano con núcleo metálico, metálicas con RPT rellenas de espuma aislante, etc.

Es importante mencionar que la prestación energética de la ventana estará fuertemente condicionada no solo por su materialidad misma, sino por la estanqueidad al paso del aire de todo el conjunto de ventana, por lo cual su proceso de armado e instalación será un factor relevante, independiente de la materialidad escogida.

2.3.6.5.2. Vidrios

El vidrio es el componente principal de la ventana en cuanto a superficie ocupada. Las propiedades que lo caracterizan son su transmitancia térmica (U) y el factor solar (g), que corresponde a la relación entre la energía solar que incide en el vidrio y la que atraviesa a través de él. Mientras menor sea la transmitancia térmica del vidrio mayor será su capacidad aislante.

Actualmente se dispone en el mercado de diversas soluciones de vidrios para aislamiento térmico reforzado y protección solar, combinadas con otros atributos como aislación acústica, seguridad, bajo mantenimiento, estética, etc.

Vidrios monolíticos

Están formados por una hoja de vidrio o por dos o más hojas unidas entre sí en toda su superficie (vidrios laminares). Existen diferentes variedades en función del color, diseño, y seguridad.

Corresponde a la solución más sencilla y económica, por ende es ampliamente utilizada, sin embargo otorga una baja aislación. Su transmitancia es de $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ y su factor solar de 0.83.

Vidrio de baja emisividad (low-E)

Corresponden a vidrios monolíticos sobre los que se ha depositado una capa muy fina de óxidos metálicos. Esta capa reduce la radiación térmica emitida por el cristal (emisividad) y la entrada de radiación solar a través de él, por lo que mejora el aislamiento en verano.

Generalmente este tipo de vidrios van ensamblados en doble acristalamiento con el objetivo de maximizar sus beneficios, ubicando la capa de baja emisividad en diferentes caras dependiendo si la zona es de calor o frío: Si el objetivo es mantener la radiación fuera de la edificación (climas cálidos) se debe colocar en el exterior, mientras que si se busca retener el calor (climas fríos) se debe colocar en el interior. Bajo esta configuración el elemento limita el intercambio de calor por todos sus medios (radiación, convección y conducción).

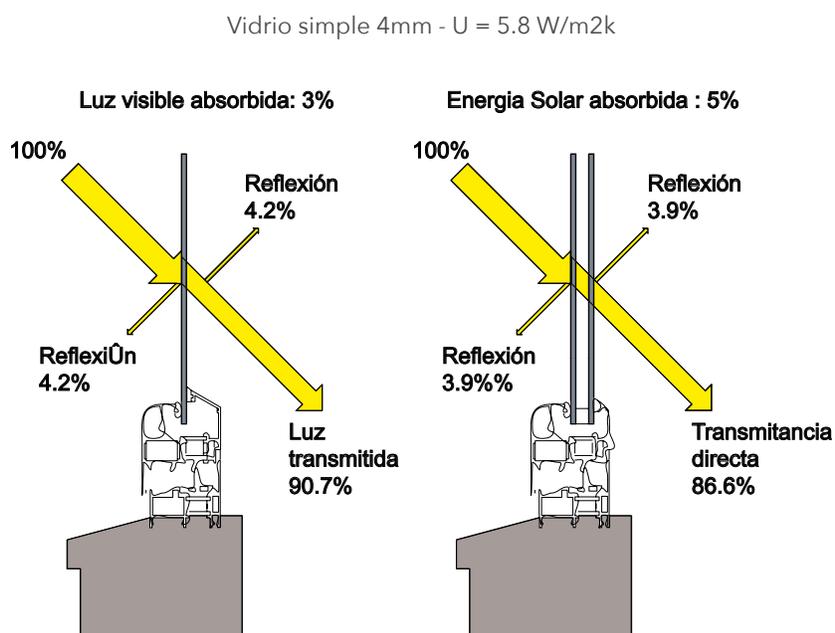
Doble y triple acristalamiento

Corresponde al conjunto de dos o más láminas de vidrio monolítico separadas entre sí por una o más cámaras de aire seco y/o gas Argón, herméticamente cerradas. Esta configuración limita el intercambio de calor por convección y conducción, mejorando las propiedades aislantes del elemento.

La transmitancia térmica del doble vidriado es 40% menor al vidrio monolítico simple. Esta propiedad se puede mejorar aún más si se incorporan capas de baja emisividad o aislamiento térmico reforzado, incluso separadores de aluminio con RPT.

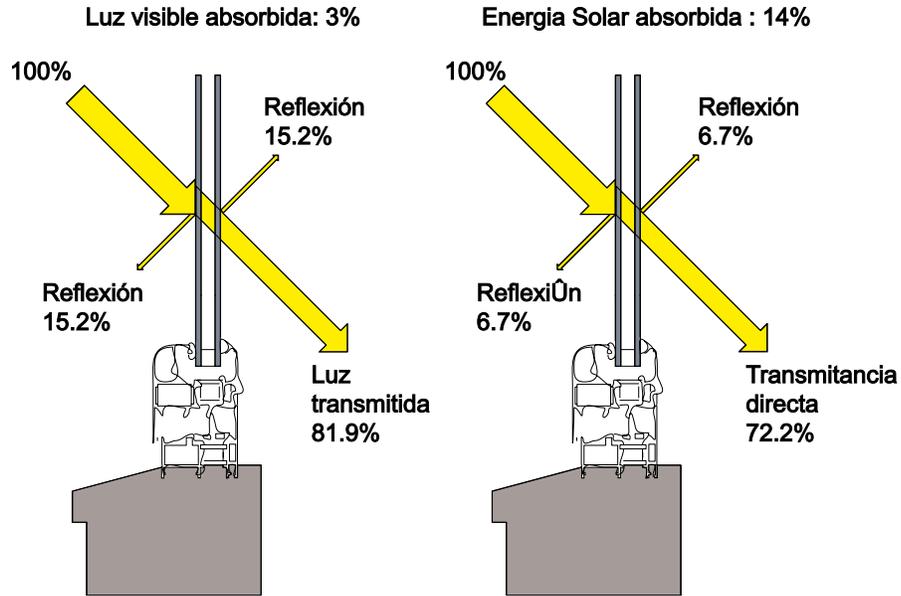
La siguiente figura muestra el comportamiento térmico del doble acristalamiento en relación a la energía reflejada y transmitida.

Figura 45: Comportamiento térmico de tipos de acristalamiento



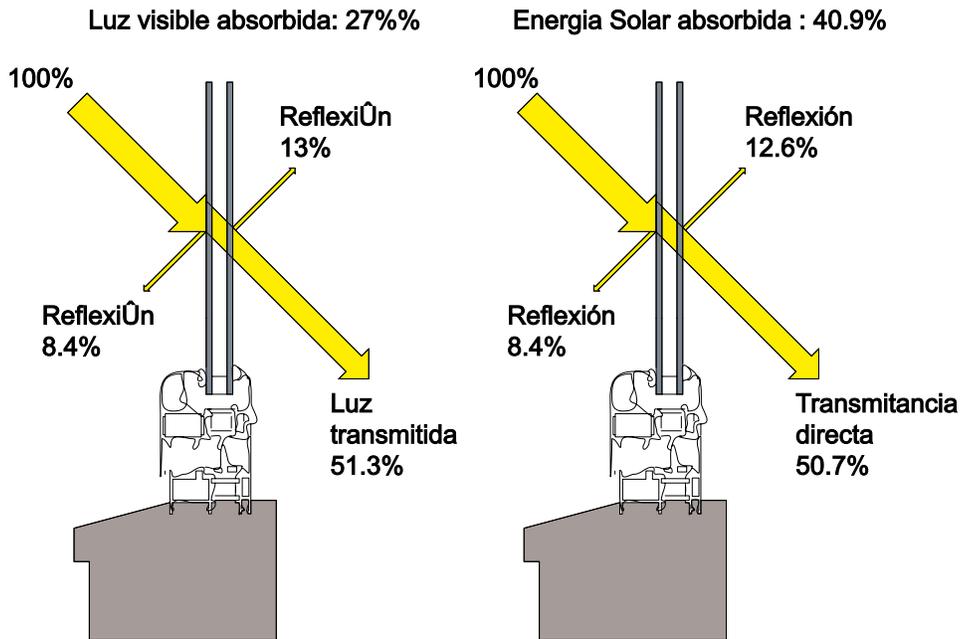
Fuente: Elaboración propia en con base en la bibliografía consultada (EN 410-2011).

DVH 6mm - 12mm (90% Argon) - 6mm U = 2.7 W/m²k



Fuente: Elaboración propia en con base en la bibliografía consultada (EN 410-2011).

DVH 6mm (tinte gris)- 12mm (90% Argon)- 6mm U = 2.7 W/m²k



Fuente: Elaboración propia en con base en la bibliografía consultada (EN 410-2011).

En la siguiente tabla se entregan valores de transmitancia térmica para diferentes tipos de vidrio, propiedad determinante del comportamiento térmico y eficiencia del elemento.

Tabla 33: Transmitancia térmica para diferentes tipos de vidrio

Tipo de Vidrio	Transmitancia Térmica (W/m ² K)
Simple Monolítico	5,4
Doble Vidriado Hermético	2,8
Doble Vidriado Hermético con low-E	1,8
Triple Vidriado Hermético	1,9

Fuente: Recuperado de <http://www.trenthermet.com.ar/>

El comportamiento térmico de una solución de ventana está definido por las propiedades térmicas de cada uno de los elementos que la conforman (perfilería y vidriado). Ambas partes se deben complementar con el objeto de lograr un sistema de alta eficiencia. La siguiente tabla entrega los valores de transmitancia térmica calculada para diferentes configuraciones de ventanas.

Tabla 34: Transmitancia térmica calculada para diferentes tipos de ventanas.

Tipo de ventana	Transmitancia térmica (W/(m ² *K))
Perfil de aluminio con vidrio monolítico	5,06
Perfil de aluminio con DVH	2,74
Perfil de madera con vidrio monolítico	5,15
Perfil de madera con DVH	2,83
Perfil de PVC con vidrio monolítico	5,03
Perfil de PVC con DVH	2,71

Nota: Para el cálculo se consideran ventanas de 1,5 m de ancho por 1,2 m de alto y perfiles de 40 mm de espesor.

Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción. (2008). Manual Técnico - Aislación Térmica Exterior.

Recuperado de <http://www.cchc.cl/>

2.3.6.5.2. Herrajes (tipos de cierres).

Corresponden a los elementos que se utilizan para evitar filtraciones de aire entre hojas y marcos, aplicables tanto a puertas como ventanas.

El tipo de herraje a utilizar depende del tipo de apertura de la puerta o ventana, por ende el aislamiento, la hermeticidad y la eficiencia de la solución estará determinada por ello. Entre los diferentes tipos de apertura, se encuentran:

Aperturas a presión

Clasifican dentro de este tipo de apertura los sistemas practicables, abatibles, oscilo-batientes, proyectantes, plegables, pivotantes y correderas oscilo-paralelas. Los herrajes utilizados en estos casos deben tener cierres perimetrales que al accionarlos presionen la hoja contra el marco y den lugar a un cierre totalmente hermético. La hermeticidad es clave para evitar filtraciones y con ello mejorar la eficiencia del sistema.

Correderas simples o en línea

Actualmente este tipo de apertura puede tener sistema de cierre multipunto frontal, el cual otorga una mayor hermeticidad al tener 2 o 4 puntos de cierre. Sin embargo, por el diseño particular de las ventanas de corredera es complejo lograr total hermeticidad, por lo que su eficiencia se encuentra determinada principalmente por el tipo de perfil y vidriado.

Corredera elevadora

En este caso el sistema de herrajes no es perimetral, por ende no es posible conseguir total hermeticidad del sistema. Sin embargo, alcanza valores muy superiores a las ventanas con apertura de corredera normal entregando mayor eficiencia.

2.3.6.6. Especificación eficiente de Puertas

Las puertas exteriores del edificio son determinantes de la magnitud de las pérdidas y ganancias de calor que se experimentan a través de la envolvente. En la actualidad existen diferentes soluciones de puertas para edificios pero no todas ellas son igualmente convenientes al momento de evaluar la eficiencia energética del sistema.

Puertas de Metal

Generalmente se utilizan para entregar mayor seguridad a los recintos o cuando existen requerimientos específicos de higiene. Existen diferentes tipos dependiendo de la finalidad que se persiga con su uso: alta resistencia al fuego, mayor aislación acústica, mayor seguridad o uso general. Se caracterizan por su facilidad para conducir el calor y la electricidad, sin embargo, si poseen un núcleo interior con propiedades aislantes (espuma de poliuretano por ejemplo) pueden aumentar su resistencia al flujo de calor considerablemente, incluso superando soluciones convencionales de buen comportamiento térmico como la madera.

Figura 46: Puerta de acero inoxidable y vidrio.



Fuente: Recuperado de <http://arquitecturadecasas.blogspot.com/>

Puertas de Fibras de Vidrio

Su aspecto es similar a las puertas de madera. Están elaboradas a partir de tejido compacto de vidrio por lo cual son de alta resistencia y durabilidad, superior a soluciones de madera o metal, además no sufren deformaciones. Poseen una alta resistencia al fuego pudiendo durar hasta 90 minutos sin consumirse completamente.

El costo de este tipo de puertas puede resultar superior a soluciones convencionales de madera o metal, sin embargo esta variable debe ser contrastada con su alta durabilidad al momento de la toma de decisiones.

Figura 47: Puerta de fibra de vidrio con núcleo de poliuretano.



Fuente: Recuperado de <http://www.sodimac.cl>

Puertas de Madera

Están elaboradas a partir de piezas de madera maciza o laminada. Poseen alta resistencia ante esfuerzos paralelos a la dirección de la fibra; buena aislación térmica, eléctrica y acústica; mayor resistencia al fuego que una puerta de metal; entre otras propiedades. Sin embargo, por tratarse de un material de origen orgánico está afecto al ataque de microorganismos como hongos y bacterias, por lo cual debe estar constantemente protegida a través de tratamientos de preservación y conservación.

Figura 48: Puerta maciza de Pino Oregón.



Fuente: Recuperado de <http://www.sodimac.cl>

Puertas de Vidrio

Las puertas de vidrio son un nuevo concepto dentro de la arquitectura vanguardista contemporánea, el cual contempla el uso de soluciones de cristal tanto para puertas interiores como puertas de acceso. El objetivo principal es dar una sensación de espacio y potenciar el diseño vanguardista a través de la estética del cristal. En el caso de puertas de este tipo se aplican los mismos criterios de selección descritos en el apartado de ventanas.

Figura 49: Puerta de vidrio.



Fuente: Recuperado de <http://arquitecturadecasas.blogspot.com/>

Eficiencia energética en Puertas y ventanas.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha identificado las puertas de mayor eficiencia energética en función de su etiquetado *Energy Star*, de manera de guiar al público respecto al uso de estas. De acuerdo a los estudios de la EPA, las puertas que poseen un mejor comportamiento respecto a la eficiencia energética de la edificación son aquellas de fibra de vidrio o metal, siempre y cuando estas se encuentren debidamente aisladas (generalmente con un núcleo de espuma de poliuretano).

Las puertas de metal tienen una base de aislamiento de espuma que puede aumentar su resistencia térmica (resistencia al flujo del calor) sobre los 5,0 m²K/W. Estas no tienen un costo mayor que las puertas exteriores convencionales y vienen con cristales de ventana aislados. Las puertas aisladas de metal o de fibra de vidrio generalmente tienen excelente hermeticidad y larga vida útil, además no se curvan y ofrecen protección y seguridad.

Las puertas que fueron peor evaluadas al respecto corresponden a las de madera ya que tienen valores aislantes bajos, su resistencia térmica fluctúan entre los 2,2 m²K/W.

Una solución de puertas energéticamente eficientes proporciona una barrera entre los ambientes interiores y el aire libre, pero si el aislamiento alrededor de las puertas y su marco permite el ingreso de aire caliente o frío, el sistema pierde eficacia.

La "National Fenestration Rating Council" (NFRC) de Estados Unidos ha desarrollado un sistema de etiquetado energético para ventanas y puertas que incorpora su valor de transmitancia térmica, su grado de hermeticidad, su coeficiente solar (SHGC, Ver 2.3.4.) y otras características adicionales, como la resistencia a la condensación. Dichas etiquetas se emiten de acuerdo a las condiciones meteorológicas del lugar donde se emplazará el edificio.

2.3.7. Ejercicios prácticos.

1) Ejercicio: *Determinación de Transmitancia Térmica para un muro.*

La vivienda que se desea analizar térmicamente es una vivienda básica de 55,0 m² ubicada en la comuna de Macul en la Región Metropolitana. La vivienda es parte de un edificio de 3 pisos de altura y se encuentra en el segundo piso.

La vivienda está estructurada en albañilería armada (muro confeccionado con ladrillos hecho a máquina de dimensiones 29 x 14 x 7,1 cm y un distanciamiento de 1,8 cm aproximadamente).

Las conductividades térmicas (λ) de los materiales utilizados en la albañilería son los siguientes:

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{Ladrillo}} &= 0,46 \text{ W/mK} \\ \lambda_{\text{Mortero de pega}} &= 1,20 \text{ W/mK}\end{aligned}$$

Para cuantificar elementos heterogéneos se debe realizar de la siguiente forma:

$$\bar{U} = \frac{1}{Rt} = \frac{\sum A_i \times U_i}{\sum A_i}$$

Siendo A_i la superficie de la parte del elemento a la que corresponda una transmitancia térmica U_i .

$$U_{\text{ladrillo}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,14}{0,46} + 0,05} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] = 2,11 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

$$U_{\text{mortero}} = \frac{1}{0,12 + \frac{0,14}{1,2} + 0,05} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] = 3,48 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

Y por lo tanto la transmitancia térmica del muro es:

2) Ejercicio: *Muro de hormigón armado en contacto con el exterior:*

El muro tiene un recubierto exterior de mortero de cemento de espesor de 2,0 cm y su conductividad térmica es 1,4 , y en el interior está recubierto por una baldosa cerámica. La baldosa tiene un espesor de 1,0 cm, y su conductividad térmica es de 1,75 .

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

$$U = \frac{1}{0,12 + \frac{0,15}{1,63} + \frac{0,02}{1,4} + \frac{0,01}{1,75} + 0,05}$$

$$U = 3,55 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

3) Ejercicio: *Techumbre:*

En la edificación, la techumbre está compuesta por una plancha de yeso-cartón y por lana mineral como aislante, en contacto con el entretecho.

Lana mineral; e = 5,0 cm, d = 140 kg/m³ y λ = 0,042 [W/m²K].
 Yeso cartón; e = 1,0 cm, d = 650 kg/m³ y λ = 0,24 [W/m²K].

$$R_t = 0,10 + \frac{0,05}{0,042} + \frac{0,01}{0,24} + 0,10 \frac{m^2K}{W}$$

$$U = 0,70 \frac{W}{m^2K}$$

El cielo está compuesto una plancha de yeso-cartón sobre la cual está dispuesta lana mineral granular.

Lana mineral: e = 5,0 cm, densidad de 140 kg/m³ y una conductividad térmica de 0,042 $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$

Yeso-cartón; e = 1,0 cm, densidad de 650 kg/m³ y una conductividad térmica de 0,24 . $\left[\frac{W}{m^2K} \right]$

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

$$U = \frac{1}{0,10 + \frac{0,05}{0,042} + \frac{0,01}{0,24} + 0,10}$$

$$U = 0,70 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

4) Ejercicio: Cálculo de "tiempo de desfase" asociado a materiales con diferente inercia térmica. *Tiempo de desfase o retardo (time lag)*

El tiempo de retardo es el tiempo que demoran los materiales y/o soluciones constructivas en transferir el calor. Depende de la difusividad de los materiales y del espesor.

$$\varphi = \frac{e}{2} \sqrt{\frac{1}{a \cdot \pi \cdot \eta}}$$

Donde,
 e = espesor [m]
 a = difusividad [m² /s]
 h = frecuencia [1/s]

Tabla 35: Tiempo de desfase o retardo en distintas soluciones constructivas

Material	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/(kg·K))	Conductividad térmica (W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)	espesor (m)	η (1/s)	ψ (s)	φ (horas)
Hormigón	2.200	837	1,4	0,761	0,2	0,00001	19.019	5,3
Ladrillo común	1.800	840	0,8	0,529	0,15	0,00001	17.099	4,7
Lana de vidrio	100	670	0,036	0,537	0,05	0,00001	5.656	1,6
Madera	840	1.381	0,13	0,112	0,03	0,00001	7.431	2,1
Madera de pino	650	1.298	0,163	0,193	0,03	0,00001	5.659	1,6
Poliestireno	1.050	1.200	0,157	0,125	0,05	0,00001	11.745	3,3
Yeso	1.800	837	0,81	0,538	0,01	0,00001	1.131	0,3

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

5) Ejercicio: **Ganancias solares directas dadas por una ventana.**

Una ventana en un clima frío podría ser un riesgo ya que podría causar una gran pérdida térmica energía de calor, pero también podría producir una ganancia térmica solar significativa. Se puede realizar una comparación manera muy simplificada entre ellas teniendo como base una unidad de área de venta:

Tomando Santiago como ejemplo, se puede calcular y comparar de manera muy simple la ganancia y pérdida en un día durante el mes más frío del año (julio) con base en una unidad de área de ventana.

To_{av} = 14.5, tomando que la T_i es 23, por ende el ΔT es de 8,5. Considerar vidrio simple con valor U de 5.3w/m² y el factor solar de ganancia 0= 0,76.

Orientación Norte, con irradiación solar vertical Dv₃₆₀=1.948Wh/m². Asumiendo unas "eficiencia" utilizable de 0,7.

GANANCIA: 1.948 x 0,76 x 0,7= 1.036 Wh/m².

PÉRDIDA: 5,3 x 8,5 x 24 = 1.261 Wh/m².

Pérdida > Ganancia, por lo que la ventana no es aconsejable.

Pero si esa misma ventana es doble vidrio tipo termopanel, donde el valor U es de 3,0 W/m²K

Asumiendo unas "eficiencia" utilizable de 0,7.

GANANCIA: 1.948 x 0,64 x 0.7= 872 Wh/m²

PERDIDA: 3 x 8,5 x 24 = 612 Wh/m²

Perdida < Ganancia, por lo que la ventana es aconsejable.

Si tomamos la misma ventana pero con orientación Este,

Dv90 = 1.102 Wh/m²

GANANCIA: 1.102 x 0,64 x 0,7= 493 Wh/m²

PERDIDA: (igual que anterior) 3 x 8,5 x 24 = 612 Wh/m²

Pérdida > Ganancia, por lo que la ventana no sería aconsejable.

Esto podría remediarse si se emplean cierres tipo persianas por 10 horas durante el periodo nocturno, con lo que se podría asumir que el valor U del vidrio simple sería de 1,5 W/m²K y el doble vidrio a 1,3 W/m²K.

Las pérdidas serian:

Vidrio Simple (1,5 x 10 + 5,4 x 14) * 8,5 = 770 Wh/m².

Vidrio Doble (1,2 x 10 + 3 x 14)*8,5 = 459 Wh/m².

Por lo que en vidrio simple 872 Wh/m² (ganancia) > 770 Wh/m² (perdida).

Y Doble vidrio 493 Wh/m² > 459 Wh/m² (perdida).

Pérdida > Ganancia, por lo que la ventana sería aconsejable marginalmente.

Ejercicio: *Protecciones solares y cálculo de Factor Solar Modificado.*

Queremos verificar el requerimiento de factor solar modificado en el diseño de las ventanas del lado poniente de un edificio que está ubicado en la Zona Desértica. El diseño de la ventana corresponde a un vidrio continuo de 1.5 m de alto, en voladizo, sin retranqueos ni protecciones solares, con marco claro blanco y en orientación Este, correspondiente al 30% de la fachada. L/H corresponde a 1,5 y D/H a 0,3.

Utilizando la fórmula siguiente:

$$F = Fs * [(1 - Fm) * g_{\perp} + Fm * 0,04 * Um * \alpha]$$

Dónde:

Fs: Factor de sombra.

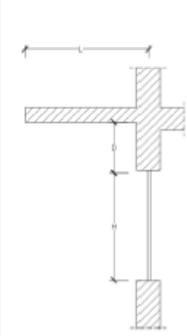
Fm: fracción del vano ocupado por marco.

g_{\perp} : Factor solar.

Um: Transmitancia térmica del marco.

α : Absortividad del marco (varía entre 0,2 para marcos blancos y 0,95 para marcos de color oscuro).

Tabla 36: Factor de sombra para obstáculos de fachada (voladizo)



		$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$	
ORIENTACION DE LA FACHADA	N	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28	0,16
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39	0,22
		$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,6	0,39
	NE/NO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43	0,16
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60	0,27
		$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84	0,65
	E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55	0,22
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70	0,43
		$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89	0,75

Fuente: Recuperado de http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/TDRe_MOP-DA_Parte1.pdf

De acuerdo a la tabla 36 corresponde un F_s de 0,70.

Se asumirá una fracción del vano ocupada por el marco de 0,1; un Factor solar g_{\perp} de 0,6 y una trasmittancia térmica del marco de 6,0 para el desarrollo del ejercicio.

Tabla 37: Absortividad del marco para radiación solar α .

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

Fuente: Recuperado de http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/TDRe_MOP-DA_Parte1.pdf

De acuerdo a la tabla 37 corresponde un $\alpha = 0,20$.

Entonces el factor solar modificado corresponde a:

$$F = 0,70 * [(1 - 0,1) * 0,6 + 0,1 * 0,04 * 6,0 * 0,20] = 0,356$$

De acuerdo a los Términos de referencia estandarizados TDRe (Guía Técnica de apoyo n°2, Tabla N°3: valores límite de Factor Solar modificado FM, para zona desértica) el valor mínimo indicados para un 30% de vano en una fachada poniente es de 0,54, lo cual significa que en este caso las opciones de mejora son protecciones solares del tipo retranqueo, o agregar marquesinas de protección

7) Ejercicio: Cálculo de riesgos de condensación superficial en muro.

Utilizando métodos de cálculo, es posible determinar riesgos de condensación en condiciones ambientales esperadas, utilizando herramientas como la carta psicrométrica.

La Psicrometría es la ciencia que estudia las propiedades termo-dinámicas del aire húmedo y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. A través de ella se ha logrado establecer métodos concretos de medición del contenido de humedad en el aire.

Una herramienta que nace de esta ciencia es la carta psicrométrica, gráfica que relaciona diferentes parámetros que caracterizan el estado de una masa de aire.

Los parámetros que se relacionan dentro de una carta psicrométrica son:

- Temperatura de Bulbo Seco (BS): Temperatura de una sustancia medida con un termómetro común. Es un indicador del calor sensible contenido en una sustancia.

Las temperaturas de bulbo seco se muestran en líneas verticales con origen en el eje horizontal al fondo de la carta.

- Temperatura de Bulbo Húmedo (BH): Medición del contenido de agua en la humedad del aire. Se obtiene al pasar aire por un termómetro con un paño húmedo sobre su bulbo sensor. Cuanto más seco es el aire, mas agua se evaporar del paño lo que reduce la lectura del termómetro. Si el aire está saturado (100% de humedad relativa), no se evaporará agua del paño y la temperatura de bulbo húmedo se igualará a la temperatura de bulbo seco.

- Las líneas de bulbo húmedo se originan donde las líneas de bulbo seco intersectan la línea de saturación y se inclinan hacia abajo y a la derecha.

- Humedad Relativa (HR): Cantidad de vapor de agua en una muestra dada de aire respecto a la máxima cantidad de vapor de agua que la misma masa de aire puede contener. El 100% de humedad relativa indica aire saturado (el aire no puede mantener más vapor de agua), y 0% de humedad relativa indica aire seco.

- El 100% de HR es la línea de saturación y las líneas de menor HR caen hacia abajo y a la derecha de esta línea.

- Temperatura de Punto de Rocío (PR): Temperatura a la que una muestra de aire húmedo en las mismas condiciones de presión alcanza la saturación de vapor de agua. Cuando una muestra de aire es enfriado, su HR sube hasta que alcanza 100% HR (aire saturado), esta es la temperatura de punto de rocío.

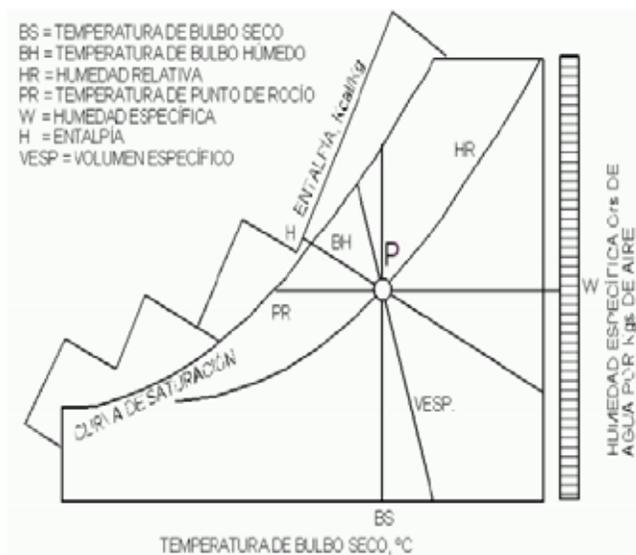
- En la saturación, la temperatura de punto de rocío, la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco se igualan, y la HR es 100%. Si el aire es pasado a través de una superficie que está debajo del punto de rocío, la humedad del aire se condensará en esa superficie.

El punto de rocío se muestra en la línea de saturación.

- Humedad específica (W): Peso actual de vapor de agua en una unidad de masa de aire seco. Se mide en kilos de vapor de agua por kilos de aire seco.
- Las líneas de Humedad específica están en horizontal en el eje vertical del lado derecho de la carta.
- Entalpía (H): Este término indica el calor total en la mezcla de aire-vapor y se mide en kJ/kg de aire seco.
- Los valores de la entalpía se encuentran en la escala encima y a la izquierda de la línea de saturación. Las líneas de entalpía constante están inclinadas hacia abajo a la derecha y paralelamente cerca de las líneas de bulbo húmedo.
- Volumen específico (VESP): Es el recíproco de la densidad y se mide como volumen de una masa de aire húmedo por kg de aire seco.

Las líneas de volumen específico comienzan en el eje horizontal y se inclinan hacia arriba y a la izquierda.

Figura 50: Carta Psicrométrica.



Fuente: Recuperado de <http://htca.us.es/>

Ejemplo de Aplicación de una Carta Psicrométrica.

Suponiendo un edificio cuyas condiciones ambientales interiores son $T_i = 20,0 \text{ °C}$ y humedad relativa $HR_i = 75\%$, el cual está ubicado en una localidad, donde al momento de realizar el análisis se encuentra a $T_e = 5,0 \text{ °C}$ y $HR_e = 90\%$, se puede determinar si un muro de hormigón armado cuya transmitancia térmica es $U = 3,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ tendrá formación de condensación en su superficie interior.

Para esto, de acuerdo a los criterios de cálculo de temperatura interior en condiciones de régimen permanente, se puede determinar su temperatura superficial interior, la cual para las condiciones descritas será la siguiente:

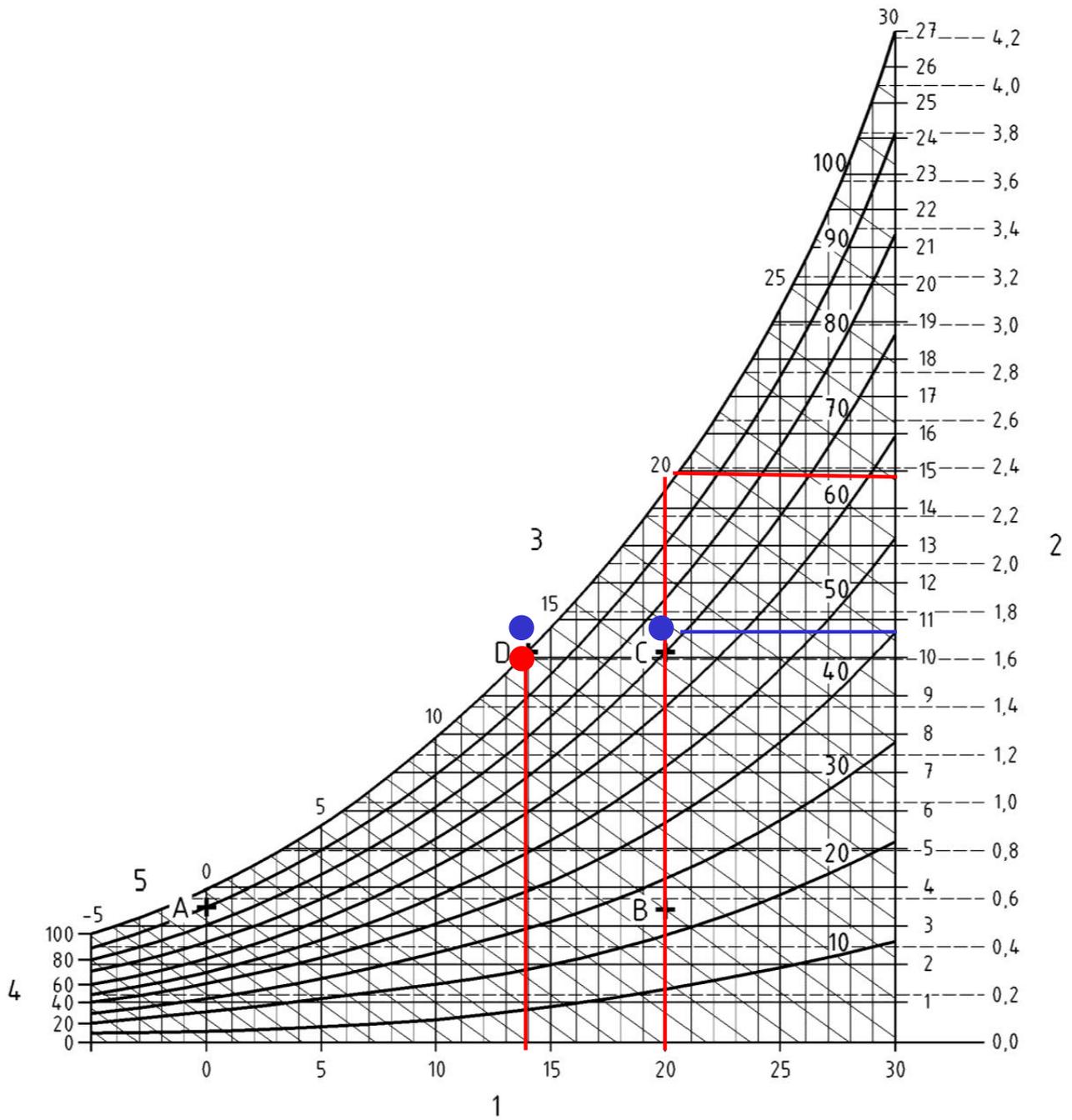
$$t_{si} = t_{int} - U \cdot R_{si} \cdot (t_{int} - t_{ext})$$

$$t_{si} = 20 - 3,42 \cdot 0,12 \cdot (20 - 5)$$

$$t_{si} = 13,9 \text{ °C}$$

Luego, basados en el ábaco psicrométrico se puede determinar la humedad relativa que habrá en la superficie interior del muro, dadas las condiciones de temperatura (13,9 °C). Para este ejemplo se visualiza que la humedad relativa sobrepasa el 100%, por lo que habría formación de condensación en tales condiciones.

Figura 51: Gráfico de análisis.



Fuente: Recuperado de <http://htca.us.es/>

La vivienda 68,0 m² ubicada en la comuna de Colina en la Región Metropolitana. Está estructurada en albañilería confi nada en el primer piso y estructura de liviana en el segundo piso (perfi les metálicos con planchas de yeso cartón). Su superfi cie de envolvente es de 178,9 m², y su volumen de 157,8 m³.



Para determinar n₅₀ se utiliza la siguiente información:

- Superfi cie opaca 1º piso= 66,89 m²
- Superfi cie opaca 2º piso= 50,39 m²
- Área de ventanas fi jas: 1,7m²
- Área de ventanas correderas: 13,542
- Área de ventanas = 15,24
- Los valores de Pvi y Poi se obtienen de las tablas 9 y 10

Permeabilidad al aire de ventanas (Pvi). Con valores seleccionados de ventanas fijas y correderas

Ventanas	Aluminio	PVC	Madera	Total
Abatible	4	18	7	29
Corredera	16	18		34
Fija	6	3	1	10
Guillotina	1	3	1	5
Oscilobatiente	1	6		7
Plegable	2			2
Proyectante	10	13	3	27
Total general	40	61	12	113

Fuente: CITEC UBB

Materialidad	Línea base	Intervalo
Hormigón	9,0	7,2 - 10,8
Albañilería de ladrillo	11,8	10,9 - 13,4
Albañilería de ladrillo y estructura liviana	15,0	11,7 - 18,3
Madera	24,6	18,6 - 30,6
Otras modalidades	10,2	7,9 - 12,6

Fuente: Proyecto Fondef D101025

Finalmente, el valor de n₅₀ se determina como sigue:

$$n_{50} = \frac{(117,28 \times 15) + \{[(16 \times 13,54) + (6 \times 1,7)] \times (\frac{50}{100})^{0,667}\}}{157,8} = 12,05 \left(\frac{\text{Renovaciones de aire}}{\text{hr}} \right)$$



Unidad 2.4: Materiales y Sistemas Constructivos Eficientes

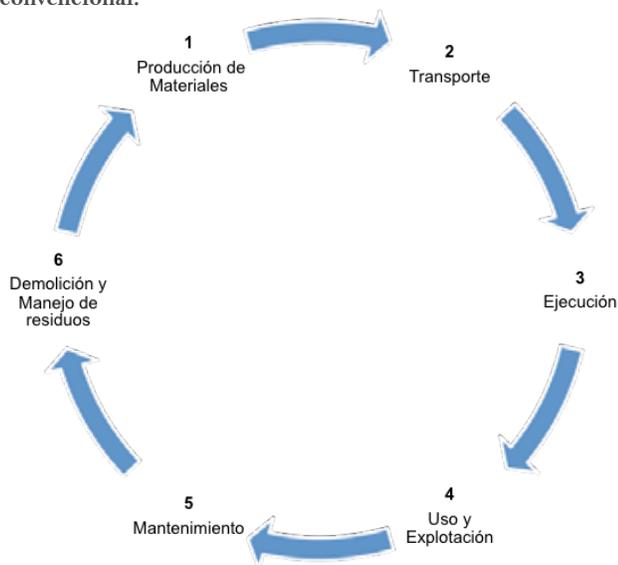
2.4.1. Análisis del ciclo de vida de un proyecto de construcción

2.4.1.1. Ciclo de vida de un proyecto de construcción

La industria de la construcción se caracteriza por poseer un modelo de producción basado en la conversión de recursos en residuos dispersos, que tiene como consecuencia el consumo del capital natural y un alto impacto ambiental.

Esto sugiere un desafío en materias de sustentabilidad, donde se pretende mantener la producción limitando el impacto ambiental generado, de manera de no comprometer el bienestar y la subsistencia de las generaciones futuras. Para responder a este desafío se debe partir por determinar el impacto ambiental generado por un proyecto de construcción, para ello es necesario estudiar la huella ecológica de este, es decir, los impactos que genera a lo largo de su ciclo de vida. A continuación se muestran los ítems básicos dentro del ciclo de vida de un proyecto de edificación convencional.

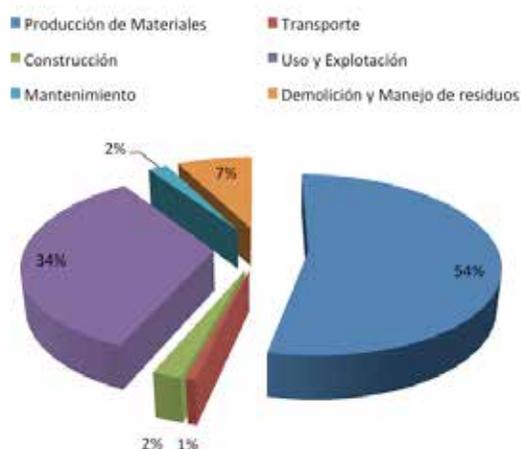
Figura 52: Ciclo de vida de un proyecto de edificación convencional.



Fuente: Elaboración Propia con base en bibliografía consultada.

Cada una de las etapas que forman parte de este ciclo de vida, impacta en mayor o menor grado dentro del proyecto. Al respecto se estiman la siguiente distribución de proporciones.

Figura 53: Impacto ambiental de un proyecto de edificación.



Fuente: Elaboración Propia con base en bibliografía consultada.

En la gráfica se observa que las etapas de mayor incidencia dentro del impacto ambiental global de un proyecto, corresponden a la producción de materiales (54%) y al uso y explotación del edificio (34%). Al mismo tiempo, la incidencia de cada etapa se desglosa en diferentes áreas de influencia, entre ellas se reconocen cuatro áreas fundamentales: Consumo energético, Emisiones de CO₂; Generación de Residuos; y Toxicidad.

Consumo energético

Aproximadamente el 67% del consumo de energía dentro de un proyecto de edificación está dado por el uso del edificio (considerando 50 años en promedio), mientras que el 26% se consume en la producción de materiales. Los demás ítems no presentan impacto significativo en este aspecto.

Emisiones de CO₂

Aproximadamente el 51,3% de las emisiones de CO₂ al ambiente se producen durante el uso del edificio (considerando 50 años promedio), mientras que el 38,6% de estas se generan durante la producción de materiales. Los demás ítems no presentan impacto significativo en este aspecto.

Generación de residuos

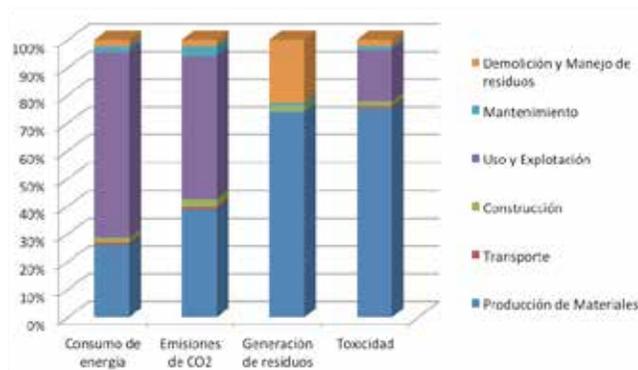
Aproximadamente el 74,1% de los residuos se generan durante la producción de materiales, mientras que un 22,7% se genera en la etapa de demolición. Los demás ítems no presentan impacto significativo en este aspecto.

Toxicidad

Las etapas que presentan mayores niveles de toxicidad corresponden, en primer lugar, a la producción de materiales con aproximadamente un 75,3% de incidencia, y en segundo lugar con un nivel casi cuatro veces menor, el uso y explotación del edificio con un 18,3%.

La situación expuesta justifica entonces la preocupación por intervenir dentro de estas dos etapas: la producción de materiales y el uso y explotación del edificio. En este sentido la correcta selección de materiales y sistemas constructivos resulta determinante, y constituyen áreas donde el gestor energético debe poner especial cuidado, con el objeto de cumplir una de sus tareas esenciales: Administrar eficientemente los recursos.

Figura 54: Desglose del impacto ambiental de un proyecto de edificación.



Fuente: Elaboración Propia con base en bibliografía consultada.

2.4.1.2. Rol del Gestor energético en la mitigación del impacto ambiental de un proyecto de construcción

Hoy en día existe un amplio debate e interés por incorporar el tema de la sustentabilidad dentro de los proyectos de construcción, entendiendo este como el factor común entre el bienestar social, la bonanza económica y el compromiso con el medio ambiente. El concepto aborda este compromiso con temáticas como eficiencia energética, ahorro hídrico, manejo de residuos, e interacción amigable con el medio ambiente en general.

A raíz de ello es que ha surgido una nueva categorización de proyectos, entre los que encontramos los proyectos denominados *sustentables* y aquellos denominados *net-zero*. En primer lugar los proyectos sustentables son proyectos viables desde el punto de vista económico, social y medio ambiental, en los que se ha puesto especial preocupación por su relación con el entorno, impacto medio ambiental y consumo energético. Un proyecto de este tipo, puede llegar a generar ahorro en el consumo de energía de una edificación de 30-40%.

Existen tres factores que determinan un proyecto sustentable: el porcentaje de energía que consume en comparación a un proyecto tradicional de similares características; su bajo consumo de agua, y la generación de energía in situ.

Por otra parte se encuentran los proyectos *net-zero*, los cuales consideran medidas que permitan alcanzar un consumo neto de energía durante la operación del edificio cercano a

cero, al igual que sus emisiones de CO2. Esto quiere decir que la energía generada es igual a la que se consume, dando lugar a un consumo neto cero.

Ambos tipos de proyectos implícitamente incorporan el concepto de eficiencia energética, y por lo tanto constituyen una referencia y entregan los lineamientos para el desarrollo de un proyecto energéticamente eficiente, principal propósito del gestor. A continuación, se entregan algunas consideraciones obtenidas a partir de estos proyectos referenciales extensivas al accionar del Gestor.

Tabla 38: Consideraciones que debe tener el gestor para el desarrollo de un proyecto energéticamente eficiente.

Posibilidad de incorporar la acción de energías renovables en la generación de energía para su consumo durante la operación del edificio.
Materialidad de la envolvente del edificio y los parámetros que influyen en su elección.
Aislación de la envolvente del edificio.
Sistemas de iluminación, climatización, riego, entre otros. Existencia de sistemas de automatización y control.
Eficiencia de equipos de clima y ventilación.
Artefactos sanitarios y griferías, su influencia en el consumo de agua.
Quebravistas y persianas, su influencia en el aprovechamiento de los recursos naturales como la luz solar.
Uso de artefactos y equipos eléctricos eficientes.

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

Al considerar estos lineamientos, el gestor tendrá un rol participativo en la mitigación del impacto ambiental de un proyecto de construcción, actuando dentro de las dos etapas de mayor incidencia: la producción de materiales, y el uso y explotación del edificio.

En primer lugar porque el tener especial cuidado en la selección de materiales eficientes, influye directamente en el impacto ambiental generado por la producción de estos. En este sentido, el gestor priorizará los procesos de reciclaje, reutilización y recuperación de materiales, así como optará por aquellos que provengan de procesos productivos de menor impacto y que sean más eficientes durante su uso.

Adicional a ello, el gestor se debe preocupar por la selección de artefactos, equipos, y sistemas constructivos eficientes, junto con la verificación de etiquetados y

certificaciones energéticas de los productos. De esta forma limitará el consumo energético del edificio durante su uso y explotación, influyendo directamente en el impacto ambiental generado dentro de esta etapa.

2.4.1.3. Conceptos relevantes

- a) *Análisis de ciclo de vida (LCA)*: Corresponde a una herramienta de diseño que estudia y evalúa el potencial impacto ambiental de un producto o servicio, a través del análisis de cada una de las etapas de su existencia. El procedimiento comprende la cuantificación del uso de recursos (entradas) y emisiones ambientales (salidas) asociados al sistema en cuestión.
- b) *Energía contenida*: Cantidad de energía necesaria para la fabricación y suministro de un producto o servicio, desde la extracción de materias primas hasta su desecho o eliminación.
- c) *CO₂ equivalente*: Unidad de medida de la huella de carbono. Corresponde a la cantidad de dióxido de carbono que, para una determinada cantidad de gases de efecto invernadero, tendría el mismo potencial de calentamiento global, medida sobre una escala de tiempo específico (100 años).
- d) *Huella de carbono*: Cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto. Se determina con el objeto de reducir y/o compensar tales emisiones a través de programas estratégicos.
- e) *Huella ecológica*: Indicador del impacto ambiental generado por la demanda humana que se hace de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, relacionándola con la capacidad ecológica de la Tierra de regenerar sus recursos.

2.4.2. Selección de materiales y sistemas constructivos con base en criterios de eficiencia energética

La rama de adquisición de insumos dentro de una empresa, resulta vital para el funcionamiento de esta. La adquisición de materiales, herramientas, equipos, maquinarias, sistemas, entre otros insumos, es determinante de la calidad del producto. En la medida que la elección de estos sea la correcta, el resultado del proyecto será más o menos satisfactorio.

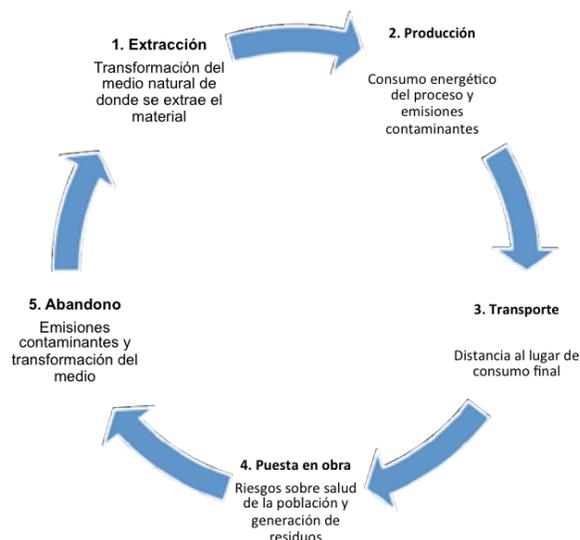
En vista del propósito de hacer un uso eficiente de la energía dentro del sector, lo principal que se debe considerar al adquirir cualquiera de estos productos, son las consecuencias que conlleva su uso, desde la contaminación que este significa hasta su demanda energética.

2.4.2.1. Selección eficiente de los materiales

Durante el desarrollo de un proyecto de construcción son múltiples los materiales que se deben utilizar. Cada uno de ellos impacta en mayor o menor grado en el desempeño energético del edificio, sin embargo en conjunto constituyen parte importante del consumo energético que pueda tener éste durante su operación y más aún del impacto ambiental derivado de su uso. Es por ello importante realizar una selección eficiente de los materiales, más aún cuando se pretende desarrollar un proyecto bajo criterios de eficiencia energética.

Una selección eficiente de los materiales debe evaluar todas las variables que influyen en el ciclo de vida de estos, desde su extracción hasta su abandono.

Figura 55: Ciclo de vida de un material



Fuente: Elaboración Propia con base en bibliografía consultada.

Una forma de seleccionar los materiales de manera eficiente, es realizar un análisis comparativo en función de la energía contenida en cada uno de ellos. Los profesores Geoff Hammond y Craig Jones de la Universidad de Bath, Inglaterra, en el documento "Inventory of carbon & energy (ICE) Version 2.0" de Enero de 2011, han realizado las siguientes estimaciones de la energía contenida en materiales comunes utilizados en construcción, a través de la evaluación desde la fase de extracción de recursos a la puerta de la fábrica, es decir, antes de su transporte hasta el consumidor, no incorporando la fase de uso ni de demolición.

Tabla 39: Energía contenida en materiales de construcción.

Indicador		EE embodied energy (MJ/Kg)	Ec embodied carbon (KgCO2/kg)	CO2 equivalente (KgCO2 e/kg)
Cerámica	General	10	0,65	0,7
	Azulejos	12	0,74	0,78
Vidrio		15	0,85	0,91
Áridos		0,083	0,0048	0,0052
Ladrillo	Para revestir	3	0,22	0,24
	Cara a la vista	8,2	0,52	0,55
Piedra	Granito	11	0,64	0,7
	Mármol	2	0,112	0,13
Mortero (cem:arena)	1:03	1,33	0,2	0,22
	1:06	0,85	0,127	0,136
Mortero (cem:cal:arena)	1:01:06	1,11	0,163	0,174
	1:02:09	1,03	0,145	0,155
Cemento	CEM I	5,50	0,93	0,95
	50% Clinker	3,5	0,42	0,45
Yeso		1,8	0,12	0,13
Cal		5,3	0,76	0,78
Acero	Virgen	35,3	2,75	2,89
	Reciclado	9,5	0,43	0,47
Aluminio	Virgen	218	11,46	12,79
	33% Reciclado	34	1,98	2,12
Aislantes	Lana de Roca	16,8	1,05	1,12
	Fibra de Vidrio	28	1,35	-
	Poliestireno	88,6	2,5	3,29
	Poliuretano	101,5	3,48	4,26

Fuente: Hammond. G; Jones. C. (2011). Inventory of carbon & energy (ICE) version 2.0. Recuperado de <http://www.eoi.es/>

Adicional a la energía contenida, existen otros factores importantes a considerar. Estos serán determinantes en mayor o menor grado dependiendo de la naturaleza y características del material a elegir, y de los requerimientos propios del proyecto a desarrollar.

Tabla 40: Factores incidentes en el impacto energético y medioambiental de los materiales.

Procedencia del material
Grado de contaminación generada a partir de su fabricación, transporte, uso y vida útil
Consumo energético durante la operación del edificio
Durabilidad
Potenciales ahorros generados a partir de su uso
Necesidad de mantenimiento
Posibilidad de reutilizarse, reciclarse, o recuperarse

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

Teniendo en cuenta estos factores, es posible realizar un análisis de los materiales más comunes utilizados en los diferentes proyectos de construcción, y en función de ellos, entregar los lineamientos para una selección eficiente.

Aislantes

Los aislantes de mayor impacto energético utilizados en construcción corresponden a las espumas proyectadas o en forma de panel. Estos agentes espumantes emiten a la atmósfera gases responsables del calentamiento global tales como el HCFC y el HFC.

Actualmente se dispone en el mercado de aislantes de bajo impacto energético, tales como aquellos elaborados a partir de fibras minerales (fibra de vidrio o roca), el vidrio celular, y otros procedentes de fuentes renovables (corcho, cáñamo, celulosa)



Materiales Pétreos

El impacto energético de estos materiales se basa principalmente en su extracción y transporte, por lo cual se sugiere el uso de fuentes de extracción locales o lo más cercanas al lugar de trabajo.

Una de sus ventajas más significativas es que poseen una alta durabilidad, reduciendo de esta forma su consumo energético dado que se prescinde de la necesidad de ser reemplazados y generar nuevas fuentes de consumo.

Realizando una mirada más allá de la eficiencia energética, si ahondamos en el tema de sustentabilidad, los materiales pétreos son responsables del colapso de vertederos y significan gran parte de los residuos en construcción, bajo lo cual actualmente surge la iniciativa de comercializar áridos reciclados para su uso en rellenos y fabricación de morteros y hormigones, aprovechando de esta forma su alta durabilidad.



Materiales Metálicos

Los metales de mayor uso en construcción corresponden al acero y el aluminio. El impacto de este tipo de materiales está dado principalmente por las etapas de transformación y los tratamientos de acabado y protección, dado por el elevado consumo energético de estos procesos junto con la emisión de gases contaminantes producto de ello. Además son materiales de un elevado valor comercial.



Materiales Plásticos

Su impacto energético es similar al caso de los metales, puesto que se genera principalmente en los procesos de fabricación dado por el alto consumo de energía y la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Como ventajas el plástico constituye un material de alta resistencia, estabilidad y ligereza. Actualmente ha sustituido a metales como el cobre y plomo en la materialización de instalaciones, dado por su menor impacto ambiental.



Maderas

Corresponde a uno de los materiales de menor impacto energético. Sin embargo para su uso en construcción debe ser sometido a procesos de transformación y a tratamientos de preservación frente a humedad, hongos, e insectos, los cuales generalmente son dañinos para el medio ambiente por la naturaleza de los productos empleados para ello. En este sentido, hoy se dispone en el mercado soluciones elaboradas a partir de resinas vegetales de bajo impacto.

Una de las ventajas de la madera es que puede ser recuperada y/o reciclada una vez que ha cumplido con su vida útil, ya sea para la fabricación de tableros aglomerados o su uso como biomasa. Es recomendable además, en el caso de utilizar este material, optar por fuentes de extracción locales, para reducir el impacto dado por los procesos de transporte, considerando que Chile es un país maderero.



Pinturas

Las pinturas constituyen una mezcla elaborada a partir de pigmentos, resinas, disolvente y aditivos. Cada uno de estos componentes es responsable del impacto energético del producto. Actualmente se dispone en el mercado de productos elaborados a partir de componentes naturales, conocidas como pinturas ecológicas, las cuales reduce en gran parte el impacto energético producto de su uso, algunas de ellas poseen etiquetado ecológico para su diferenciación. Se sugiere el uso de pinturas que usen como disolvente agua.

Respecto a pinturas utilizadas para el tratamiento de maderas, se sugieren aquellas que contengan aceites y resinas naturales, mientras que en el caso de tratamiento de metales, se sugiere el uso de pinturas ecológicas elaboradas a partir de materiales naturales.

Otro producto disponible en el mercado, corresponde a pinturas que mejoran el rendimiento energético de la edificación donde son utilizadas. Este tipo de pinturas dan lugar a un material aislante que actúa como barrera al paso de calor de la superficie donde es aplicada. Su funcionamiento se basa en el intercambio de energía entre factores climáticos tales como radiación solar, frío, viento, y los elementos componentes de la envolvente del edificio, mejorando la eficiencia energética de la edificación hasta en un 30%.



Materiales Estructurales: Hormigón

El hormigón es un material compuesto de amplio uso en edificación, es un material versátil caracterizado por su resistencia, protección frente al fuego, aislamiento acústico y por su inercia térmica. Esta última propiedad se refiere a cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que este lo cede o absorbe.

En este sentido el hormigón posee una elevada masa térmica lo cual deriva en una mayor estabilidad e inercia térmica. Esta característica le permite ahorrar energía y generar un mejor ambiente al interior del edificio, dado por los siguientes efectos:

- Permite un mejor aprovechamiento de la energía solar, reduciendo los gastos en calefacción entre un 2 y 15%
- Regula las variaciones de temperatura al interior del edificio
- Reduce las temperaturas extremas
- Combinado con ventilación nocturna, evita necesidad de enfriamiento durante el día
- Combinado con sistemas de climatización puede reducir el consumo energético hasta en un 50%
- Las reducciones en el consumo energético derivan en reducción de las emisiones de gases contaminantes dado por los sistemas de calefacción y refrigeración.



2.4.2.2 Selección eficiente de sistemas constructivos

De la misma forma que se deben evaluar ciertos factores al momento de seleccionar materiales dentro de un proyecto de construcción, esto con el objeto de reducir su consumo energético y mejorar la eficiencia del producto, es importante evaluar los procesos de diseño y construcción dentro de la obra bajo la misma lógica. A continuación se señalan algunas recomendaciones al respecto.

Tabla 41: Recomendaciones respecto a la eficiencia de sistemas constructivos

Es recomendable optar por elementos y procesos constructivos industrializados y estandarizados, esto con el fin de optimizar los gastos de producción, mejorar la calidad de los productos y dar pie a su posterior recuperación, reutilización o reciclaje.
Es importante preferir sistemas de faena seca, dado que es más simple desmontar sus componentes y utilizarlos en otras partidas u obras donde sean requeridos. Además generan una menor cantidad de residuos.
Es importante considerar los factores de durabilidad y vida útil del producto al momento de realizar la selección.
Es recomendable utilizar elementos de fácil manipulación y transporte, que no necesiten de mantenciones complejas y especializadas. La realización de controles periódicos permitirá evitar fallas y extender la duración del sistema.
Las instalaciones deben garantizar la accesibilidad para reparaciones, mantenciones y desmontaje de elementos.
La edificación debe garantizar su funcionamiento durante toda su vida útil, sin necesidad de constantes retoques y reparaciones, más allá de lo previsto por proyecto.

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

A continuación se realiza un análisis de los factores que inciden en la correcta selección de un sistema constructivo, para algunas partidas específicas.

Fundaciones

El material de uso más frecuente en los cimientos del edificio es el hormigón. En el caso del hormigonado de los cimientos se utilizan como moldajes las mismas zanjas que son cavadas para su relleno, esta situación da lugar al contacto directo del hormigón básico con la composición química del terreno donde se está trabajando, lo cual puede afectar en cierta medida la durabilidad de la solución. Es importante en este sentido tener especial cuidado en la

dosificación de la mezcla y la calidad de esta. Evitar la presencia de nivel freático y proteger al hormigón de agentes contaminantes externos. Para mejorar el impacto energético del sistema, es recomendable mezclar hormigón en masa con áridos reciclados, cuando se disponga de ellos.

Instalaciones sanitarias

Los incidentes más comunes de contaminación en edificios son producidos por filtraciones y fallos en las instalaciones sanitarias. Es este sentido es importante priorizar la calidad del sistema, de manera de reducir las pérdidas al mínimo, y la programación y realización de mantenciones periódicas de los sistemas, de manera de detectar a tiempo posibles fugas y fallas, y actuar en lo posible de manera preventiva.

Aislamiento

Es uno de los factores de mayor incidencia en el consumo energético del edificio, dado que la calidad de este derivará en mayor o menor consumo en acondicionamiento del espacio interior mediante el uso de sistemas de climatización.

Para lograr que el sistema posea la inercia térmica necesaria de manera tal que los rayos solares pasen por los vidrios, se contenga el calor en los muros y este posteriormente vuelva a transmitirse hacia el exterior, es recomendable dejar que los elementos de mayor masa térmica conformen la hoja interior y disponer el aislante térmico en la cara externa del elemento, de manera de evitar la transmisión de energía.

Se recomienda el uso de materiales aislantes naturales (lana mineral, fibra de vidrio o roca), y en el caso de aislantes plásticos aquellos que hacen uso de aire, como el poliestireno expandido.

Cubiertas

La cubierta de una edificación está compuesta por un soporte estructural sobre el que se dispone una serie de capas en contacto (impermeabilización, aislamiento y recubrimiento), esta permite evitar el paso de las aguas lluvias junto con limitar la transferencia de energía con el exterior.

Actualmente estas funciones se han visto fuertemente potenciadas por diversos sistemas constructivos que perfeccionan una o más propiedades específicas, logrando con ello una mayor eficiencia del sistema. Ejemplo de ello es el aislamiento termorefectante de cubiertas, solución que entrega una cubierta de alta



reflectancia solar (capacidad para reflejar la radiación solar, reduciendo de esta forma la transferencia de calor hacia el interior del edificio) y de alta emitancia térmica (capacidad de liberar el calor absorbido). De esta forma este tipo de cubierta controla la radiación solar que impacta sobre ella.

Además se dispone de soluciones que permiten mejorar el comportamiento ambiental de los elementos de cubierta, tales como las cubiertas ecológicas y las multifuncionales, así como otras que apuntan directamente a mejorar la eficiencia energética del edificio. A modo de ejemplo se encuentra el tejado solar, que aprovecha la radiación solar incidente para ser utilizada en los sistemas de climatización.

Impermeabilización

El material a utilizar depende de la partida que se esté trabajando. De esta forma para fundaciones se recomienda el uso de bentonita y para cubiertas láminas de polipropileno o caucho. El uso de láminas de PVC es amplio, sin embargo, posee un alto impacto energético.

Revestimiento exterior

Se recomienda el uso de soluciones como la madera, proveniente de las cercanías y tratada con productos naturales. Otra alternativa es el uso de ladrillo a cara vista para ahorrar en material de revestimiento exterior.

Además se sugiere sustituir el uso de mortero de cemento, ampliamente utilizado, por mortero de cal dado que posee un mejor comportamiento ambiental e higr-térmico.

En la actualidad se dispone en el mercado de sistemas de revestimiento exterior que incorporan aislamiento térmico, contribuyendo de esta forma al acondicionamiento térmico del edificio. Ejemplo de ello es el sistemas EIFS (Exterior Insulation Finish Systems) el cual se constituye de placas de poliestireno expandido de alta densidad que generan una barrera entre el clima exterior y el interior de la edificación revestida con ella, puesto que corta los puentes térmicos (conexión) entre los elementos del muro y el exterior.

Sistemas de protección solar

Es importante proteger la edificación de la radiación solar en ciertas épocas del año, para ello se recomienda el uso de sistemas automatizados de persianas y quebravistas, con control de apertura y cierre.

En la actualidad se dispone de sistemas de ventanas inteligentes que controlan la incidencia de la radiación solar en beneficio del acondicionamiento térmico del edificio, tales como *GlassX* y *Raven Window*, descritos más adelante.

Carpintería

Se recomienda ante el uso de PVC o aluminio en la carpintería exterior, optar por soluciones más ecológicas como la madera, de origen local y tratada con resinas vegetales.

Acristalamientos

Deben cumplir dos funciones de manera eficiente: limitar las pérdidas térmicas y permitir el aprovechamiento de la radiación y luz solar. En este sentido actualmente existen en el mercado vidrios que evitan las pérdidas de calor, que poseen un sistema inteligente de aprovechamiento de la energía solar, y algunos que proporcionan una aislación térmica y acústica óptima.

Divisiones interiores

Se recomienda el uso de paneles prefabricados con uniones en seco, por sus características modulares que permiten desmontar fácilmente los elementos si es necesario, la mayor accesibilidad a instalaciones internas para ser inspeccionadas, además permite modificación de los espacios y al ser una faena seca hay una mayor rapidez en el montaje. Se sugiere el uso tabiques de madera, con placas de yeso-cartón y lana mineral.

Pavimentos

Se sugiere el uso de madera y/o materiales pétreos cercanos al lugar de trabajo, siempre y cuando sea factible. En el caso de utilizar tratamientos de material y/o barnices, emplear aquellos que sean con base en productos naturales.

2.4.2.3. Consideraciones finales

Finalmente y a modo de resumen, algunas consideraciones que debe tener el Gestor energético respecto a la selección de materiales y sistemas constructivos dentro de un proyecto energéticamente eficiente, son:

Tabla 42: Recomendaciones respecto a la selección de materiales y sistemas constructivos.

Recomendaciones al Gestor Energético respecto a la selección de materiales y sistemas constructivos	
Materiales	Preferir materiales regionales, renovables y/o con contenido reciclado
	Evaluar el contenido energético de los materiales (energía contenida)
	Evaluar consumo energético de los materiales durante su uso
	Optar por aquellos que posean una mayor durabilidad
	Evaluar su potencial de reciclaje, reutilización o recuperación
Sistemas constructivos	Uso de sistemas de acondicionamiento solar pasivo (solución constructiva de muros y/o ventanas)
	Diseño integrado de iluminación natural y artificial
	Uso de paneles solares y colectores solares de agua caliente
	Envoltentes de baja transmitancia térmica
	Quebravistas y persianas con control automático de apertura y cierre
	Automatización y control de iluminación
	Uso de artefactos eficientes (ampolletas por ejemplo)
	Evaluar rendimiento de artefactos, equipos y sistemas
Evaluar la accesibilidad de la solución a futuras mantenciones y reparaciones	
Priorizar sistemas de faena seca y procesos industrializados	

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

2.4.3. Alternativas eficientes en el mercado

2.4.3.1. Etiquetado y certificación de materiales

Actualmente existe en el mercado una amplia gama de productos energéticamente eficientes, la oferta va desde ampolletas con mayor durabilidad y ahorro de energía hasta equipos con etiquetado energético. La clave está en saber elegir el producto, puesto que a pesar que comúnmente los productos energéticamente eficientes poseen un precio más elevado en comparación a alternativas convencionales, a largo plazo pueden significar un ahorro que compense la inversión, y más aún, reduzca los gastos de manera considerable.

Una manera de reconocer estos productos es mediante el etiquetado energético. Actualmente son muchos los países que utilizan el etiquetado energético de los productos como mecanismo de protección de sus economías, permitiendo la libre circulación de estos dentro de las naciones y limitando aquellos de alto consumo energético. En Chile se encuentran presente en la actualidad dos tipos de etiquetas: Aquellas de carácter comparativo y Aquellas de carácter distintivo.

Etiquetas Comparativas

Este tipo de etiqueta utiliza para la calificación de los productos una escala comparativa de una característica en particular a evaluar. La etiqueta energética comparativa utilizada en Chile, se basa en la escala europea de calificación, la cual hace una diferenciación en 7 niveles, que van desde la letra A para aquellos productos más eficientes, hasta la letra G para aquellos con menor grado de eficiencia. Esta se encuentra presente en refrigeradores y ampolletas.

Este tipo de etiquetas permite realizar un paralelo entre productos al momento de realizar una compra, evaluando además de los factores económicos y funcionales, el factor energético. Conociendo el grado de eficiencia de un producto al momento de realizar una compra, es posible determinar el ahorro energético que significará su uso en el largo plazo, de manera que la compra no esté sesgada por los precios y marcas.

Figura 56: Etiquetado energético de productos



Fuente: Recuperado de <http://quenergia.com/>

Etiquetas Distintivas

Este tipo de etiqueta se utiliza para diferenciar aquellos productos energéticamente eficientes en el mercado. A diferencia de las etiquetas comparativas, estas no establecen un paralelo entre productos, sino que destacan a aquellos que se han reconocido como eficientes, con base en las siguientes características:

- Poseen una baja potencia de operación.
- Poseen un modo de hibernación (inactividad) que se inicia de manera automática tras cierto período de inactividad.
- Poseen un bajo consumo cuando se encuentran apagados y conectados a la energía eléctrica.

En Chile se utiliza como etiquetado distintivo el sello "Energy Star", creado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EEUU, presente generalmente en productos de oficina como computadores, monitores, e impresoras.

Figura 57: Logotipo "Energy Star".



Fuente: Recuperado de <http://www.energystar.gov/>

Otro tipo de etiquetas son las llamadas *etiquetas ecológicas*, las cuales certifican aquellos productos que son respetuosos con el medio ambiente. Este tipo de productos debe cumplir ciertos requerimientos ambientales, basados en estudios científicos y análisis del ciclo de vida. La producción de materias primas, el consumo de agua y de energía, la contaminación del agua y emisión de gases a la atmósfera, la generación de residuos, entre otros factores, se contemplan en la evaluación del producto para optar a este etiquetado.

Ejemplos de este tipo de certificación corresponden a: El “Distintivo de garantía de calidad ambiental” y la “Etiqueta ecológica de la Unión Europea”.

Figura 58: Distintivo de garantía de calidad ambiental.



Fuente: Recuperado de <http://www.ecomarc.es/>

Figura 59: Etiqueta ecológica de la Unión Europea.



Fuente: Recuperado de <http://www.magrama.gob.es/>

2.4.3.2. Certificación energética de viviendas en Chile

El “Sistema de Calificación Energética de Viviendas” surge como iniciativa del Ministerio de Vivienda y Urbanismo en conjunto con el Ministerio de Energía con el objeto de promover la eficiencia energética a través de la disposición al cliente de información objetiva respecto a las características energéticas de la vivienda.

Los estudios respecto al tema comienzan el año 2008, donde se crea esta herramienta de certificación, la metodología y los procedimientos asociados, para luego en 2009 aplicar la certificación piloto y realizar los ajustes pertinentes, previo a su aplicación a nivel nacional.

El mecanismo consiste en entregar a la vivienda una calificación energética determinada a partir de parámetros objetivos de evaluación, señalando de esta forma el grado de eficiencia dentro de una escala comparativa de valores que van desde la letra A (más eficiente) a la letra G (menos eficiente), equivalente a la escala utilizada en la calificación energética de productos descrita anteriormente.

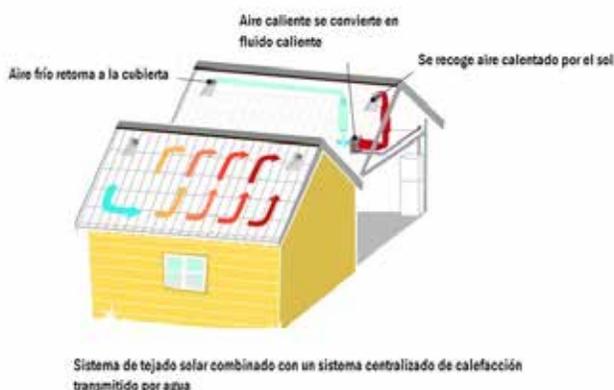
Los aspectos que se evalúan para calificar energéticamente la vivienda corresponden a:

- Requerimientos energéticos de calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación respecto a una referencia.
- Elementos constructivos que conforman la envolvente de la vivienda.
- Equipos y sistemas de calefacción.
- Incorporación del uso de energías renovables.

La instalación del sistema no difiere de soluciones tradicionales, tanto en su peso como en necesidad de mano de obra especializada. Entre sus ventajas se encuentra la resistencia del vidrio a la radiación solar, lo cual entrega una mayor vida útil al sistema, en comparación a soluciones tradicionales. En el caso de precipitaciones de nieve, estas no se acumulan en la cubierta ya que se deslizan a través del vidrio liso y se derriten debido a la captura de aire caliente. A diferencia de los paneles solares convencionales, esta solución constituye la materialización de un tejado solar, lo cual le entrega una terminación mucho más estética y adaptable a la estructura.

Finalmente en términos energéticos, el sistema genera entre 300 y 500 kWh año por metro cuadrado. Se recomienda para conseguir resultados satisfactorios un ángulo de tejado superior a los 20°, una superficie de instalación superior a los 20 metros cuadrados, y la orientación de las tejas hacia el Norte.

Figura 62: Sistema “SolTech Energy”.



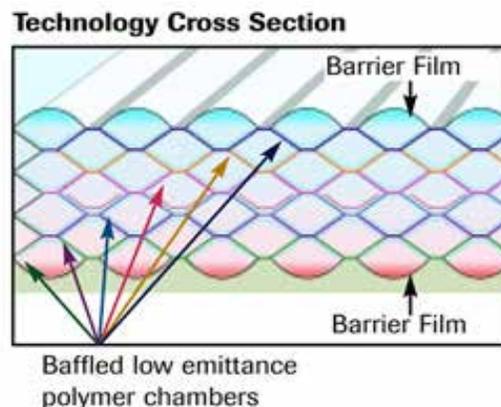
Fuente: Recuperado de <http://www.homedesignfind.com/>

Aislante GFP

Corresponde a un material aislante compuesto por varias capas dispuestas en forma de panel, con aluminio y cámaras de aire o gas de baja conductividad, selladas por un polímero. Es utilizado tanto para el aislamiento térmico como acústico de edificios, industrias y otros recintos.

A través de ensayos de carácter térmico y acústico, se ha llegado a verificar el mejor rendimiento de este tipo de aislantes en comparación a soluciones tradicionales. Entre otras ventajas es adaptable a variados sistemas constructivos puesto que se encuentra disponible en distintas dimensiones (espesor y longitud); es resistente a la humedad, y es amigable con el medio ambiente.

Figura 63: Aislante GFP.



Fuente: Recuperado de <http://www.gfpinsulation.com/>

Raven Window - Ventanas inteligentes

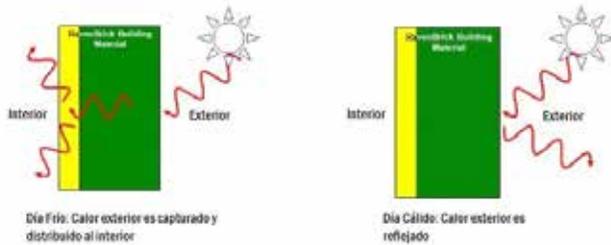
Corresponde a un sistema de ventanas inteligentes que permite reducir el consumo de energía y electricidad en edificios, aumentando la eficiencia energética hasta en un 40%. La tecnología se basa en filtros termo-reflectivos dispuestos al interior de la ventana, la cual se ensambla por capas, dando lugar a un sistema inteligente que cambia automáticamente para reducir o aumentar la cantidad de luz solar que pasa a través de ella de acuerdo a las variaciones de temperatura exterior.

Los filtros termo-reflectivos están elaborados a partir de un nanomaterial sensible a las variaciones de temperatura, de esta forma, el sistema bloquea la luz solar y el calor exterior ante altas temperaturas (lo cual es útil en época de verano) mientras que ante bajas temperatura cambia automáticamente a un color neutral-transparente que permite el ingreso de la luz solar y calor exterior (útil en época de invierno).

De esta forma se reduce la necesidad de sistemas adicionales de climatización, generándose un mecanismo de acondicionamiento pasivo que prescinde de la necesidad de energía eléctrica, cableado y control para su funcionamiento. Su uso permite un mayor aprovechamiento y control de la luz solar y el calor exterior.

La compañía estima que el precio de venta de este tipo de ventanas será de unos \$12.000 por pie cuadrado (30x30 cm aproximadamente), y se espera que el retorno de la inversión traducido en ahorros en climatización se alcanzará entre 5 a 8 años.

Figura 64: Sistema “Raven Window”



Fuente: Recuperado de <http://www.medioambiente.org/>

Unidad 2.5. Apoyo tecnológico y certificaciones

La presente unidad se refiere a las diferentes herramientas de apoyo tecnológico al diseño y ejecución de un proyecto energéticamente eficiente, que permiten realizar desde la simulación del proyecto en instancias preliminares hasta la verificación de su comportamiento durante la ejecución y posterior operación. Además se abordan las certificaciones existentes hoy en el país, asociadas al desarrollo y fomento de edificaciones sostenibles y/o eficientes.

La importancia del uso de estas herramientas recae en poder analizar el comportamiento energético del edificio desde su diseño, de manera de evaluar diferentes alternativas de mejora y eficiencia energética, diseñar soluciones arquitectónicas óptimas y una vez incorporadas poder verificar que se cumplan los objetivos esperados.

Por su parte las herramientas de certificación permiten fomentar la incorporación de eficiencia energética en el desarrollo de proyectos de construcción, establecer estándares de calidad respecto a ello y garantizar la eficiencia y/o sostenibilidad del producto, de manera de mejorar la calidad de vida de las personas y la interacción de estas con el medio ambiente.

2.5.1. Herramientas de simulación

Building Performance Simulation Software (BPS)

Actualmente existen diversos programas computacionales que permitan simular el comportamiento energético del edificio durante su operación con base en supuestos definidos en la etapa de diseño. A partir de estos es posible realizar simulaciones computarizadas de diferente tipo:

- Simulación Térmica: Estos programas permiten evaluar el comportamiento del edificio y validar a partir de éste estrategias que permiten alcanzar los objetivos de eficiencia propuestos: cuantificar repercusiones energéticas de soluciones de diseño, comparar estrategias y soluciones de climatización, estudiar las condiciones de confort al interior del edificio, verificar dimensionamiento de equipos y determinar requerimientos energéticos de calefacción y refrigeración.
- Simulación de Iluminación Natural: Estos programas permiten evaluar la calidad y cantidad de luz natural al interior de los recintos, cuantificando repercusiones energéticas de diferentes soluciones de diseño. De esta manera es posible definir estrategias que permitan maximizar la cantidad de luz de día, controlar el deslumbramiento y manejar las ganancias solares
- Análisis de Dinámica de Fluidos: Estos programas permiten calcular temperatura, velocidad y otras propiedades de los fluidos, además de analizar su comportamiento respecto a la ventilación natural de los recintos, estratificación del aire interior y confort del usuario.
- Simulación de Ventilación Natural: Estos programas permiten estudiar la física de la ventilación natural al interior de los recintos a través de simulaciones en las etapas tempranas de diseño. De esta forma es posible maximizar el confort del usuario y limitar el consumo energético del edificio.
- Simulación de Encandilamiento: Estos programas permiten predecir el nivel de encandilamiento (contraste lumínico excesivo) al interior de los recintos en determinadas horas y días del año. De esta forma es posible optimizar la distribución de los espacios, tamaño y tipos de ventanas, tipos de protecciones solares, entre otros factores arquitectónicos determinantes de la intensidad, color y dirección de la luz interior.

La siguiente tabla resume la información de entrada y la información de salida que puede obtenerse de las diferentes herramientas de simulación

La oferta de este tipo de herramientas hoy es amplia, aproximadamente coexisten unos 300 programas con diversas funciones. En la siguiente tabla se resumen algunos de ellos con sus principales características.

Tabla 43: Información de entrada y de salida.

Tipo de simulación	Datos de entrada	Datos de salida o resultados
Térmica	Geometría del edificio. Materialidad de muros, techumbres, pisos. Cargas de ocupación (número de personas por recinto, número de equipos electrónicos, cargas de iluminación, otros) Condiciones de ventilación (caudales en l/s*persona, l/seg*m2, ACH o RAH {renovaciones del volumen de aire por hora})	Cálculo de demandas de calefacción y refrigeración mediante el cálculo de consumos. Estimación del impacto solar y proyección de sombras. Análisis del comportamiento térmico de fachadas, vidrio, etc. Análisis de condiciones térmicas en zona interior. Estimación de temperaturas, humedades relativas, cargas térmicas, sensibles y latentes.
Iluminación Natural	Geometría del edificio Distribución de zonas Reflectancia de las superficies Transmisión de luz visible del acristalamiento Elementos externos e internos de obstrucción solar y de redirección de luz	Mapas de contorno de iluminancia para mostrar la disponibilidad de luz diurna en planos de corte. Tablas de resultados de factores promedio y uniformidad de luz diurna Generación de tablas de resultados de factores promedio y uniformidad de luz diurna.
Dinámica de Fluidos	Condiciones de calor, ventilación y aire acondicionado. Calendarios de cambio de temperatura, ventilación, clima, etc. Geometría del edificio Distribución de zonas	Modelos de flujo de aire. Modelos de transferencia de calor. Distribución de contaminación. Índices de confort.
Ventilación Natural	Condiciones de ventilación (caudales en l/s*persona, l/seg*m2, ACH o RAH {renovaciones del volumen de aire por hora}) Geometría del edificio Distribución de zonas	Dimensionado de sistemas de climatización y ventilación. cálculos de ventilación natural por infiltraciones y por cantidades de renovaciones hora (ac/h)

Fuente: Elaboración propia, complementado con http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=270/pagename=alpha_list_sub

Tabla 44: Algunos Programas de Simulación Energética.

Clasificación	Software	Descripción
Limitación de la Demanda Energética	ARKILIDER	Programa que funciona totalmente integrado dentro del programa AutoCAD® y que permite verificar la exigencia de limitación de demanda energética (DB-HE1), establecida en el "Documento Básico de Habitabilidad y Energía del Código Técnico de la Edificación". (España).
	CYPE-CTE	Programa concebido para verificar el cumplimiento de la Exigencia básica HE 1 (Limitación de demanda energética del CTE), mediante la opción simplificada o mediante la opción general. (España).
	LIDER	Programa informático promovido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y por el Ministerio de Vivienda, que permite verificar las exigencias del Documento Básico DB-HE1: Limitación de la Demanda Energética. (España).
	vpLIDERCAD	Programa que pasa la definición geométrica constructiva de AUTOCAD® a LIDER. (España).
Simulación Térmica e Iluminación	CALENER	Programa informático promovido por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE, y por el Ministerio de Vivienda, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio. El Programa consta de dos herramientas informáticas para una utilización más fácil por el usuario. CALENER VYP y CALENER GT. (España).
	DESIGN BUILDER	Software especializado en el análisis térmico, lumínico y energético de edificios. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar parámetros de desempeño relacionados con los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de CO ₂ . (U.K.).
	ECOTECH	Es un paquete de software con un acercamiento único al diseño conceptual del edificio. Junta un interfaz intuitivo del diseño 3-D con un sistema comprensivo de funciones del análisis de funcionamiento y de exhibiciones interactivas de la información. (USA).
	ENERGY PLUS	Programa de simulación energética de calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y otros flujos energéticos en edificios. Está basado en la características y capacidades más populares de BLAST and DOE-2, incluye capacidades de simulación muy innovadoras tales como pasos de simulación inferiores a una hora, sistemas modulares y plantas integradas con balance basados en zonas, flujos de aire multizona, confort térmico y sistemas fotovoltaicos. (USA).
	HAP	Programa para el cálculo de demandas de calefacción y refrigeración mediante el cálculo de consumos. Dimensionado de sistemas de climatización y ventilación. Estimación del coste y consumo energético del edificio. (USA).
	HvacCad 2006	Incluye un nuevo módulo "CTE", el cual permite cumplir con las exigencias establecidas en el DB-HE. El más avanzado instrumento para la proyección termo-técnica e hidráulica compatible con AutoCAD®. (España).
	TAS	Programa para el estudio del comportamiento térmico estacional del edificio. Estimación del impacto solar y proyección de sombras. Análisis del comportamiento térmico de fachadas, vidrio, etc. Análisis de condiciones térmicas en zona interior. Estimación de temperaturas, humedades relativas, cargas térmicas, sensibles y latentes. (Reino Unido).
	TRNSYS	Programa de simulación energética, calculo de cargas, consumo del edificio, energías renovables y tecnologías emergentes. (USA).
	TRNSYlite	Versión reducida del TRNSYS para edificios simples de una sola zona. (USA).
	visualDOE	Programa para la simulación energética, eficiencia energética, consume del edificio, diseño, investigación, edificios residenciales y comerciales, HVAC, DOE-2. (USA).

Dinámica de Fluidos	CFX	Programa de análisis dinámico de fluidos. (USA).
	COMIS	Programa para el estudio de flujos de aire multizona y movimiento de contaminantes. (USA).
	FLOVENT	Programa para estudio del comportamiento térmico y dinámico en instantes críticos del año. Análisis de la evolución de la contaminación y propagación de humos. Distribución de temperaturas y velocidades del aire y parámetros de confort. Diagrama de presiones en las fachadas del edificio. Transporte de contaminantes y estudio del comportamiento del humo en caso de incendio. (USA).
	FLUENT	Programa de predicción de la distribución de velocidades, presiones y temperaturas del flujo en el interior de un edificio para casos de ventilación (natural y forzada), calefacción, refrigeración, aire acondicionado y radiación solar. (USA).
	TRNFLOW	Programa para el estudio de modelos térmicos y de circulación de aire en edificios. Integración de los software TRNSYS y COMIS. (USA).
General	IES	Entorno virtual único, integrado para el estudio del comportamiento del edificio con una alta productividad en cada aspecto del diseño del edificio. Funciona desde un solo modelo del edificio, reuniendo todos los elementos del diseño que usted necesita en un sistema unificado. (U.K.).

Fuente: Recuperado de <http://www.ibpsa.es/Software/tabid/59/Default.aspx>

En Chile los programas de simulación energética de edificios más utilizados son:

- Design Builder
- TAS
- ECOTECT
- IES

Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling (BIM) o “Modelado de Información para la Edificación” es un método de diseño integrado que permite intercambiar información de manera eficiente entre los diferentes profesionales que intervienen en un proyecto de construcción.

El proceso consiste en la generación y gestión de información del proyecto durante el ciclo de vida de este, a través de programas computacionales de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real. De esta forma es posible optimizar el uso de recursos tanto en el diseño como en la construcción, junto con mejorar la productividad y calidad del proyecto.

Los programas computacionales utilizados contemplan desde modelar la geometría y relaciones espaciales del edificio hasta la incorporación de información geográfica del lugar de emplazamiento y características particulares de sus componentes.

Actualmente coexisten diferentes programas de modelación en tres dimensiones alineados a los objetivos de BIM, cada uno de ellos posee diferentes características y formatos asociados. En la siguiente tabla se mencionan algunos de ellos.

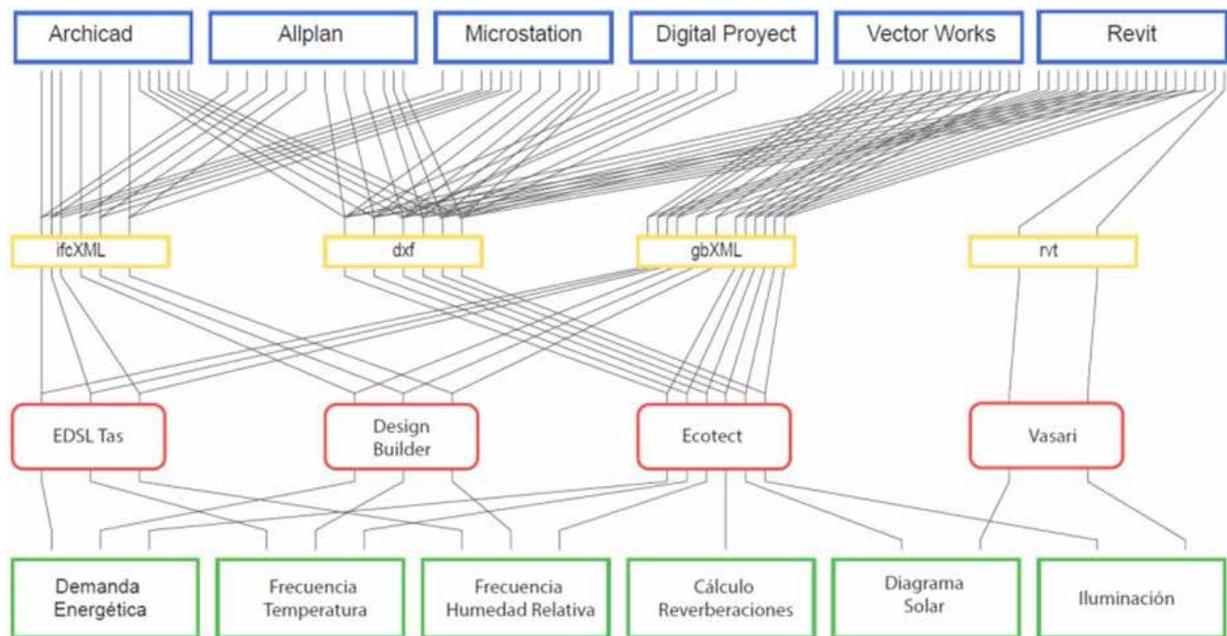
Tabla 45: Algunos programas BIM.

Software	Desarrollador	Formatos Asociados
REVIT	Autodesk. (USA).	dxg gbXML rvt
MICROSTATION	Bentley Systems. (USA).	dxg ifcXML
ALLPLAN	Nemetschek. (Alemania).	dxg ifcXML
ARCHICAD	Graphisoft. (Hungria).	dxg ifcXML

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

Es importante que los programas de simulación (BPS) que se utilicen en la etapa de diseño del proyecto sean compatibles con los programas de modelación (BIM), tanto en los formatos de trabajo como en los objetivos que persigue el análisis. A continuación se resumen las relaciones existentes entre los programas BIM y BPS, junto con las prestaciones que se pueden obtener a partir de ellos.

Figura 65: Ejemplo de relaciones entre algunos softwares BIM y BPS.



Fuente: Presentación Lobos. (2013).

2.5.2. Herramientas de verificación

Las herramientas de simulación estudiadas en el apartado anterior permiten evaluar el comportamiento energético del edificio a partir de supuestos definidos en la etapa de diseño. De esta forma es posible tomar decisiones y plantear estrategias que permitan optimizar el consumo y la demanda energética del edificio una vez en operación.

Posterior a la ejecución del proyecto acorde a las especificaciones definidas durante el diseño, es importante verificar que el comportamiento esperado del edificio se cumple bajo las condiciones reales de operación. Para ello existen diferentes herramientas de verificación descritas con mayor profundidad en la unidad 6.

Es recomendable además utilizar estas herramientas durante la materialización del proyecto, de manera de corroborar la correcta ejecución de los trabajos y poder realizar mejorar y correcciones a tiempo, si es pertinente.

Ensayo de Termoflujometría

Es un ensayo no destructivo donde se miden las temperaturas y el flujo de calor en un elemento representativo de la envolvente del edificio. A través de la información obtenida del ensayo es posible calcular la transmitancia térmica del elemento.

El objetivo de este ensayo es determinar el verdadero flujo de calor a través del elemento, y con ello verificar el comportamiento supuesto en el diseño. Si la transmitancia térmica obtenida no es la esperada, el ensayo permite determinar la necesidad de refuerzo en la aislación de la envolvente y el grado de este.

Figura 66: Ensayo de termoflujometría.



Fuente: Recuperado de <http://tecno.sostenibilidad.org/>

Ensayo Simplificado de Transmitancia Térmica

Es un método simplificado para determinar la transmitancia térmica de la envolvente a través del monitoreo en terreno de temperaturas. La técnica se basa en determinar las diferencias de temperatura entre el aire interior y la superficie del muro, y las diferencias entre la temperatura del aire interior y exterior.

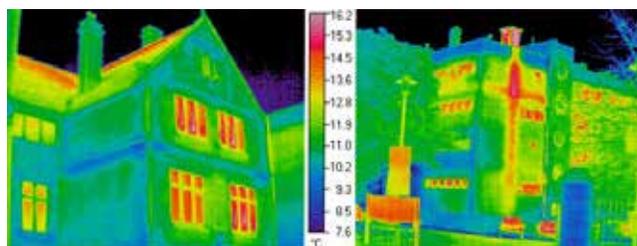
El procedimiento consiste en la instalación de tres termocuplas en la superficie interior del elemento a medir, obteniendo de este modo, un promedio de su temperatura. Además, se registra la temperatura del aire en el interior y exterior del recinto o edificio ensayado.

Termografía Infrarroja

Es una técnica que permite determinar la temperatura de una superficie sin tener contacto con ella. Para ello se utilizan cámaras termográficas que miden la energía radiante emitida por los objetos, y a través de ella, determinan su temperatura superficial a distancia y en tiempo real.

La radiación infrarroja es la señal de entrada que captura la cámara termográfica y que luego convierte en una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de ellos significa una temperatura distinta dentro de una escala determinada. De esta forma es posible advertir pérdidas de energía en la envolvente del edificio, a través de puentes térmicos por ejemplo.

Figura 67: Termografía infrarroja de un edificio.



Fuente: Recuperado de <http://www.nivelatermografia.net/>

Ensayo de Infiltraciones (Blower Door)

Es un ensayo instrumentado que permite verificar la estanqueidad del edificio, es decir, la existencia de infiltraciones de aire y su valoración.

El instrumento utilizado para realizar el ensayo se denomina *blower door*, este se compone de un ventilador, un soporte de nylon o pvc rígido, y un manómetro. El sistema se coloca en la puerta principal del edificio (la cual se debe encontrar abierta) mediante un marco ajustable, para luego recubrirlo con tela de nylon impermeable. Se debe cuidar durante el ensayo de sellar todas las salidas de aire ya sea al exterior o a espacios no calefaccionados.

El procedimiento se inicia encendiendo el ventilador, los sensores de presión conectados a este miden el caudal por minuto para mantener el edificio a una presión constante. La prueba se realiza a diferentes presiones y se comparan los valores obtenidos con el volumen estimado del edificio, detectando de esta manera la existencia de infiltraciones y su valoración.

Si existen infiltraciones de aire, es posible detectar su ubicación mediante el uso de humo.

Figura 68: Ensayo Blower Door.



Fuente: Recuperado de <http://www.ryzenhomes.com/>

2.5.3. Herramientas de certificación

Actualmente existen diversas herramientas de certificación de edificios a nivel mundial que buscan potenciar el desarrollo de edificaciones energéticamente eficientes y/o sostenibles. El sistema pionero en certificación de edificios sostenibles corresponde a BREEAM, desarrollado el año 1988 a manos de la organización británica BRE Global, en primera instancia para la evaluación de nuevas edificaciones de uso comercial y residencial, y más tarde extendiendo su aplicación a nivel mundial en diversas tipologías.

En 1996 Alemania se incorpora al sistema de certificación sostenible a través del Instituto Passive Haus, destinado a la certificación de edificios con planteamientos de eficiencia pasiva a través del control de la envolvente y la ventilación.

Más tarde surgen nuevos métodos de certificación ambiental de edificios en otras naciones, como GreenStar en Australia, CASBEE en Japón, y LEED en Estados Unidos, siendo este último junto con la certificación británica los más utilizados hoy a nivel mundial.

El sistema de certificación LEED (Líder en Eficiencia Energética y Diseño Sostenible), desarrollado el año 1998 a manos del U. S. Green Building Council, evalúa el uso eficiente de la energía, el agua y los materiales en proyectos de construcción, entre otros aspectos asociados. Este sistema se ha aplicado en Chile durante los últimos años y deriva en un sello verde de seguridad y confianza del edificio que señala que este es amigable con el medio ambiente.

Las herramientas de certificación asociadas estrictamente a la eficiencia energética de edificios surgen más tarde. En el año 2004, la comisión Europea desarrolla el programa GreenBuilding, que certifica la eficiencia energética de los edificios, evaluando principalmente su envolvente y sistemas de energía.

En 2007 la comisión Europea aprueba el real decreto asociado a la definición de un procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios, el cual más tarde significó la base de la certificación de edificios en Chile aplicada durante los últimos años.

2.5.3.1. Sistema de calificación energética

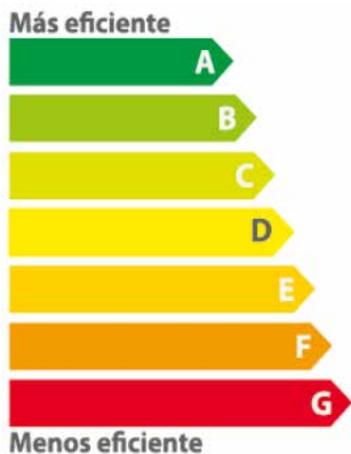
El sistema de calificación energética de la vivienda (CEV) es una iniciativa del Ministerio de Vivienda y Urbanismo en conjunto con el Ministerio de Energía que tiene por objetivo mejorar la calidad de vida de las familias chilenas poniendo a disposición de ellas información objetiva relativa a la eficiencia energética de la vivienda a adquirir, de esta forma el comprador estará en conocimiento del consumo y demanda energética de la vivienda y de acuerdo a ello podrá aspirar a potenciales ahorros en calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria a futuro. El sistema constituye una guía para el comprador y permite a su vez al propietario mejorar las condiciones de la vivienda asociadas a su eficiencia.

2.5.3.1.1. Estructura del sistema

El sistema de calificación es un instrumento de carácter voluntario aplicable actualmente a viviendas que poseen permiso de edificación posterior al 4 de enero de 2007 (denominadas como viviendas “nuevas”), cuyo alcance busca ampliarse a todo tipo de viviendas, considerando las modificaciones pertinentes al sistema para viviendas que fueron construidas previo a las disposiciones de la reglamentación térmica.

El sistema consiste en etiquetar la vivienda en función de su demanda y consumo de energía calificándola dentro de una escala que va de la letra A a la G, donde esta última es la menos eficiente. La calificación base del sistema es la letra E que consiste en una vivienda que cumple con las exigencias mínimas de la reglamentación térmica para muros, pisos ventilados y techos, dispuestas en el artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C.) desde el año 2007.

Figura 69: Escala de calificación.



Fuente: Recuperado de <http://calificacionenergetica.minvu.cl/media/Charla-CEV-diciembre-2013-2.pdf>

Existen dos niveles de calificación:

- Una Precalificación aplicada a proyectos de arquitectura que tengan permiso de edificación aprobado por el Director de Obras Municipales, la cual es de carácter provisorio y se encuentra vigente hasta la recepción municipal definitiva del proyecto.
- Una Calificación que consiste en la evaluación final de la vivienda recepcionada, la cual se encuentra vigente

durante 10 años o hasta que se realicen modificaciones que alteren los parámetros bajo los que fue evaluada la vivienda.

2.5.3.1.2. ¿Qué se califica?

El sistema evalúa dos parámetros asociados a la eficiencia energética de la vivienda, ambos poseen calificaciones independientes entre sí que deben estar señaladas en la etiqueta.

La primera calificación es la de Arquitectura, relacionada con la demanda energética de la vivienda definida por la aislación térmica de la envolvente (transmitancia térmica de muros, techumbre, pisos, puertas y ventanas) y las ganancias solares (factor de asoleamiento de ventanas, orientación y superficie de ventanas, factor solar del vidrio). Esta calificación evalúa de mejor forma viviendas que poseen niveles de aislación superior a las exigencias de la reglamentación térmica, ventanas de doble vidriado hermético, y orientación que permita el aprovechamiento de la radiación solar en períodos fríos.

La segunda calificación es la de Arquitectura + Equipos + Tipo de Energía, relacionada con el consumo de energía de la vivienda definido por el comportamiento energético de los equipos de calefacción y agua caliente sanitaria (rendimiento, tipo de energético utilizado, pérdidas de energía), y por la incorporación de energías renovables no convencionales (sistema solar térmico para calefacción y agua caliente sanitaria, y sistema solar fotovoltaico para iluminación). Esta calificación evalúa de mejor forma viviendas que utilicen equipos de alta eficiencia y energías renovables no convencionales para iluminación, calefacción y agua caliente sanitaria.

Respecto a esta última calificación, cabe destacar que en ella se evalúa el consumo de energía en iluminación, calefacción y agua caliente sanitaria durante la etapa de operación del proyecto, a diferencia de las herramientas de certificación ambiental (LEED, HQE, etc.) que evalúan además la energía acumulada, incorporada y en demolición del proyecto.

La calificación de la vivienda, en ambos casos, se realiza a través de la determinación del coeficiente “C”, el cual

corresponde al porcentaje de energía que requiere la vivienda evaluada respecto a su vivienda de referencia. La vivienda de referencia consiste en una vivienda idéntica a la vivienda a evaluar, que cumple con las exigencias de la reglamentación térmica y que por defecto utiliza gas licuado y equipos estándar para calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria.

Las siguientes tablas muestran los valores C (en porcentaje) definidos por la escala de calificación para ambos casos.

Tabla 46: Coeficientes “C” para calificación de Arquitectura.

Letra	Zonas térmicas 1 y 2	Zonas térmicas 3,4 y 5	Zonas térmicas 6 y 7
A	Menos del 30%	Menos del 40%	Menos del 55%
B	30 - 39%	40 - 49%	55 - 64%
C	40 - 54%	50 - 64%	65 - 84%
D	55 - 74%	65 - 84%	85 - 94%
E	75 - 109%	85 - 109%	95 - 109%
F	110 - 134%	110 - 134%	110 - 134%
G	135% y más	135% y más	135% y más

Fuente: Recuperado de <http://calificacionenergetica.minvu.cl/media/Charla-CEV-diciembre-2013-2.pdf>

Tabla 47: Coeficientes “C” para calificación de Arquitectura + Equipos + Tipo de Energía.

Letra	Zonas térmicas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7
A	Menos del 30%
B	30 - 44%
C	45 - 59%
D	60 - 79%
E	80 - 109%
F	110 - 134%
G	135% y más

Fuente: Recuperado de <http://calificacionenergetica.minvu.cl/media/Charla-CEV-diciembre-2013-2.pdf>

2.5.3.1.3. Requisitos para ser calificador

Para actuar como calificador energético de la vivienda, denominado por el sistema como “Evaluador Energético”, se debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Ser persona natural
- b) Estar en posesión de título profesional de Arquitecto, Ingeniero (en sus diferentes especialidades, con un mínimo de 10 semestres de duración), Ingeniero Constructor o Constructor Civil, además de cualquier otro requisito de selección que el MINVU establezca en los llamados que al efecto realice.
- c) Aprobar satisfactoriamente el proceso de acreditación que para el efecto establezca el MINVU.
- d) Suscribir un Convenio con el MINVU, en el que se dejará constancia de las acciones, condiciones, compromisos y obligaciones que asumirá el Evaluador para desarrollar la CE y de cualquier otra estipulación que se estime conveniente a los intereses de las partes.

Cumplidos estos requisitos, el MINVU habilita al profesional como Evaluador Energético por 5 años. Posterior a ello este debe renovar tal acreditación si desea seguir ejerciendo su labor.

Corresponde al “Evaluador Energético” encargado de realizar la calificación energética:

- Acreditar sus conocimientos e inscribirse en el registro de consultores del MINVU.
- Verificar los antecedentes de la vivienda a calificar (Recepción municipal, planos y EETT, entre otros).
- Emitir la evaluación de la vivienda.

2.5.3.2. Sistema de certificación edificio sustentable

El sistema de certificación edificio sustentable es un proyecto con financiamiento INNOVA CORFO, desarrollado por el Instituto de la Construcción, iniciativa de la Cámara Chilena de la Construcción, el Colegio de Arquitectos y el Ministerio de Obras Públicas. Su objetivo es medir y clasificar el grado de sustentabilidad ambiental de edificios, es decir, la capacidad de estos de lograr niveles adecuados de calidad ambiental interior a través de un uso eficiente de los recursos y una baja generación de residuos y emisiones. Con esta herramienta se busca mejorar la calidad de vida y salud de las personas y comunidades, así como la interacción de estas con el medio ambiente.

2.5.3.2.1. Estructura del sistema

El sistema consiste en la certificación del edificio de acuerdo al cumplimiento de un conjunto de requisitos de carácter obligatorio así como requerimientos de carácter voluntario, asociados al nivel de sustentabilidad del proyecto. Adicionalmente es posible optar a un sello "Plus Operación" el cual es opcional y voluntario.

El sistema se encuentra supervisado por una Entidad Administradora, la cual fiscaliza el proceso donde el Cliente que quiere optar a la certificación se relaciona con una Entidad Certificadora, pudiendo contar adicionalmente con un Asesor en la materia.

El proceso consta de dos etapas:

- Una etapa de pre-certificación, donde se evalúa el proyecto definido a nivel de expediente municipal, es decir, bajo las condiciones en que obtiene el permiso de Construcción, en aspectos de diseño, especialidades y especificaciones. Esta pre-certificación tiene una vigencia de 6 meses a partir de la recepción municipal del Edificio.
- Una etapa de certificación, donde se evalúa el proyecto una vez que este ha obtenido la recepción municipal definitiva.

Adicional a la certificación es posible optar a un "Sello Plus Operación", donde el Propietario y el Administrador del

Edificio se comprometen ante la Entidad Certificadora a cumplir con ciertas condiciones estipuladas por el sello. Este se puede solicitar junto con la certificación o posterior a ésta.

El objetivo del sello es promover la mantención de las condiciones de calidad ambiental y eficiencia energética en el tiempo junto con el mejoramiento continuo de la gestión medioambiental y energética del edificio.

2.5.3.2.2. ¿Qué se certifica?

En general, el sistema evalúa cinco áreas determinantes del comportamiento ambiental del edificio:

1. Calidad del ambiente interior.
2. Energía
3. Agua
4. Residuos
5. Gestión

Estas a su vez se agrupan en dos categorías principales (A y B) y dos categorías secundarias (C y D):

- A. Diseño Arquitectónico Pasivo (Arquitectura)
- B. Diseño de Sistemas Activos (Instalaciones)
- C. Construcción (Manejo de residuos durante la construcción)
- D. Operación (Diseño integrado de proyectos y Gestión de la Operación y Mantenimiento)

La certificación consiste en evaluar dentro de las cinco áreas mencionadas el cumplimiento de 23 variables que describen el comportamiento ambiental del edificio. Estas variables se componen de requisitos obligatorios y requerimientos voluntarios, a los cuales se les asigna un puntaje ponderado de acuerdo a su importancia.

El puntaje máximo al que puede optar el edificio corresponde a 100 puntos. El puntaje mínimo para certificar, cumpliendo los requisitos obligatorios, es de 30 puntos. Con 60 puntos se considera un edificio destacado. Adicionalmente para optar al sello "Plus Operación" el edificio debe cumplir un requerimiento en particular asociado a la variable de "Gestión de la Operación y Mantenimiento."

2.5.3.2.3. Requisitos para ser certificador

Para actuar como "Entidad Certificadora", se debe pertenecer al Registro de Entidades Certificadoras y Asesores del Sistema "Certificación Edificio Sustentable".

Se pueden inscribir en este registro personas naturales y jurídicas que cumplan con los siguientes requisitos generales:

- a) *Que en su objeto social se incluya la prestación de servicios relacionados a la certificación, asesoría, inspección, verificación de conformidad o similares para obras de construcción.*
- b) *Las personas jurídicas que cuenten entre sus asociados, directores, administradores o personal contratado profesionales que cumplan con los requisitos técnicos establecidos.*
- c) *Las sociedades extranjeras, previamente calificadas por el Registro, siempre y cuando su representante técnico o su agente en el país cumpla con los requisitos profesionales exigidos.*

Los requisitos técnicos para el registro de entidades certificadoras son:

- a) *Experiencia: Cinco años en el rubro certificación, asesorías, o similar.*
- b) Profesionales:

1. Recursos humanos:

Al menos dos profesionales contratados que, entre ambos, cumplan con lo siguiente:

- Experiencia verificable de 3 años en "Diseño Arquitectónico Pasivo": demanda de energía, iluminación natural, ventilación natural, acondicionamiento acústico.
- Experiencia verificable de 3 años en instalaciones térmicas
- Acredite dominio en el uso de programa informático para simulación en régimen dinámico del comportamiento energético de un edificio.

Los profesionales podrán ser Ingeniero Civil, Ingeniero

Constructor, Constructor civil o Arquitecto.

2. Examen:

Ambos profesionales deben aprobar el examen del "Sistema de certificación".

c) Legales/Comerciales:

- Antecedentes Legales sociedad al día.
- Certificado de Iniciación de Actividades.
- Declaración Impuesto a la Renta.

d) Gestión: Certificarse bajo un Sistemas de gestión tipo NCh 2909 o Superior (ISO 9000), en un plazo de dos años desde su inscripción como Entidad Certificadora.

Glosario

Asoleamiento: Trayectoria solar que recibe la zona donde se proyecta el edificio así como los espacios al interior de este.

Azimut: Ángulo medido a partir del norte geográfico en el sentido de las agujas del reloj. Se utiliza para medir asoleamiento en edificios.

Cénit (Zenith): Punto en el que se intercepta la de vertical de un espacio con la esfera celeste. Es el punto más elevado en el cielo por sobre quien observa a 90° de su cabeza.

Clima cálido: Su temperatura media anual supera los 20°C. No existen variaciones marcadas de temperatura entre estaciones. En ellos abundan praderas, sabanas, y selvas.

Clima continental: Tipo de clima templado presente en el centro del continente. Se caracteriza por la rapidez con que se enfría o calienta, en el los veranos son muy calurosos y los inviernos muy fríos.

Clima frío: Su temperatura media anual no supera los 10°C, producto de la baja altura del sol en el horizonte.

Clima mediterráneo: Tipo de clima templado presente en el centro de Chile. Se caracteriza por veranos secos, soleados y cálidos, e inviernos fríos y lluviosos.

Clima oceánico: Tipo de clima templado presente en zonas costeras. Se caracteriza por temperaturas relativamente uniformes donde los veranos no son muy calurosos ni los inviernos muy fríos.

Clima templado: Su temperatura media anual varía entre los 10 y 20°C. Las precipitaciones son medias y existen variaciones marcadas de temperatura entre estaciones.

Clo: Unidad de medida utilizada para señalar el índice de indumento o vestimenta. Se define como el aislamiento térmico necesario para mantener la temperatura corporal estable de una persona en reposo durante 8 horas,

considerando una temperatura de 20°C, humedad relativa del 50% y sin influencia de la radiación solar. Un clo equivale a 0,155 m²K/W.

Condensación: Fenómeno físico a través del cual el agua cambia de fase gaseosa a líquida. Es responsable de la aparición de humedad en superficies vidriadas y muros, dando lugar a la proliferación de colonias de hongos sobre ellas y reducción de las condiciones de habitabilidad.

Conducción: Propagación de calor entre dos cuerpos a diferente temperatura en contacto físico, sin desplazamiento de las moléculas.

Conductividad térmica: Capacidad de los materiales de conducir el calor, es la magnitud inversa a la resistividad térmica.

Convección: Transmisión de calor por medio de un fluido que transporta calor entre zonas a diferente temperatura.

Diseño pasivo: Técnica de diseño arquitectónico que tiene por objeto obtener edificios acondicionados ambientalmente a través del aprovechamiento de los recursos naturales del lugar de emplazamiento.

Emisividad: Proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debida a una diferencia de temperatura con su entorno. Es por tanto, la capacidad de un material de liberar la radiación que este ha absorbido. Materiales de cubierta con una alta emisividad permiten liberar el calor y por ende mantener la edificación más fría.

Envolvente: Cerramientos que limitan los espacios habitables del edificio con el ambiente exterior.

Evotranspiración: Evaporación e intercambio térmico pulmonar.

Grados día: Corresponde a la sumatoria, para todos los días dentro de un período de tiempo determinado, de la diferencia entre una temperatura base (temperatura de confort) y la temperatura media del día. Determina los requerimientos (en grados centígrados o Kelvin) de calentamiento o enfriamiento necesarios para alcanzar la temperatura de confort.

Grados días de calentamiento: Magnitud de los grados día cuando la temperatura media diaria es inferior a la temperatura base de cálculo.

Grados días de enfriamiento: Magnitud de los grados día cuando la temperatura media diaria es superior a la temperatura base de cálculo.

Humedad relativa del aire: Relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real contenida en una masa de aire y la cantidad que necesitaría contener para saturarse a la misma temperatura.

Inercia térmica: Cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y velocidad con que la cede o absorbe. En otras palabras, es la dificultad con que un cuerpo cambia su temperatura ante variaciones en el entorno.

Masa térmica: Capacidad potencial de almacenamiento de calor de un sistema. La masa térmica de los edificios proporciona la inercia a los cambios de temperatura.

MET: Unidad utilizada para expresar la actividad física de los seres humanos. Un MET es equivalente a 58,2 Wm⁻², lo cual corresponde aproximadamente a la tasa metabólica de una persona sentada en reposo.

n50: El indicador n50 representa el número de renovaciones a 50 pascales de diferencia de presión entre el exterior y el interior de la edificación, al comparar con el volumen interno.

Pluviosidad: Cantidad de precipitaciones, medidas en milímetros caídos, que ocurren en un lugar durante un período de tiempo determinado.

Radiación: Transmisión de calor entre dos cuerpos a diferente temperatura sin contacto físico, a través de ondas electromagnéticas.

Reflectividad: corresponde a la cantidad de luz incidente que es reflejada por una superficie, en este caso, por la cubierta del edificio. Un factor que es determinante de esta propiedad es el color, mientras que los colores más claros presentan altos niveles de reflectividad, colores más oscuros se caracterizan por su capacidad de absorber la radiación en vez de reflejarla.

Resistividad térmica: Capacidad de los materiales de oponerse al paso del calor por conducción, es la magnitud inversa a la conductividad térmica.

Sistemas activos: Sistemas o estrategias de acondicionamiento del edificio relacionadas con el control de la radiación solar, ventilación, iluminación y transmisión de calor, que necesitan de energía auxiliar para funcionar.

Sistemas pasivos: Sistemas o estrategias de acondicionamiento del edificio relacionadas con el control de la radiación solar, ventilación, iluminación y transmisión de calor, que no consumen energía.

Temperatura de confort: Temperatura del aire en la cual el cuerpo disipa adecuadamente el calor generado. Se ubica dentro de un rango en la escala térmica en el cual el individuo expresa satisfacción térmica con el medio ambiente.

**INGENIERÍA EFICIENTE Y DISEÑO
ACTIVO EN LA EDIFICACIÓN.**

CAPÍTULO

03





Al término del módulo el alumno será capaz de:

- Conocer los contenidos teóricos asociados al diseño de sistema de especialidades.
- Comparar los tipos de sistemas de especialidades, desde su impacto en la demanda y consumo de energía en la edificación.
- Evaluar la interacción de entre los sistemas de especialidades y la compatibilidad entre ellos, considerando la maximización de la eficiencia energética en su diseño.

Unidad 3.1: Introducción a los sistemas de especialidades

3.1.1 Objetivos de los sistemas de especialidades

Los usuarios de un edificio requerirán de calidad medioambiental y confort térmico de forma continua, en especial en periodos de frío o calor extremos cuando el diseño arquitectónico pasivo de un edificio no sea capaz de satisfacer tales requerimientos. En dichos periodos, los sistemas activos (especialidades) cobran mayor importancia, así como su eficiencia del punto de vista de su consumo energético. Es posible abordar la eficiencia de estos sistemas durante la etapa más temprana de diseño, de modo de satisfacer los requerimientos de consumo optimizando el suministro y disminuyendo la demanda, abarcando el proyecto según su uso y gastos primordiales.

A partir de los consumos energéticos que tendrá el edificio dado por los sistemas activos que requiera, será posible incorporar estrategias y seleccionar soluciones eficientes para cubrir las demandas proyectadas. Los sistemas activos pueden ser clasificados en:

- Climatización (difusión y recuperación de calefacción, enfriamiento y ventilación).
- Iluminación (uso de la luz natural y artificial).
- Sistemas sanitarios de generación, impulsión, calentamiento y consumo de agua potable.
- Sistemas de recuperación de agua (aguas lluvia, aguas grises).
- Sistemas eficientes de generación de energías (eléctrica y térmica).
- Uso de energías renovables, sistemas de generación convencional y/o cogeneración.

Desde la perspectiva de un diseño más eficiente, el diseño de sistemas de especialidades (instalaciones de clima, sanitarias, eléctricas e iluminación) involucra necesariamente una interacción entre ellos, la cual debe provenir desde el anteproyecto, considerando así demandas energéticas individuales y colectivas que surjan de la interacción entre requerimientos.

3.1.2. La demanda energética asociada

El Gestor energético debe evaluar la demanda energética de los sistemas de la edificación, para luego analizar su interacción.

Cabe considerar que el consumo energético óptimo de un proyecto está contemplado cuando es igual a la demanda esperada, caso donde los sistemas tienen un rendimiento óptimo. Si los sistemas disminuyen su porcentaje de rendimiento, ya sea por falta de mantención o fallas en la transmisión o distribución, se generarán pérdidas de energías. Lo mismo ocurrirá en el caso de equipos que presenten sobrecalentamiento o instalaciones flojas.

Respecto a los sistemas activos y su demanda en proyectos residenciales, el MINVU dispone de una herramienta para realizar el procedimiento de calificación energética en viviendas de nueva construcción, la cual permite realizar cálculos de demanda de energía en calefacción y estimaciones de uso de energía para agua caliente sanitaria, complementando los valores obtenidos del procedimiento con sus parámetros de calificación energética.

Cálculo de la demanda de energía para viviendas - Herramientas oficiales

El MINVU propone una metodología a usar en el cálculo de la demanda de energía en calefacción, la cual dispone de los métodos de cálculo estático de la demanda y cálculo dinámico de la demanda *CCTE*; los cuales varían según la superficie de ventanas, tipo de edificación, zona térmica, valores de demanda, equipos y su eficiencia proyectada. Luego, el valor de la demanda y consumo de energía es presentado en kWh/m² año.

Asimismo, se propone una metodología a usar en el cálculo de la demanda de energía en agua caliente sanitaria donde se analiza el flujo másico de agua por persona al día (en Kg/persona día), en función de las temperaturas del agua a suministrar. Se consideran en los cálculos las potencias de los sistemas; las eficiencias de los equipos; los sistemas de distribución y las pérdidas de calor de los estanques de almacenamiento. Por último, la demanda de agua caliente sanitaria es presentada en Wh/persona día.

3.1.3. Determinación de consumos energéticos

Para realizar un levantamiento de la información sobre los sistemas activos principalmente se requiere determinar el consumo de energía de los equipos. Respecto al consumo es posible evaluar entre diversas opciones con tal de optimizar la energía y disminuir la demanda energética.

Para determinar el consumo de energía de un equipo durante un día se debe multiplicar la potencia por las horas de uso por día, y también se debe considerar la carga real a la que estará sometida el equipo. Esta información puede ser proporcionada por el especialista y/o el fabricante, o calculada por el gestor.

Cómo determinar la potencia:

Los equipos y sistemas a utilizar poseen una potencia eléctrica asociada expresada en Watts (*W*). Ese valor se encuentra indicado por el fabricante en la etiqueta pegada o grabada tipo relieve, la cual contiene los datos técnicos con las características del equipo, la potencia nominal o de placa, el modelo y otras especificaciones particulares. la potencia puede obtenerse midiendo el consumo de los equipos en condiciones de uso representativos.

Generalmente los equipos presentan variaciones en el consumo de energía según la potencia que consuma su motor (por ejemplo en el caso de acensores o una lavadora, la potencia del motor dependerá del peso o la carga respectivamente). La variación en el consumo de energía se estima mediante un factor de carga, cuyo valor fluctúa entre 0 si no estará en uso para el periodo de análisis, y 1 si el equipo esta consumirá su potencia nominal ante plena carga.

Calderas de vapor - Eficiencia según su factor de carga

Factor de carga	Eficiencia base (poder calorífico inferior)
100%	84,1%
75%	83,8%
50%	81,7%
25%	78,5%
10%	73,6%

Calderas de agua caliente - Eficiencia según su factor de carga

Factor de carga	Eficiencia base (poder calorífico inferior)
100%	90,0%
75%	89,7%
50%	87,4%
25%	84,0%
10%	78,8%

Fuente:

Algunos equipos indican el valor del voltaje de operación en voltios (*V*) y la corriente eléctrica del equipo en amperios (*A*), por lo que para calcular el valor de la potencia eléctrica se utilizan los valores en la fórmula (la siguiente sólo aplica en el caso de cargas monofásicas)

$$Potencia\ Eléctrica\ (W) = Voltaje\ (V) * Corriente\ Eléctrica\ (A)$$

Los equipos al estar en funcionamiento consumen energía eléctrica según el tiempo que permanezcan encendidos y la potencia eléctrica asociada. Por tanto se requiere también determinar las horas de uso promedio por día.

Cómo determinar las horas de uso diarias:

Los sistemas o equipos a utilizar estarán en funcionamiento un horario predeterminado por el especialista o en función de los usuarios, por lo que se deben considerar los márgenes de variación, o promediar las horas de uso efectivas diarias para obtener consumos reales que indiquen fielmente los ahorros de energía a implementar.

Para actualizar los datos a periodos anuales, se debe multiplicar el valor de energía diario por la cantidad de días al año en los cuales el equipo se encontrará en funcionamiento.

$$\text{Energía Eléctrica (Wh)} = \text{Potencia Eléctrica (W)} * \text{tiempo de uso en horas (h)}$$

El valor de la energía eléctrica en Wh se debe multiplicar por los días a utilizar en un mes, y luego dividirlo entre 1.000 para obtener los kWh de consumo que indica la boleta de la compañía proveedora de electricidad¹.

$$1.000 \text{ Wh} = 1 \text{ kWh}$$

Por ejemplo si se requiere determinar el consumo de energía de un termo eléctrico de 1.000 litros para ducha, utilizándolo una hora diaria en un mes de 30 días, con un consumo especificado de 9 kWh a 220V, se tiene:

$$\text{Energía Eléctrica} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right) = 9 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{día}} \right) * 30 \left(\frac{\text{días}}{\text{mes}} \right) = 270 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right)$$

Para una edificación, el cálculo anterior se puede extrapolar a todos los sistemas o equipos a utilizar, por lo cual se recomienda al gestor contar con tablas actualizadas que le permitan determinar los consumos energéticos con base en las características de la instalación.

¹ Se recomienda ver <http://www.chilectra.cl> para obtener más información sobre las boletas de consumo para usuarios de viviendas y alternativas de eficiencia energética para empresas y usuarios.

Tabla 48: Ejemplo de tabulación de consumos energéticos en viviendas.

Sistemas	Potencia Eléctrica (W)	Horas (día)	Energía Wh (día)	Energía kWh (día)	Energía kWh (mes)
5 Bombillas de 75 W (Potencia total 75 W x 5 = 375 W)	75	4	1.500	1,50	45,0
2 Bombillas de 60 W (Potencia total 60 W x 2 = 120 W)	60	1	120	0,12	3,60
Televisor de 21"	140	5	700	0,70	21,0
Equipo de Sonido	200	1	200	0,20	6,0
Horno de Microondas	1.200	0,50 (30 min)	600	0,60	18,0
Coffee Maker	800	0,50 (30 min)	400	0,40	12,0
Olla Arrocera	700	0,50 (30 min)	350	0,35	10,5
Cocina 4 discos grandes	1.800	0,75 (45 min)	1.350	1,35	40,5
Refrigeradora	290	9	2.610	2,61	78,3
Termoducha	4.000	0,50	2.000	2,0	60,0
Lavadora (10 días al mes)	385	3	1.155	1,15	11,6

Fuente: Recuperado de <http://www.grupoice.com>

3.1.3.1. Indicadores de eficiencia energética para los sistemas activos

Entre las herramientas para definir y comparar los sistemas a instalar, además de describir los beneficios del desarrollo del proyecto de eficiencia energética, el Gestor Energético debe considerar las variables energéticas en las que influye cada uno, entre los cuales se razonan los siguientes indicadores que toman en cuenta la energía a utilizar y una característica de la instalación, indicando principalmente para los sistemas eléctricos algunas características que permitirán conocer el futuro energético de la edificación, realizar comparaciones entre otros sistemas e identificar cuales presenten mayores potenciales de ahorro.

- La potencia instalada dividida por unidad de superficie edificada [kW/m²].
- La energía total anual consumida dividida por la unidad de superficie edificada [kWh/m² año].

1) Indicadores a utilizar en electricidad:

- *kWh/año*: Representa la energía anual utilizada por la instalación eléctrica. Es posible comparar con otras alternativas para definir cual presenta mayores consumos al año.
- *kWh/m²/año*: Representa la energía anual utilizada por m² de superficie del edificio. Si el edificio no es utilizado en su totalidad, este índice se debe corregir por el porcentaje de ocupación del edificio. Se obtiene dividiendo la energía anual utilizada por la superficie útil del edificio.

2) Indicadores a utilizar combustibles (GLP, GN, petróleo, etc.):

- *m³/estandar*: Representa la cantidad total utilizada de gas natural, gas licuado o petróleo al año base.
- *MJ/m²*: Representa la energía utilizada en combustibles por unidad de superficie. Se debe utilizar el poder calorífico inferior (PCI) de los combustibles.
- Al convertir los m³ en energía también se pueden utilizar los indicadores de electricidad homologados para combustibles.

3) Indicadores monetarios según el gasto en energía en una base de tiempo determinada:

- *\$/año*: Representa la facturación del consumo anual.
- *\$/m²/año*: Representa la facturación por unidad de superficie de la edificación al año.
- *\$/kWh/año*: Representa la facturación por unidad de consumo energético al año.

3.1.4. El consumo de energías desde una perspectiva de eficiencia

Dentro del proceso de diseño del proyecto, el gestor tiene la oportunidad de orientar a proyectistas y mandantes sobre cómo y porqué elegir fuentes energéticas que no solo sean eficientes, sino también económicas, limpias y de adecuada disponibilidad en el contexto territorial y/o geográfico del proyecto. Para entender esto, el gestor debe primero diferenciar la energía primaria de la energía final y energía efectiva. Se adjunta la siguiente tabla explicativa sobre los tipos de energía:

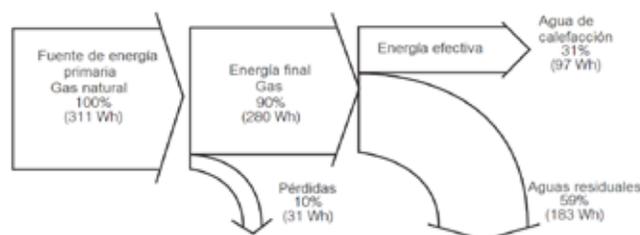
Tabla 49: Tipos de energía.

Vocabulario	Definición	Tipo de energía o fuente de energía
Energía primaria	Energía original, aún no transformada	Por ejemplo, petróleo crudo, carbón, uranio, radiación solar, energía eólica
Energía final	Energía en la forma que llega al usuario final	Por ejemplo, gas, combustibles, gasolina, electricidad, agua caliente o vapor
Energía efectiva	Energía en la forma utilizada por el usuario final	Por ejemplo la luz, el calor del radiador, los motores de las máquinas o vehículos

Fuente: Quaschnig, Volker. (2004). Understanding Renewable Energy Systems (pp. 22). Great Britain: Earthscan.

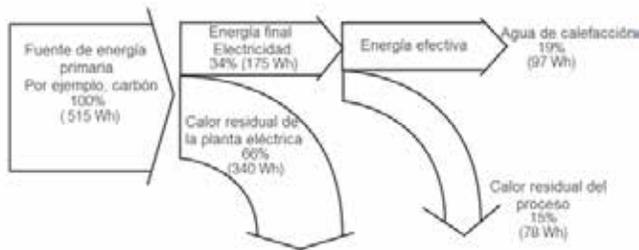
Entendiendo lo anterior, podemos decir que la energía efectiva será la energía que será consumida por nuestros sistemas de climatización o iluminación instalados. Es válido argumentar que el foco del Gestor energético debiese ser primordialmente la eficiencia de tales sistemas, sin embargo, entendiendo el proyecto desde una perspectiva de sustentabilidad, es importante tener en cuenta la relevancia de la energía primaria y la energía final como proceso. Se adjunta figura que ilustra este concepto sobre el flujo de conversión necesario para obtener la energía final:

Figura 70: Flujo de conversión de energía y pérdidas para calefacción en base a gas.



Fuente: Quaschnig, Volker. (2004). Understanding Renewable Energy Systems (pp. 22). Reino Unido: Earthscan.

Figura 71: Flujo de conversión de energía y pérdidas para calefacción en base a electricidad.



Fuente: Quaschnig, Volker. (2004). Understanding Renewable Energy Systems (pp. 23). Reino Unido: Earthscan.

Desde este punto de vista, es importante tener en cuenta los costos locales de energías presentes en la tabla a continuación, así como estudiar la posibilidad de contar con generación de energía renovable, ya sea a través de un tercero o bien generada dentro del proyecto. Además de los costos de generación, deben considerarse las eficiencias del proceso de conversión de cada energético presentes en la tabla respectiva.

Tabla 50: Costos de energía en Chile versus poder calorífico.

Tipo de energía	Costos de energía	Poder calorífico
Carbón vegetal	270 \$/kg	6.000- 8.000 kcal/kg
GLP	1.220 \$/kg	11.900 - 12.100 kcal/kg
Gasolina	832 \$/litro	10.400 kcal/kg
Kerosene	728 \$/litro	10.500-11.000 kcal/kg
Petróleo Diesel	675 \$/litro	10.000-10.500 kcal/kg
Gas natural	585 -1.174 \$/m3	8.850-10.200 kcal/m3
Petróleo	6.633 \$/kg	11.986 kcal/kg

* Electricidad 79.452 \$/MW/hora. Fuente: proveedores de energía en Marzo de 2014 para la zona central.

Tabla 51: Eficiencias de conversión en procesos varios.

Conversión	Equipo	Eficiencia, η
Química a calor	Chimenea	0,30
	Caldera de carbón, con alimentación manual	0,60
	Caldera de carbón, automática	0,70
	Caldera de aceite	0,70
	Caldera a gas	0,75
Calor a mecánica	Motores de pistón a vapor	0,05 - 0,20
	Turbinas a vapor	0,18 - 0,40
Química a mecánica	Motores a gasolina	0,20 - 0,28
	Motores diesel	0,32 - 0,38
	Turbinas a gas	0,30 - 0,35
Eléctrica	Generador de AC	0,97
	Motor de AC	0,92
	Transformador	0,98
	Batería de ácido de plomo (entrada-salida)	0,75
	Calefacción eléctrica	0,99

Fuente: Szokolay, Steven. (2004). Introduction to architectural science: the basis of sustainable design (pp. 200). Great Britain: Elsevier science.

Unidad 3.2: Sistemas de especialidades

El Gestor energético debe comprender la orientación al diseño en eficiencia energética de los tipos de sistemas de especialidades y en qué consisten brevemente, para utilizar su experiencia en el aprendizaje de los funcionamientos particulares.

La visión energética el Gestor la obtendrá a través del análisis de recomendaciones eficientes, evaluando variables aplicables a casos presentes en el país, tomando consideraciones por zonificación, tipos de uso, arquitectura, etc.

Para lo cual, ante una determinada especialidad, realizará un análisis que exponga variables críticas del diseño en función de la arquitectura y distribución de los recintos, con ventajas, desventajas, comparaciones de costos y mantenciones; con el fin de obtener la eficiencia energética definida en el diseño a largo plazo.

3.2.1. Sistemas de climatización

Proceso previo al diseño de especialidad

En climatización el Gestor evaluará las diferentes alternativas de generación energética, con base en la propia generación y a su acoplamiento con los sistemas de distribución y difusión, indagando de la misma manera, la posible integración de energías renovables a los sistemas activos, para generar avances en las alternativas tecnológicas que serán integrantes eficaces en los edificios.

Para diseñar las estrategias de climatización de la edificación, el Gestor deberá conocer previamente los factores climáticos a los cuales estará afectada, para lo cual se deberá estar al tanto del clima en profundidad determinando las variables presentadas en el módulo anterior: temperaturas máximas, mínimas, máximas promedio y mínimas promedio, humedad relativa del aire, pluviometría, asoleamiento y niveles de radiación solar, dirección y velocidad del viento, nubosidad; en conjunto con el microclima en general para las estaciones del año, combinándolo además con la zonificación climática establecida por la norma NCh1079Of 2008.

Es importante mencionar que la eficiencia total de un sistema de climatización contempla la eficiencia tanto de la generación de energía, la del sistema de distribución y la del sistema de control.

Evaluación de consumos

Para proyectar el uso eficiente de los sistemas de climatización se debe evaluar el consumo de energía que generarán los equipos de climatización, evaluando también la cantidad de usuarios y el nivel de producción esperado del edificio.

3.2.1.1. Diseño de sistemas de calefacción

En el diseño de sistemas de calefacción el Gestor debe tener en cuenta el objetivo de confort del usuario, logrado a través de condiciones de temperatura y humedad apropiadas para su bienestar, con el fin de diseñar un proyecto que minimice las fugas de energía en miras de un aumento en la eficiencia energética.

Para la calefacción de ambientes se utilizan sistemas basados en combustión, tales como las calderas de agua caliente o los calefones que utilizan combustibles; y/o sistemas que utilizan la energía eléctrica para calentar el agua y temperar.

En general, los sistemas de calefacción se dividen también entre los de tipo unitario (tales como estufas o calefactores) y los de tipos centralizado.

3.2.1.1.1. Sistemas centralizados y específicos de calefacción

Los sistemas de calefacción centralizados están compuestos por un procedimiento de generación de agua caliente combinado con un medio de distribución.

Clasificación de los sistemas de calefacción

Según su tamaño se clasifican de acuerdo al número de viviendas a climatizar, estableciéndose los tipos calefacción individual que sirven sólo a una vivienda; calefacción colectiva que ofrece energía térmica a un edificio con varias moradas; y calefacción urbana, los cuales agrupados pueden climatizar varios sectores de hogares. En estos tipos, los hogares pueden utilizar distintos medios de distribución tras el intercambiador para obtener calefacción, ya que el sistema provee el agua caliente para los radiadores, losas radiantes o aire tibio.

Ventajas de los sistemas de calefacción

Entre sus ventajas con respecto a sistemas individuales de calefacción, los sistemas de calefacción colectiva pueden presentar mayores eficiencias así como menores costos de mantenimiento. En casos donde las empresas proveedoras de energía realizan descuentos en sistemas de calefacción colectiva respecto a los individuales, existe la posibilidad de ahorrar también en el combustible.

Emplazamiento de los sistemas de calefacción

Para emplazar la instalación de calefacción principal se puede utilizar un local técnico, con buena ventilación y seguro; el cual permite al sistema obtener la gran cantidad de aire exterior necesario para funcionar sin enfriar un recinto habitado, facultando particularmente la regulación de la entrada de aire en recintos habitados y ventilados. Además, entrega comodidad y seguridad para los usuarios en la recarga y/o conexión de combustible alimentador del sistema, facilitando la manipulación del equipamiento y aprovechando los espacios a diseñar.



Para la selección de un sistema de calefacción

Entre las alternativas de calefacción se presentan formas de optimizar la energía y el agua caliente que generalmente utilizan, para las cuales el gestor debe considerar los costos de mantención y revisión periódica programados por el especialista o fabricante, siendo realizados idealmente por personal calificado, cumpliendo las normativas ambientales y de seguridad asociadas a cada sistema.

Para obtener mejores resultados en términos de eficiencia se requiere un análisis detallado de cada sistema, a modo de contar con la información necesaria para el conocimiento de los equipos y la toma de decisiones en conjunto con los especialistas de los sistemas.

Parte del análisis del sistema de calefacción que utiliza agua debe considerar las temperaturas del agua presente en la red, en los sistemas sanitarios y en la calefacción si hubiera; así como los flujos mensuales de agua caliente sanitaria y de calefacción previa; notando también los consumos mensuales de combustible proyectados y sus costos asociados.

Sistemas centralizados de calefacción

En el sistema de calefacción el agua caliente es utilizada en un circuito cerrado y generalmente se utiliza agua tratada (blanda). Además, la temperatura de operación suele ser de al menos 60°C. Los sistemas más utilizados de calefacción centralizada que generan agua caliente son:

Calentadores que utilizan combustibles: Corresponden a sistemas que calientan agua a partir de la energía térmica provista por la combustión de gas, petróleo o leña. Utilizan una red de tuberías para distribuir el calor hacia las viviendas. Dentro de esta categoría se encuentran las calderas y los calefones.

Termos eléctricos: Corresponden a sistemas que calientan y almacenan agua a partir de la energía eléctrica. Utilizan una red de tuberías para distribuir el calor hacia las viviendas y son capaces de contener un volumen de agua variable entre 15 y 1.000 litros, con una potencia de hasta 9 kW.

Paneles solares térmicos: Corresponden a sistemas que calientan y almacenan el agua en contenedores utilizando la energía de radiación solar. Son medios

dependientes de la radiación solar disponible para su funcionamiento por lo que requieren de procedimientos de respaldo ante altos consumos, y generalmente son utilizados como sistemas de precalentamiento del agua o respaldo. Utilizan una red de tuberías para distribuir el agua caliente hacia la vivienda y los equipos de calefacción puntuales, que devuelven el agua fría al sistema.

Distribución y sistemas específicos de calefacción

En la red de distribución de la calefacción centralizada influye considerar la aislación térmica para evitar las pérdidas de energía térmica, utilizando en el diseño materiales adecuados como lana mineral, lana de vidrio, poliuretano, etc.

La calefacción de la vivienda receptora se realiza generalmente mediante los siguientes sistemas específicos para calefacción:

Radiadores: Corresponden a equipos que reparten la energía térmica del agua caliente al aire entorno al equipo. Generalmente poseen válvulas que regulan la cantidad de agua que entra al radiador, y por tanto la cantidad de energía térmica que entrega al ambiente. Se consideran ideales para aumentar la temperatura de una habitación de manera rápida.

Losa radiante: Corresponde a un sistema que reparte la energía térmica del agua a las losas de los departamentos en edificios y luego al aire entorno. Las losas radiantes cuentan con un sistema de circulación del agua caliente proveniente del sistema centralizado de calefacción. Se recomienda su utilización para casos donde se demande mantener la temperatura constante de un ambiente durante largo tiempo, dado que necesita de alta energía y tiempo para incrementar la temperatura de la losa.

Equipos Split: Corresponden a equipos que en su interior cuentan con un radiador por donde circula un fluido térmico. A su vez disponen de un ventilador mediante el cual impulsan una corriente de aire a través del radiador, aumentando la cantidad de energía térmica que retiran del equipo y que aportan al ambiente.

Estufas: Corresponden a equipos que emiten el calor producido por la combustión directa de gas, kerosén o leña; o por el uso de la energía eléctrica la cual emite menos contaminantes. Son útiles ya que pueden ser

móviles o fijas y son capaces de aumentar la temperatura de una habitación de manera rápida.

Eficiencia estacional - Sistemas de Calefacción

Tipo de sistema	Eficiencia estacional típica
Caldera estándar (con llama piloto)	55 a 65
Caldera de eficiencia media (con encendido electrónico)	65 a 75
Caldera de condensación (de alta eficiencia)	75 a 85
Resistencia eléctrica	100
Bomba de calor - Aire	130 a 200
Bomba de calor - Geotérmica	250 a 350

Fuente:

3.2.1.2. Diseño de sistemas de refrigeración

En el diseño de sistemas de refrigeración el Gestor energético debe tener en cuenta el objetivo de confort del usuario, logrado a través de condiciones de temperatura y humedad apropiadas para su bienestar, con el fin de diseñar un proyecto hermético, que minimice las fugas de energía en miras de un aumento en la eficiencia energética.

Para la refrigeración de ambientes se utilizan sistemas basados en la combustión de un insumo como fuente de calor, o sistemas que aprovechan las fuentes de calor de desecho producto de la operación para separar los elementos participantes de la refrigeración.

3.2.1.2.1. Sistemas de refrigeración

Para su funcionamiento, los sistemas de refrigeración utilizan un ciclo de compresión de gas refrigerante. Para enfriar un ambiente se manipula la energía necesaria para evaporar el refrigerante que circula dentro del ciclo mediante un evaporador. Luego al refrigerante en estado -gaseoso se le eleva la presión y temperatura mediante un compresor, para ser llevado a la unidad de condensación donde el refrigerante se transforma en estado líquido y cede su energía térmica al aire exterior. Para reutilizar el

refrigerante se le reduce la presión y temperatura, luego de lo cual puede continuar el ciclo y ser utilizado nuevamente en el evaporador.

Si en la etapa de elevación de presión y temperatura se intercambia el compresor por un sistema de absorción que aproveche la solubilidad del refrigerante en otra sustancia, se reduce la cantidad de energía eléctrica que el ciclo necesita para operar pero se requiere de una fuente de calor externa. Luego de que el refrigerante gaseoso sea mezclado con la sustancia absorbente, puede ser bombeado hasta la presión necesaria en el generador, utilizando menos energía que el sistema de compresión. Para reutilizar el refrigerante mezclado, se aplica calor y la sustancia se evapora dejando el refrigerante listo para reiniciar el ciclo en el condensador.

Para la selección de un sistema de refrigeración

Para esperar recibir el mayor beneficio anual asociado a un equipo de mejor rendimiento, el Gestor energético debe tener presente que en las alternativas de refrigeración el mayor consumo y baja en el coeficiente de operación se presenta en el ciclo de compresión del refrigerante, ante lo cual se recomienda incluir en el diseño del sistema la adquisición de un equipo que posea mayor coeficiente de operación o rendimiento, de ese modo se podrá optimizar la energía y el refrigerante que generalmente utilizan, por lo cual el gestor debe considerar los costos de mantención y revisión periódica programados por el especialista o fabricante principalmente para los evaporadores y condensadores, siendo realizados idealmente por personal calificado, cumpliendo las normativas ambientales y de seguridad asociadas a cada sistema.

Para obtener mejores resultados en términos de eficiencia y reducir el consumo de energía, el Gestor debe realizar un análisis detallado de cada sistema, a modo de contar con la información necesaria para el conocimiento de los equipos y la toma de decisiones en conjunto con los especialistas de los sistemas.

Parte del análisis del sistema de refrigeración debe considerar reducir la carga térmica en las zonas a refrigerar, mejorando, por ejemplo, la envolvente; También se debe obtener la información básica de operación del equipo: potencia eléctrica nominal o de placa, potencia de frío nominal o de placa, horas de operación a utilizar y los costos estimados asociados al uso de la energía.

3.2.1.3. Indicadores de eficiencia energética en climatización

Entre las herramientas para definir y comparar los sistemas de climatización, además de describir los beneficios del desarrollo del proyecto de eficiencia energética, se deben considerar las variables energéticas en las que influye cada uno, entre los cuales se consideran los siguientes indicadores que toman en cuenta la energía a utilizar y una característica de la instalación, indicando algunas características que permitirán conocer el futuro energético de la edificación, realizar comparaciones entre otros sistemas e identificar cuales presenten mayores potenciales de ahorro.

Coefficiente de Comportamiento (COP): Determinado por la razón entre el efecto refrigerante y la capacidad de compresión. En el gráfico siguiente la razón está representada por $(h_2 - h_1) / (h_4 - h_3)$, donde el efecto refrigerante corresponde a $(h_2 - h_1)$ y el calor de compresión está dado por $h_4 - h_3$.

Relación de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Ratio, EER): Se define como la relación entre el calor removido, es decir, la carga frigorífica, y la potencia eléctrica total consumida.

Relación del consumo de potencia y capacidad de enfriamiento kW/ton

W/m²: índice de potencia térmica frío; índice de potencia térmica calor. Estos índices se pueden representar igualmente para el caso de potencia eléctrica. Se obtiene dividiendo la potencia instalada en equipos de climatización por la superficie climatizada.

TR/m²: corresponde a un índice de climatización que se calcula en toneladas de refrigeración por unidad de superficie. Se obtiene dividiendo las toneladas de refrigeración suministradas por los equipos, por la superficie climatizada.

Figura 72: Coeficiente de comportamiento (COP) de un equipo



Fuente: Recuperado de www.chec.com.co

En la tabla a continuación se presentan valores típicos de capacidad de refrigeración según el número de ocupantes y expresados en toneladas de refrigeración por metros cuadrados TR/m².

Eficiencia estacional - Sistemas de Refrigeración o Enfriamiento

Tipo de sistema	Eficiencia estacional típica
Compresor centrífugo	5 a 6,7
Compresor recíprocante	3,8 a 4,6
Compresor de tornillo	4,1 a 5,6
Compresor de espiras (scroll)	4,6 a 7
Bomba de calor - gas	1,1
Bomba de calor - Aire	1,3 a 2
Bomba de calor - Geotérmica	3 a 3,5
Absorción - Una etapa	0,5
Absorción - Dos etapas	0,7
Sistema de Refrigeración por chorro de vapor	0,2 a 0,3

Fuente:

Tabla 52: Ejemplo de Toneladas de Refrigeración recomendadas.

Tipo	TR/m ²
Pequeñas < 10 ocupantes	0,10
Medianas 10 - 30 ocupantes	0,06
Edificio de Oficinas con AC central	0,04

Fuente: Bureau of Energy Efficiency, Oficina de EE, Ministerio de Energía, India.

Además se han establecido índices de consumo e índices de potencia instalada para equipos de climatización, según el número de ocupantes, presentados en la tabla a continuación.

Tabla 53: Índices de consumo.

Equipo	kW/TR	Pequeñas Oficinas [W/m ²]	Oficinas Medianas [W/m ²]	Edificios de Oficina con AC central [W/m ²]
Chiller	0,510	51	30,6	20,4
Torre de Enfriamiento	0,011	1,1	0,7	0,4
Bomba Enfriadora de Agua	0,026	2,6	1,6	1,1
Bomba Condensadora de Agua	0,021	2,1	1,3	0,8
Unidad Manejadora de Aire	0,050	5	3	2

Fuente: ASHRAE Handbook Fundamentals, 2009.

Se considera que un índice normal de potencia instalada general para espacios de mediano y gran tamaño en sistemas de refrigeración es de 47 W/m² y de 32 W/m² para calefacción, considerando sólo superficie climatizada y sin aplicación de medidas de EE. Además, se recomienda mantener en verano entre 23-25°C con una humedad relativa entre 45-60% y para invierno entre 21-23°C con una humedad relativa entre 40-50%. Cabe mencionar que se presenta esta información de manera ilustrativa, ya que las condiciones ambientales no son necesariamente iguales, pero al menos nos permitirán construir y comparar diversos indicadores.

3.2.2. Sistemas sanitarios

Los sistemas sanitarios de impulsión y calentamiento de agua pueden ser utilizados como fuentes de energías complementarias. En la actualidad se utilizan equipos proyectados por especialistas en su ejecución, los cuales pese a cumplir las normativas aplicables a instalaciones, no contemplan necesariamente la eficiencia energética en su desempeño. Entre los equipos más utilizados se encuentran calefón, calentador eléctrico de paso, termo acumulador, caldera, entre otros. Estos equipos utilizan medidas de control, por ejemplo, intercambiadores de calor, bombas de recirculación, sistemas de seguridad y control de temperatura; pero su eficiencia está relacionada con factores tales como el nivel de incrustaciones según la calidad del agua,

filtraciones, contaminantes emitidos, aprovechamiento de otras fuentes de energía, controles de capacidad y distribución, costos de inversión y evacuación de productos de la operación. A lo largo de su operación, se ven afectados a procesos químicos como la corrosión, pérdidas físicas como la transmisión de calor por red o pérdidas por escape.

Considerando lo anterior, el Gestor energético debe evaluar las alternativas de generación de sistemas sanitarios propuestas por el especialista, y determinar la integración de energías renovables según su rendimiento y cobertura de demanda energética.

Sistema solar para aporte en calefacción y agua caliente sanitaria MINVU

En el Sistema de Calificación Energética MINVU se propone una metodología a utilizar en la incorporación del sistema solar como aporte para calefacción y agua caliente sanitaria; donde para reunir los sistemas solares térmicos para agua caliente sanitaria, los equipos instalados; tales como colectores solares planos o de tubos al vacío, depósitos acumuladores y colectores solares integrados; deben contar con el registro de la Resolución Exenta de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). El procedimiento utiliza la metodología propuesta por f-chart (Duffie et al 2007) modificado, el cual varía según el tipo de colector, superficies, inclinaciones; tipo de servicio; ángulo de azimut; sombras proyectadas; fluidos a circular; capacidad del sistema de almacenamiento y sistema de energía auxiliar.

Recomiendan diseñar los sistemas solares según las consideraciones del documento "Sistemas solares térmicos II, guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria, CDT 2010" y el "Itemizado técnico para instalación de sistemas solares térmicos en viviendas - sistemas solares térmicos individuales (Unifamiliares)". En adición, se recomienda considerar las normas NCh2906, NCh3096, NCh 3120 y NCh 3088, para el diseño de sistemas solares térmicos.

3.2.2.1. Generación de Agua Caliente Sanitaria

Un proyecto de Agua Caliente Sanitaria, corresponde al conjunto de instalaciones que permite calentar el agua para ser utilizada en baños, cocina y lavaderos. Estas instalaciones pueden ser artefactos individuales o centrales térmicas.

Existen diferentes sistemas de generación de agua caliente, entre ellos se reconocen dos grupos: los sistemas de generación individual o sistemas de generación centralizados. Utilizar uno u otro dependerá de factores como las condiciones de uso y el volumen de agua requerido.

3.2.2.1.1. Generación individual de Agua Caliente Sanitaria

Consiste en sistemas de baja potencia conformados por uno o más artefactos. Dentro de sus alcances se encuentra el abastecimiento de una vivienda, un local comercial o una oficina.

- **Calefón:** Corresponde a un artefacto generador de agua caliente utilizado para calentar de manera inmediata aguas con fines sanitarios. Dentro de sus alcances puede abastecer de agua caliente una vivienda o parte de ella.
- Su funcionamiento requiere de una reacción química de oxidación (combustión), donde un combustible se consume en presencia de oxígeno para generar energía en forma de luz y calor. Además durante el proceso existe liberación de gases a la atmósfera. Los combustibles utilizados corresponden a gas licuado, gas ciudad y gas natural.
- Existen distintos tipos de calefón de acuerdo a sus mecanismos de trabajo, es decir, al tipo de alimentación de aire y evacuación de gases. La evacuación de gases en ambos tipos de artefactos, puede ser de tiro natural o forzado. La evacuación mediante tiro natural, se produce debido a la diferencia de densidades entre el aire y los gases producto de la combustión, a causa del calor. En el caso de tiro forzado, se hace uso de un ventilador o extractor de aire para evacuar los gases.

- **Calefón conectado con circuito abierto:** Artefacto que obtiene el aire para la combustión del recinto donde se ubica, para luego expulsar los gases al exterior del recinto a través de un conducto dispuesto para ello.
- **Calefón conectado con circuito estanco:** Artefacto que obtiene el aire para la combustión desde el exterior del recinto donde se ubica, para luego expulsar los gases al exterior del recinto a través de un conducto exclusivo dispuesto para ello. Los conductos para la captación y expulsión de aire puede ser concéntricos (vertical u horizontal) o conductos independientes.
- **Calentador eléctrico de paso:** Artefacto que calienta el agua de forma instantánea para abastecer uno o más artefactos, posee un caudal de servicio reducido.
- **Termo Acumulador:** Artefacto que calienta agua y la acumula, para abastecer a uno o más artefactos de agua caliente de uso sanitario. Dentro de sus alcances contempla viviendas pequeñas, oficinas y locales comerciales. Los combustibles utilizados para el funcionamiento de este artefacto son gas licuado, gas de ciudad, gas natural y electricidad.

Tabla 54: Producción instantánea con Calefón y Producción por acumulación con Termo.

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación	En el caso de producción a través de calefón no se permite la acumulación de agua caliente
Ideal para bajas capacidades	En el caso de producción a través de termoacumulador no se permite la producción de agua en forma instantánea
	Baja la eficiencia por incrustaciones según sea la calidad del agua del lugar

Fuente: Elaboración propia.

- *Caldera de baja potencia:* Artefacto murales o apoyados en el piso, cuya potencia no supera los 70 kW y son capaces de abastecer de agua caliente a una vivienda y al mismo tiempo alimentar un sistema de calefacción.

Tabla 55: Calderas murales de condensación para generación individual.

Características
Su instalación inicial puede significar un alto costo de inversión respecto a otros sistemas.
Alta eficiencia y bajas emisiones contaminantes, puesto que su tecnología se basa en recuperar gran parte del calor que en calderas convencionales se escapa por la chimenea. Aunque necesita de un sistema de evacuación de agua de condensación e instalaciones especiales.
Permite control en cascada (sólo para calefacción) el cual consiste en un sistema de control por retroalimentación que da lugar a una respuesta de regulación ante perturbaciones más estable y rápida.
No se genera gran cantidad de incrustaciones
Posee control de capacidades, que permite manejar los niveles de agua en un rango de variaciones preestablecido de manera de asegurar eficiencia, integridad y seguridad del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

- *Calentador de agua con energía solar:* Sistemas que captan la energía proveniente del sol, la utilizan para calentar agua y la almacenan en estaqueos aislados para su posterior uso. Generalmente se complementan con otros sistemas tradicionales. *Es un tipo de sistema solar térmico, los cuales basan su funcionamiento en la captación de la energía solar para su posterior uso en forma de calor.* Los sistemas solares térmicos se pueden clasificar en sistemas directos, si el líquido portador de calor o "fluido de trabajo" es el mismo que el de uso (el caso de un sistema para calentar agua de piscinas, la misma agua que recorre el sistema de colectores es el agua de la piscina) y sistemas indirectos donde existe un intercambio de calor entre la red que transporta un fluido de trabajo (circuito primario) y la red de agua a consumir (circuito secundario). Este es el caso de un sistema con un termo acumulador con un intercambiador de calor al interior. Existen otras clasificaciones dependiendo si el sistema es de termosifón (cuando el fluido de trabajo circula por convección libre por diferencia de densidad del fluido hacia el acumulador) o un sistema de circulación forzada (instalación equipada con bombas circuladoras). Todo sistema solar térmico estará compuesto de subsistemas: uno de captación

(los paneles solares térmicos), uno de intercambio calórico (en el caso de sistemas indirectos), un subsistema de acumulación, uno de control y un subsistema de energía auxiliar o de apoyo. Todas estas características se traducen a una diversidad de componentes que en muchos casos determinarán la eficiencia del sistema.

3.2.2.1.2. Generación centralizada de Agua Caliente Sanitaria

Se conocen como centrales térmicas y a diferencia de la generación individual, este tipo de sistema apunta a abastecer grandes consumos, tales como un conjunto habitacional de viviendas o edificaciones de alto consumo (hospitales, hoteles, colegios, entre otros). El sistema se base en un punto de generación desde el cual se abastece a los diferentes centros de consumo.

Se compone de los siguientes equipos:

- Una caldera.
- Un acumulador.
- Un intercambiador de calor.
- Bombas de recirculación.
- Sistemas de seguridad
- Sistema de control de temperatura.

Tabla 56: Calderas murales de condensación para generación centralizada.

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación.	Dependiendo de la materialidad requiere protección contra la corrosión por acción de los ácidos condensados y otras reacciones químicas.
Posibilidades de aumento en las capacidades de agua caliente.	Mayores pérdidas por transmisión de calor a través de la red de cañerías respecto a una caldera convencional.
Menores pérdidas por calor no recuperado en la condensación y menores pérdidas por gas de escape, respecto a una caldera convencional.	Requieren de óptimas condiciones para la condensación debido a que si no funcionan con rendimientos iguales o menores a una caldera convencional

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Iluminación y sistemas eléctricos

3.2.3.1. Diseño de Iluminación

El diseño en iluminación en edificación habitacional generalmente no es realizado desde el punto de vista energético, ya que suele ser un servicio proporcionado por un especialista externo, el cual provee los puntos de iluminación requeridos en un metraje definido, sin contar necesariamente con una visión integral donde se gestione el proyecto para el tiempo de uso y se coordine su interacción con otras especialidades o, se evalúe cogeneración con otras fuentes de energías tales como paneles solares; por lo cual se recomienda que el Gestor incluya una visión integral en el diseño, donde no sólo se busque ahorrar en materiales, sino también aprovechar los recursos energéticos disponibles.

Integración de la luz natural

Para ello, el Gestor energético debe considerar que la integración de luz natural en el diseño de la edificación puede tener influencia decisiva en su forma arquitectónica, ya que en parte determina la posición y el tamaño de las aperturas, considerando que debe satisfacer los requerimientos visuales y además, interviene en el estado de ánimo de los usuarios. Si los recintos cuentan con circuitos sectorizados, la iluminación artificial puede ser gestionada según la disponibilidad de luz natural, utilizando por ejemplo, balastos de atenuación, sensores automáticos de luz diurna y control manual, detectores de movimiento con control manual, etc. La integración obtenida es cuantificable mediante métodos basados en cifras relativas, y otros que usan emisiones comparables, tales como: intensidad luminosa, en candelas cd; potencia luminosa, en lumen; incidencia y emisión de luz, en lux; entre otros.

Sistemas de control de iluminación

Para aumentar y cuantificar las ganancias proyectadas, controlando la iluminación artificial, el Gestor energético puede reducir el consumo energético en electricidad y calor, disminuyendo las horas de funcionamiento y la potencia requerida del sistema de iluminación, mediante el uso de sensores de presencia, sensores de luz diurna, y temporizadores con atenuación fluorescente. Además del ahorro energético proyectado, se pueden reducir los gastos de mantención futuros debido a un menor desgaste en los accesorios al utilizar dimmers, en lugar de interruptores on/off.

Evaluación de consumos

Para proyectar el uso eficiente en iluminación se debe registrar el consumo de energía producto del sistema de iluminación preconcebido en la edificación, como la potencia base ocupada mensualmente, evaluando también la cantidad de usuarios y el nivel de producción esperado del edificio.

Confort lumínico

Para integrar en el proceso de diseño el confort lumínico de los ocupantes, se requiere una organización funcional de los recintos que disminuya la distancia desde el núcleo de la planta al perímetro, con lo cual los espacios obtienen mayor acceso a las ventanas alineadas a los muros para maximizar el ingreso de luz natural. Para ello el Gestor energético debe evaluar estrategias de captación y distribución de luz natural; realizar análisis con respecto a la edificación y la incidencia lumínica, considerando entorno, orientación, dimensiones, materialidades que tengan relación con la protección y transmisión en conjunto con el control de luz artificial, las implicancias térmicas y de ventilación, la contribución de luz día, los niveles de iluminancia (lux) y la uniformidad de la iluminación.

En el caso de oficinas se recomienda localizar las estaciones de trabajo de planta abierta junto a las ventanas; utilizar paneles divisorios de materiales translúcidos; localizar los pasillos entre las estaciones de trabajo de planta abierta y oficinas privadas para utilizar la luz derramada; disponer las oficinas privadas en relación a las orientaciones este y oeste, para tener un control individual de las protecciones solares; proponer colores claros de acabado mate que promuevan inter-reflexiones; incluir sistemas con dimmer en las oficinas abiertas, interruptores de tiempo (relojes) en los pasillos y sistemas de detección de personas en oficinas privadas y salas de conferencias.

3.2.3.1.1. Lámparas de luz cálida y fría utilizadas en los sistemas de iluminación

Tipos de lámparas.

- 1) *Lámparas incandescentes*: funcionan debido a la alta temperatura que alcanza el filamento, el cual irradia luz en el espectro visible. Sus principales características son:
 - Presentan un alto CRI, siendo las lámparas con mejor reproducción cromática.
 - Liberan un 70% de la energía eléctrica consumida al ambiente por lo que tienen un bajo rendimiento lumínico.
 - Potencia nominal entre 25 y 150 Watts.
 - No reducen la cantidad de luz emitida a lo largo de su vida útil.
 - Poseen un re-encendido instantáneo.
- 2) *Lámparas halógenas*: también son incandescentes, pero entregan una iluminación dirigida hacia una zona específica. Sus principales características son:
 - Potencia entre 150 y 2.000 Watts.
 - Presentan una alta reproducción de color (CRI).
 - Liberan gran cantidad de calor en el sentido del flujo luminoso, y se diferencian de las lámparas dicróicas que liberan calor en sentido contrario al flujo luminoso.
 - No reducen la cantidad de luz emitida a lo largo de su vida útil.
 - Poseen un re-encendido instantáneo.
- 3) *Tubos fluorescentes*: Entre los equipos más utilizados, funcionan mediante la excitación eléctrica del gas contenido en su interior y requieren de un balasto. Se denominan con T y un número, el cual se refiere al diámetro del tubo medido en octavos de pulgada. Sus características son:
 - Potencia entre los 13 y 120 Watts.
 - Diferentes diámetros y largos entre 0,5 y 1,5 metros.
 - La mayor cantidad de energía eléctrica utilizada es transformada en luz.
 - Presentan una menor reproducción de color (CRI).
 - Se recomienda su utilización en encendidos durante periodos largos, ya que altos ciclos de encendido y apagado del flujo luminoso reducen su vida útil.
 - Deben calentarse un tiempo para entregar el flujo luminoso máximo.
- 4) *Lámparas fluorescentes compactas (LFC)*: Las lámparas de ahorro de energía requieren de un equipo auxiliar tal como un balasto interior para funcionar. Funcionan mediante la excitación eléctrica de un gas y sus características son:
 - Potencia entre los 7 y 150 Watts.
 - Liberan menos energía eléctrica consumida al ambiente ya que transforman la mayor parte en luz y requieren menor potencia para entrega el mismo flujo luminoso que una lámpara incandescente.
 - Presentan una menor reproducción de color (CRI).
 - Se recomienda su utilización en encendidos durante periodos largos, ya que altos ciclos de encendido y apagado del flujo luminoso reducen su vida útil.
 - Deben calentarse un tiempo para entregar el flujo luminoso máximo.
- 5) *Light Emitting Diode (LED)*: Las lámparas LED son diodos emisores de luz que difieren de las anteriores al entregar una temperatura de luz fría. Con un uso diverso, sus características son:
 - Son sensibles a variaciones de voltaje.
 - Presentan bajo nivel de reproducción de color (CRI).
 - Larga vida útil.
 - Reducen la cantidad de luz emitida a lo largo de su vida útil.
 - Poseen un alto costo.
- 6) *Lámparas de haluro metálico*: Las lámparas de descarga son utilizadas en bodegas, recintos deportivos o en alumbrado público, sus principales características son:
 - Están disponibles en un amplio rango de potencias.
 - Presentan una moderada reproducción de color.
 - Poseen una buena eficacia lumínica.
 - Requieren de un largo tiempo de re-encendido.
- 7) *Lámparas de vapor de sodio*: Son lámparas que requieren de un balasto para funcionar y son utilizadas para iluminar grandes áreas por largos periodos de tiempo. Sus características son:
 - Presentan una baja reproducción de color.
 - Las lámparas de vapor de sodio de alta presión entregan una luz amarilla clara, con un rango de CRI bajo a medio.
 - Las lámparas de vapor de sodio de baja presión entregan una luz amarillo-anaranjada con un CRI muy bajo.
 - Requieren de tiempo para re-encendido.

Valores de iluminación indicados

De acuerdo a la normativa nacional, se indican valores mínimos promedios de iluminación para lugares de trabajo, iluminados con luz natural o artificial para el desarrollo de las actividades en la edificación.

Tabla 57: Valores mínimos promedios de iluminación.

Lugar o Faena	Iluminación Expresada en Lux (LX)
Pasillos, bodegas, salas de descanso, comedores, servicios higiénicos, salas de trabajo con iluminación suplementaria sobre cada máquina o faena, salas donde se efectúen trabajos que no exigen discriminación de detalles finos o donde hay suficiente contraste.	150
Trabajo prolongado con requerimiento moderado sobre la visión, trabajo mecánico con cierta discriminación de detalles, moldes en fundiciones y trabajos similares.	300
Trabajo con pocos contrastes, lectura continuada en tipo pequeño, trabajo mecánico que exige discriminación de detalles finos, maquinarias, herramientas, cajistas de imprenta, monotipias y trabajos similares.	500
Laboratorios, salas de consulta y de procedimientos de diagnóstico y salas de esterilización.	500 a 700
Costura y trabajos de aguja, revisión prolija de artículos, corte y trazado.	1.000
Trabajo prolongado con discriminación de detalles finos, montaje y revisión de artículos con detalles pequeños y poco contraste, relojería, operaciones textiles sobre género oscuro y trabajos similares.	1.500 a 2.000
Sillas dentales y mesas de autopsias.	5.000
Mesa quirúrgica	20.000

Fuente: DS 594.

Análisis de los sistemas de iluminación

En la evaluación de un sistema de iluminación a diseñar, el Gestor energético debe determinar los equipos a montar a la red en todos los recintos, diferenciándolos por zonas o circuitos para más orden. Para cada equipo se debe tener previamente la siguiente información:

- *Tipo de luminaria:* Ver si es empotrada, sobrepuesta; si posee reflector y difusor.
- *Tipo de lámpara.*
- *Potencia de la lámpara.*
- *Horas de uso en un período de tiempo:* día, año, etc.
- *Tipo de recinto:* habitación, cocina, baño, pasillo, oficina, salón de eventos, etc.
- *Tipo de equipo auxiliar:* Para equipos de encendido inmediato se utilizan balastos electrónicos. Cuando los equipos utilizan partidores, se trata de balastos magnéticos.

Con la información el Gestor puede evaluar el sistema de iluminación y realizar una comparación entre las alternativas que conserven el flujo luminoso, seleccionando otros equipos, disminuyéndolos, insertando sistemas de control o disposición de circuitos. También para determinar reemplazos tecnológicos desde el punto de vista del usuario; en ambos casos, con el fin de optimizar la energía, reduciendo el consumo y aumentando los niveles de iluminación si es requerido.

3.2.3.2. Indicadores de eficiencia energética en iluminación

Entre las herramientas para definir y comparar los sistemas de iluminación, además de describir los beneficios del desarrollo del proyecto de eficiencia energética, el Gestor energético debe considerar las variables energéticas en las que influye cada uno, entre los cuales se consideran los siguientes indicadores que toman en cuenta la energía a utilizar y una característica de la instalación, indicando algunas propias que permitirán conocer el futuro energético de la edificación, realizar comparaciones entre otros sistemas e identificar cuales presenten mayores potenciales de ahorro.

Como referencia para el uso y creación de indicadores se considera:

- La potencia total a instalar en iluminación por unidad de área a iluminar, en $[W/m^2]$.
- El valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) el cual indica sobre si la potencia instalada por cada metro cuadrado de superficie iluminada para 100 lux de iluminancia es la adecuada para un edificio en función del tipo de uso, expresado en $[W/m^2]$ por cada 100 lux de iluminancia. El índice calculado debe ser menor o igual al VEEI presentado en la tabla: VEEI límite por uso de la edificación.
- Los índices anteriores no dan referencia sobre el confort lumínico del recinto, factor a considerar al momento de observar la potencia total a instalar y su relación con el VEEI.
- Se deben considerar en iluminación los valores mínimos expuestos en el DS 594 y ajustar el diseño eficiente a esas características, combinándolas con aspectos de seguridad y confort.
- Además, como referencia, el Gestor se puede guiar por los valores de iluminancia presentados en las tablas internacionales a continuación.

Tabla 58: Iluminancia Mantenido - UNE 12464.1.

Rubro	Lugar o actividad	Iluminancia mantenida Em [Lux]
Oficinas	Archivos, copiatoras, áreas de circulación	300
	Dibujo Técnico	750
	Salas de conferencias y reuniones	500
	Pasillos y vías de circulación	100
Edificios y/u Organizaciones Educativos	Salas de clase	300
	Pizarra (plano vertical)	500
	Salas de arte	500
	Biblioteca (zona de lectura)	500
Establecimientos Sanitarios	Gimnasios	300
	Quirófanos	10.000
	Exámenes y tratamientos	1.000
	Salas de esterilización	300

Fuente: Código técnico de edificación Phillips.

La tabla VEEI límite por uso de la edificación, a continuación, presenta los valores de VEEI referenciales.

Los grupos están determinados por:

- **Grupo 1:** Zonas de no representación o espacios en los que el criterio de diseño, la imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, queda relegado a un segundo plano frente a otros criterios como el nivel de iluminación, el confort visual, la seguridad y la eficiencia energética.
- **Grupo 2:** Zonas de representación o espacios donde el criterio de diseño, imagen o el estado anímico que se quiere transmitir al usuario con la iluminación, son preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética.

Para el cálculo del índice VEEI se debe utilizar la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P * 100}{S * E_m}$$

Donde:

P: Potencia a instalar en iluminación, considerando equipos auxiliares de iluminación.

S: Superficie efectivamente iluminada (no incluir azoteas, estacionamientos, etc.).

E_m: Iluminancia media horizontal mantenida [lux].

Tabla 59: VEEI límite por uso de la edificación.

Grupo	Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
1 zonas de no Representación	administrativo en general	3,5
	andenes de estaciones de transporte	3,5
	salas de diagnóstico	3,5
	pabellones de exposición o ferias	3,5
	aulas y laboratorios	4
	habitaciones de hospital	4,5
	recintos interiores asimilables a grupo 1 no descritos en la lista anterior	4,5
	zonas comunes	4,5
	almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	aparcamientos	5
2 zonas de Representación	espacios deportivos	5
	administrativo en general	6
	estaciones de transporte	6
	supermercados, hipermercados y grandes almacenes	6
	bibliotecas, museos y galerías de arte	6
	zonas comunes en edificios residenciales	7,5
	centros comerciales (excluidas tiendas)	8
	hostelería y restauración	10
	recintos interiores asimilables a grupo 2 no descritos en la lista anterior	10
	religioso en general	10
	salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias	10
	tiendas y pequeño comercio	10
	zonas comunes	10
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	12	

Fuente: Documento Básico HE Ahorro de Energía, Sección 3: Eficiencia Energética de las instalaciones de iluminación, Código Técnico de Edificación, España, 2006.

Además, la ASHRAE presenta un índice considerado eficiente en potencia instalada en iluminación para oficinas con un valor de 12 W/m², en un indicador sin normalizar a 100 lux ya que contiene la iluminancia recomendada.

Tabla 60: Densidad de potencia instalada de acuerdo al uso, según ASHRAE.

Áreas	W/m2
Lobby	12
Gimnasio	4
Centro de conferencias	8
Lounge	13
Restaurant	14
Bar	15
Sala de preparación de alimentos	13
Baños	10
Dormitorios	12
Estacionamientos	2

Fuente: ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007.

Aporte de energía solar fotovoltaico MINVU

En el Sistema de Calificación Energética MINVU se propone una metodología a utilizar en el cálculo para el aporte solar fotovoltaico, basada en la energía solar disponible y la eficiencia de referencia de la celda fotovoltaica. El procedimiento varía de acuerdo al área de las placas fotovoltaicas, el ángulo de inclinación, el ángulo de azimut, las sombras proyectadas y la eficiencia de los paneles solares fotovoltaicos. Además se recomienda diseñar los sistemas solares según las consideraciones de las buenas prácticas de diseño (Código técnico de edificación - Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica CTE-HE5 2006).

3.2.3.3. Sistemas eléctricos

Para la generación de electricidad se utilizan fuentes renovables la energía eólica, la energía fotovoltaica, la hidráulica o los biogases.

Para proyectar el uso eficiente de la energía eléctrica, en el estudio se deben determinar los consumos de los equipos a conectar a la red eléctrica, como referencia de la potencia mensual ocupada, evaluando también la cantidad de usuarios y el nivel de producción esperado del edificio.

3.2.3.4. Otros sistemas

Entre los equipos consumidores de energía se deben considerar otros sistemas compuestos por equipos auxiliares y otros computacionales presentados a continuación.

Equipos computacionales:

- *Monitor*: Existen tres tipos, los tradicionales de tubos de rayos catódicos (CRT), las pantallas de cristal líquido convencionales (LCD) y las pantallas de cristal líquido con retroiluminación LED.
- *Unidad de proceso central (CPU)*: es la unidad de almacenamiento y proceso de la información.
- *Computador con pantalla CRT*: Corresponde al monitor convencional de tubo de rayos catódicos, tiene un consumo total de 140 W, donde la pantalla es responsable de entre 60 a 90 W del consumo de energía eléctrica.
- *Computador con pantalla LCD*: Tienen un consumo total de 105 W, donde la pantalla es responsable de entre 15 a 60 W del consumo.
- *Computador con pantalla LED*: Tienen un consumo total de 105 W, donde la pantalla es responsable de entre 15 a 60 W del consumo.
- *Notebook o laptop*: En un solo dispositivo el consumo total de energía es de alrededor de 20 W.

Equipos auxiliares:

- *Motores eléctricos*: Los motores consumen energía eléctrica y la transforman en movimiento mecánico de rotación. Se utilizan en diversos procesos tales como: escaleras mecánicas, ascensores, accionamiento de equipos de ventilación y bombeo.
- *Bombas*: Los dispositivos para la impulsión de líquidos pueden obtener la energía necesaria desde un motor eléctrico, el cual les permite entregar al fluido energía que se traduce en un aumento de su presión. Generalmente se utilizan para distribuir el agua a las diversas zonas de consumo (por ejemplo a cada uno de los departamentos en un edificio residencial, o el agua caliente para calefacción a las diferentes zonas climatizadas). Existen diversos tipos de bombas, ya sean centrífugas o de desplazamiento positivo, y la elección de cada una de ellas dependerá de las condiciones particulares del sistema o proceso.
- *Ventiladores*: Los dispositivos para la impulsión de gases pueden obtener la energía necesaria desde un motor eléctrico y su funcionamiento y finalidad es similar al de las bombas. Existen diversos tipos de ventiladores y la elección de cada uno de ellos dependerá de las condiciones particulares del sistema o proceso.

Análisis de otros sistemas

En la evaluación de otros sistemas a diseñar se deben determinar los equipos a montar a la red en todos los recintos, diferenciándolos por zonas o circuitos para más orden. Para

cada equipo se debe tener previamente la siguiente información que es fundamental para construir la línea base y evaluar las alternativas de optimización energética:

- *Motores eléctricos*: Son clasificados por su eficiencia, y entre las alternativas se debe seleccionar uno de alta eficiencia para obtener un mayor beneficio energético y económico. Se requiere determinar en la alternativa la siguiente información:
 - Potencia de placa.
 - Tensión (o voltaje).
 - Factor de potencia.
 - Corriente.
 - Clase (según su eficiencia).
 - Par de polos.
 - Horas de operación.
- *Bombas centrífugas*: Utilizadas para distribuir agua generalmente o como equipos auxiliares de otros sistemas. En el dimensionamiento se requiere considerar la operatividad del sistema y la restricción del flujo del líquido, para lo cual se debe tener en cuenta:
 - La recirculación del flujo donde el fluido bombeado se recircula a la succión de la bomba, siendo ésta la condición más ineficiente.
 - La estrangulación de la descarga para lo cual mediante una válvula se regula el flujo requerido, lo cual involucra una pérdida de energía (ya que la energía utilizada para elevar la presión del fluido es disipada en la válvula).
 - Encendido/apagado: Esta condición entrega una reducción en el consumo de energía, pero repercute en otros factores de la operación del circuito, tales como: golpe de ariete y reducción de la vida útil del motor de la bomba.
 - Variador de frecuencia: Mediante un dispositivo electrónico se varía la velocidad a la cual opera la bomba para reducir el flujo de fluido que impulsa. Se debe considerar que el motor se diseña para operar con frecuencia variable, y además tener la precaución de no reducir la velocidad de la bomba bajo lo estipulado por el fabricante (si la bomba no cuenta con ventilación forzada, esta reducción puede repercutir en un sobrecalentamiento y posterior falla del equipo).
 - La cavitación es un problema que se genera cuando la presión en la succión de la bomba es menor a lo estipulado por el fabricante. En estos casos la bomba experimenta fuertes vibraciones y sonidos que se asemejan a tener una "piedra dentro del equipo", además de fuertes fluctuaciones en la presión de descarga y variaciones en el flujo de fluido entregado. La cavitación, además de alterar las condiciones de operación del

sistema, daña fuertemente el rodete (o impulsor) de la bomba.

- Para determinar la regulación del flujo y determinar la reducción del consumo de energía se debe conocer:
 - Densidad del flujo (para agua a temperatura ambiente, 1.000 kg/m³).
 - Flujo requerido.
 - Presión de descarga.
 - Potencia nominal.
 - Altura de impulsión.
 - Caudal nominal.
 - Eficiencia nominal.
 - Potencia eléctrica consumida.
 - Horas de operación.
 - Costo de la energía.

Con la información es posible evaluar el sistema particular y realizar una comparación entre las alternativas que presenten el mayor beneficio energético y económico resultante de implementar un motor de alta eficiencia. También para determinar reemplazos tecnológicos desde el punto de vista del usuario; en ambos casos, con el fin de optimizar la energía para reducir el consumo.

Unidad 3.3: Compatibilidad entre los sistemas de especialidades

3.3.1. Situación actual

La industria de la construcción es renuente a los cambios en las modalidades de producción, si bien consiste en un rubro dinámico en constante desarrollo y participación, al momento de modificar aspectos del trabajo, o de transformar las técnicas de ejecución se presentan discrepancias entre los participantes, las cuales ralentizan la incorporación de actualizaciones. Es de esta forma como los programas de inspección y mantenimiento para mejorar la calidad, han encontrado un difícil desarrollo en obra, donde son observados como chequeos poco óptimos y que ralentizan los procesos, lo cual es opuesto a lo experimentado, por ejemplo, en la industria automotriz, donde las listas de requerimientos a cumplir y chequeos continuos, incluyéndose en su etapa de operación, son visualizados como garantizadores de la calidad de los productos.

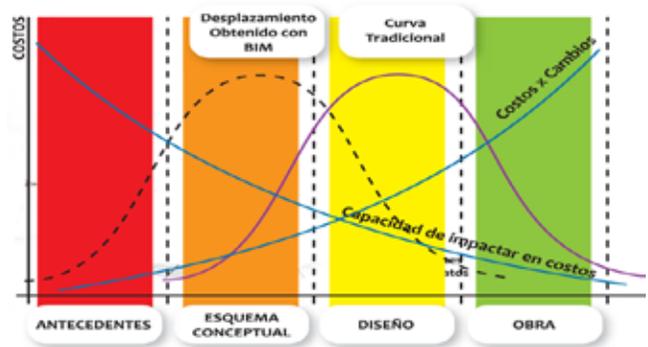
Para introducir actualizaciones en el rubro de la construcción se han generado programas de desarrollo como Lean Construction, filosofía que busca gestionar proyectos de construcción persiguiendo una mejora continua, reduciendo los costos, materiales y plazos para maximizar el valor del producto final requerido, aumentando su calidad. El sector de la construcción es parte de los indicadores en la economía del país, para el año 2014 se prevén inversiones sectoriales descendientes, en torno al 4% anual, por lo cual los cambios a implementar pasan a tomar importancia en la solución de los problemas típicos que afectan el rubro, tales como la baja productividad, el incumplimiento de plazos o los bajos índices de calidad. En el modelo se utilizan otros principios de cambio como las ideas Justo a tiempo (J.I.T.) y Gestión de la calidad total (T.Q.M.), definiendo una filosofía enfocada en reducir las pérdidas de producción. Es utilizada también en combinación con otras herramientas, como Last Planner, la cual interviene en los procesos de planificación y control de actividades, incrementando la productividad ya que toma decisiones oportunas en problemas detectados a tiempo.

Entre las herramientas que aumentan el valor del producto y generan coordinación de participantes se presenta la unión de tecnologías de diseño asistido por computador, CAD, en el modelo Building Information Modeling (B.I.M.) como una alternativa eficiente para generar la compatibilidad requerida entre los sistemas activos. Considerando que en las etapas un proyecto en la actualidad suelen ocurrir diferencias entre lo solicitado por el departamento de marketing, el pedido que realiza ventas, la proyección de ingeniería, la fabricación ejecutada y la habilitación final, discrepando completamente con el producto esperado por el cliente.

BIM genera información del modelo digital de un proyecto de construcción, creando una base de datos que coordina a los profesionales de diseño, proyección y especialidades al utilizar y transferir la información en el modelo virtual del proyecto, permitiendo detectar problemas a tiempo y optimizando recursos económicos, humanos y materiales en la resolución de los problemas.

Respecto a costos de proyectos, se observa que a medida que avanza el tiempo y las etapas de desarrollo, va disminuyendo la capacidad de influir en los costos y capacidades funcionales, a su vez cambiar elementos de diseño es cada vez más difícil, por lo que la utilización de BIM principalmente en las etapas previas a la licitación del proyecto permite ahorrar realizando una entrega más rápida y con menos órdenes de cambio, ya que fueron realizados con anticipación en etapas donde los costos de cambiar aun están en sintonía con la influencia en las decisiones.

Figura 73: Costos en el desarrollo de proyectos civiles.



Fuente: Recuperado de <http://www.comgrap.cl/noticias/del-cad-al-bim-del-autocad-al-revit>

Utilizar herramientas como BIM, permite al Gestor realizar un cambio de paradigma en la forma de operar actualmente, aprovechando las ventajas del sistema:

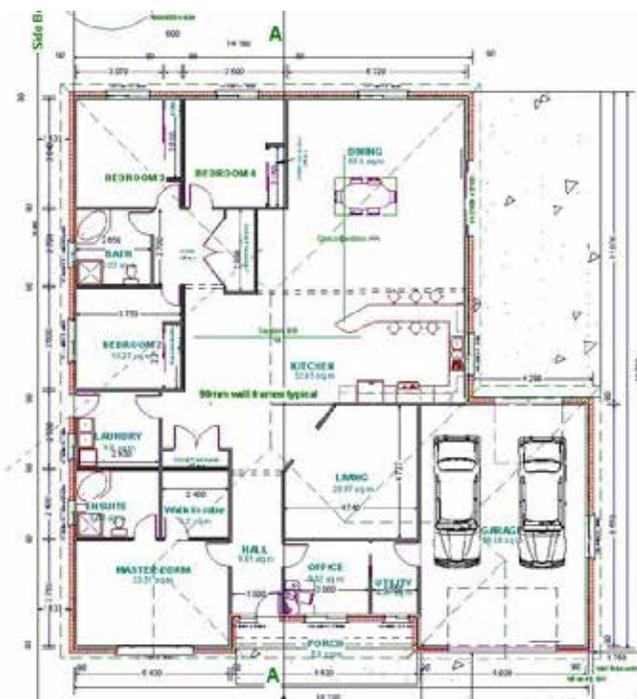
- *Aumenta la coordinación:* Generalmente muchos especialistas pueden estar trabajando sobre un mismo proyecto, por lo que BIM permite aumentar la coordinación respecto a los dibujos en 2D y entre los participantes; además, el software entre sus modalidades de uso, permite destacar las interferencias, señalándolas y avisando oportunamente a los participantes del proyecto.
- *Aumenta la productividad:* El software permite utilizar menos horas de trabajo, lo que se traduce en menores costos.
- *Aumento del diseño y la calidad de detalle:* Al reducir las horas de trabajo, es posible redistribuir los plazos y aumentar los tiempos de diseño específico, aumentando la calidad en los detalles que para el uso correcto del software, deben ser definidos completamente.
- *Control de la información del proyecto:* El software permite realizar un control total de la información del proyecto ya que es capaz de almacenar y relacionar la información gráfica con los costos asociados, volúmenes involucrados, etc.
- *Abrir nuevos mercados:* El control y uso de la información del proyecto de forma detallada permite a los

usuarios estimar los costos asociados que antes eran desconocidos, o realizar planificaciones de obra, esquemas, etc.

- *Educativo para los especialistas:* El software exige alto nivel de conocimiento del proyecto para su funcionamiento óptimo, generando en los especialistas la toma de decisiones e interacción para el desarrollo del modelo.
- *Ejemplificado:* BIM permite a los especialistas observar el avance del diseño de la obra en 3D y mantener una visión anticipada de la ejecución del proyecto, lo cual también puede ser útil para presentaciones con los mandantes o ejecutores de la obra.

La coordinación de especialidades siempre ha estado presente, especialmente en proyectos de alta complejidad. Las principales funciones del Gestor energético son: Coordinar las comunicaciones entre los especialistas, coordinar entrega de información para los especialistas, superponer los planos de especialidades, analizar los puntos de principales conflictos y transmitir esto a los requerimientos espaciales del proyecto de arquitectura entre otras funciones.

Figura 74: Un dibujo CAD tradicional.



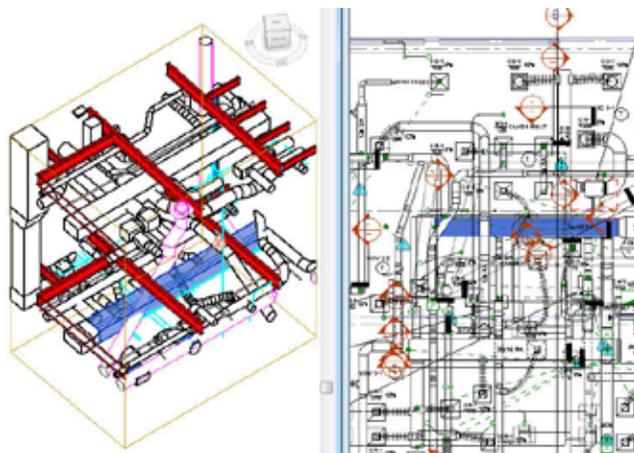
Fuente: <http://3drendering-studio.co.uk>

Con la incorporación de la tecnología BIM las múltiples tareas del coordinador de especialidades se hicieron más fáciles y al mismo tiempo dieron lugar para atender nuevas necesidades del proyecto. El coordinador de especialidades es ahora un equipo multidisciplinario que analiza aspectos más específicos de cada proyecto, cada vez que se comunica con los especialistas aumenta su conocimiento, los profesionales tienen mayor interés por la investigación y al usar una herramienta que administra información de forma ordenada, también surge en los profesionales la necesidad de estandarizar sus procesos de revisión, creación, almacenamiento y seguimiento de problemas, modifican la forma en que comienzan los análisis de los proyectos y se cuestionan como se materializaría cada elemento en la obra.

Hoy los equipos coordinadores de proyectos (llamados también equipos BIM o CDP consultoría digital de proyectos o equipos de modeladores) se han transformado en constructores virtuales

A continuación se analizará: “La metodología actual para el diseño de edificios”, “El cambio a la metodología BIM (Building Integrated Modeling)” y “Las Ventajas y desventajas, el uso para el diseño del edificio de la Energía” desde la mirada y experiencia del equipo coordinador de especialidades que ha participado en procesos de diseño de edificios públicos de alta complejidad.

Figura 75: Chequeo de interferencias en BIM 3d v/a CAD 2d



Fuente: Recuperado de <http://www.apertedesign.com>



3.3.2. La metodología actual para el diseño de edificios

A pesar de que cada día son más las oficinas de Arquitectura, ingeniería y construcción que integran la tecnología BIM en sus procesos de trabajo, el diseño de edificios aún se apoya fuertemente en trabajo en dos dimensiones, especialmente con el software autocad. Lo que vemos a diario es el trabajo sobre proyectos en los que se mezclan los recursos disponibles de tiempo y dinero, los requerimientos del mandante, las opiniones de los usuarios y en muchos casos la presión política. A continuación mostraremos los periodos de un proyecto de mediana complejidad desde su inicio como una idea hasta su materialización, al lado de cada proceso se indicarán los cambios de versión y de equipos que pueden manipular los archivos CAD:

Metodología actual de diseño 2d

- Anteproyecto inicial (CAD 01).
- Licitación del proyecto de arquitectura y especialidades (CAD 01).
- Estudio de licitaciones.
- Adjudicación.
- Desarrollo de Anteproyecto de Arquitectura y criterios de diseño para especialidades (CAD 02).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase 01 (CAD 03).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase N (CAD 03).
- Entrega de Arquitectura Congelada a las especialidades (CAD 03).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura y Especialidades Fase N (CAD 04).
- Entrega de Arquitectura y Especialidades Fase 00 para licitación de construcción (CAD 04).
- Licitación de construcción.
- Estudio de licitaciones
- Adjudicación.
- Construcción e Inspección (CAD 05).
- Habilitación (CAD 06).
- Funcionamiento (CAD 07 AS BUILT).

En este esquema general de actividades podemos ver que hay muchos puntos en que se debe crear, mejorar, ampliar, modificar, intercambiar, entregar y recibir información y cada uno de ellos implica un desafío a los equipos de

trabajo, en este esquema toda la información se trabaja por separado y sin ningún estándar, cada cambio es una amenaza para que el proyecto se descoordine.

3.3.3. El cambio a la metodología BIM (Building Integrated Modeling)

La incorporación de la tecnología BIM en Chile estuvo muy ligada a la coordinación de especialidades, principalmente porque esta era una de las instancias en donde más se podría reducir gastos adicionales, este punto de entrada permite analizar la forma de trabajo tradicional en dos dimensiones e inevitablemente analizar los beneficios que tendría utilizar nuevas tecnologías en los procesos de trabajo para el diseño y la construcción. Para lograr esto, la practica actual más común es "modelar" sobre los planos de arquitectura y especialidades existentes para luego unir, detectar problemas e interferencias y coordinar todas las especialidades consultando a los especialistas sobre cada problema. Posteriormente en la obra se genera un nuevo modelo para entender el existente y poder generar soluciones constructivas.

A continuación mostraremos los periodos de un proyecto de mediana complejidad desde su inicio como una idea aplicando la tecnología BIM en la actualidad y posteriormente mostraremos como sería un caso óptimo aplicando un estándar de trabajo BIM para todas las etapas del proyecto:

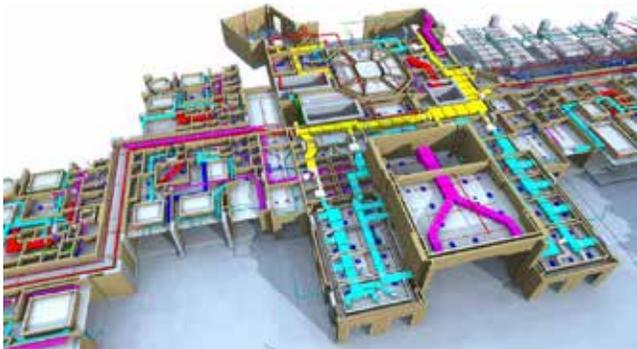
Aplicación de BIM en la actualidad

- Anteproyecto inicial (CAD 01).
- Licitación del proyecto de arquitectura y especialidades (CAD 01).
- Estudio de licitaciones.
- Adjudicación.
- Desarrollo de Anteproyecto de Arquitectura y criterios de diseño para especialidades (CAD 02).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase 01 (CAD 03).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase N (CAD 03).
- Entrega de Arquitectura Congelada a las especialidades (CAD 03 y BIM 01 modelación de arquitectura y calculo).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura y Especialidades Fase N (CAD 04 y BIM 02 modelación y coordinación de especialidades).
- Reuniones entre el equipo BIM y los especialistas.
- Entrega de Arquitectura y Especialidades Fase 00 para

- licitación de construcción (CAD 04 y BIM 02 modelo coordinado).
- Licitación de construcción.
- Estudio de licitaciones (CAD 04 y BIM 02a modelo coordinado).
- Adjudicación.
- Construcción e Inspección (CAD 05 - BIM 03 ito - BIM 03 construcción).
- Habilitación (CAD 06 - BIM 04).
- Funcionamiento (CAD 07- BIM 05 AS BUILT).

Actualmente el BIM no está en toda la vida del proyecto, por lo general el BIM se inicia cuando la arquitectura deja de tener cambios bruscos y se hace entrega oficial a las especialidades. Esto sucede porque el BIM lo realiza una empresa externa que debe volver a modelar todo desde 0, por lo tanto las consultoras BIM procuran modelar una sola vez para reducir los costos de Horas Hombre involucrados.

Figura 76: Modelo BIM de los elementos mecánicos de un edificio.



Fuente: Recuperado de <http://www.bimmepaus.com.au>

Aplicación óptima de BIM en un proyecto.

Considerando nuestra experiencia proponemos a continuación una secuencia óptima para la aplicación de BIM en un proyecto:

- Análisis del problema y estudio de factibilidad; Gestión de presupuesto; Anteproyecto inicial (BIM 01 se comienza a trabajar en BIM para entender las problemáticas del terreno, se ingresa la primera información el anteproyecto es el resultado de masas conceptuales que están relacionadas con superficies aproximadas de los programas generales).
- Anteproyecto inicial (BIM 01).
- Licitación del proyecto de arquitectura y especialidades (BIM 01).
- Periodo de consultas.
- Estudio de licitaciones (BIM 01).
- Adjudicación.

- Desarrollo de Anteproyecto de Arquitectura y criterios de diseño para especialidades (BIM 01).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase 01 (BIM 01).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase N (BIM 01).
- Entrega de Arquitectura Congelada a las especialidades (BIM 01).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura y Especialidades Fase N (BIM 01).
- Reuniones entre el equipo BIM y los especialistas (BIM 01).
- Entrega de Arquitectura y Especialidades Fase 00 para licitación de construcción (BIM 01).
- Licitación de construcción.
- Estudio de licitaciones (BIM 01).
- Adjudicación.
- Construcción e Inspección (BIM 01).
- Habilitación (BIM 01).
- Funcionamiento (BIM 01).

En este último caso, siempre se habla de BIM 01, ya que estamos pensando en un modelo que está dentro de un estándar nacional, es decir tiene los lineamientos propuestos por todos, lo único que hay que hacer es continuar incorporando información.

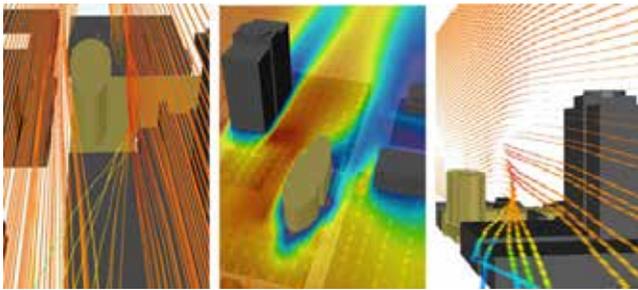
Si bien se tienen las mismas etapas, el software permite tener una continuidad de la información y disminuye las probabilidades de cometer errores por descoordinación. Usando Software BIM puedo tener navegadores de proyectos que disminuyen los tiempos de impresión, tengo menos probabilidad de que se generen interferencias entre las especialidades, puedo obtener cubicaciones cuando quiera, puedo generar programación de mi trabajo, etc.

En resumen al estandarizar mis procesos de diseño, minimizo las probabilidades de error y le doy a mi proyecto una nueva oportunidad para ser revisado mediante una construcción virtual.

3.3.4. Ventajas y desventajas, el uso para el diseño del edificio de la Energía

En el caso de los modelos de eficiencia energética las plataformas BIM y el uso integrado de modelos es una gran oportunidad para mantener modelos actualizados y evitar duplicidad de trabajo, sin embargo actualmente los equipos de eficiencia energética al igual que los de coordinación generan un modelo paralelo que atienda las necesidades y objetivos del análisis energético. En este modelo si algo queda mal modelado afectará directamente los datos de toda la envolvente térmica y a su vez las decisiones que se tomarán para diseñar la envolvente del edificio y los datos que se entregarán a la especialidad de clima para sus cálculos térmicos.

Figura 77: Edificio modelado en BIM y llevado a software de Eficiencia Energética.



Fuente: Recuperado de <http://www.design.upenn.edu>

Se recomienda que el equipo de eficiencia energética defina ante oficina de arquitectura o por el equipo coordinador BIM objetivos y lineamientos claros para la modelación, para así luego llevar el modelo BIM a diversos software de Eficiencia Energética (TAS, Design Builder, SIMERGY, etc.).

Aplicación del BIM e interacción del equipo de eficiencia energética (EE) en la actualidad.

- Anteproyecto inicial (CAD 01).
- Licitación del proyecto de arquitectura y especialidades (CAD 01).
- Estudio de licitaciones.
- Adjudicación.
- Desarrollo de Anteproyecto de Arquitectura y criterios de diseño para especialidades (CAD 02) (EE1 análisis de variables del entorno y lineamientos generales).

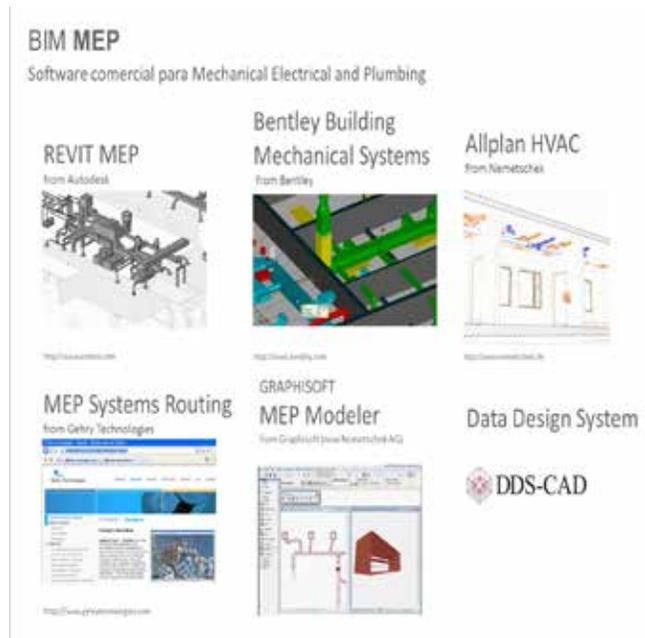
Generación de Modelo BIM con objetivo de análisis energético.

- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase 01 (CAD 03) (EE1 lineamientos generales y desarrollo de modelo de análisis energético a partir de modelo BIM).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura Fase N (CAD 03) (EE1 opciones de diseño de envolvente y elementos de mayor impacto, revisión de especialidades, desarrollo de modelo de análisis energético).
- Entrega de Arquitectura Congelada a las especialidades (CAD 03) y (BIM 01 modelación de arquitectura y calculo) (EE1 desarrollo de modelo de análisis energético entrega de información a especialistas).
- Desarrollo de Proyecto de Arquitectura y Especialidades Fase N (CAD 04 y BIM 02 modelación y coordinación de especialidades) (EE1 desarrollo de modelo de análisis energético, retroalimentación de información de parte de especialistas).
- Reuniones entre el equipo BIM y los especialistas
- Entrega de Arquitectura y Especialidades Fase 00 para licitación de construcción (CAD 04 y BIM 02 modelo coordinado).
- Licitación de construcción.
- Estudio de licitaciones (CAD 04 y BIM 02a modelo coordinado).
- Adjudicación.
- Construcción e Inspección (CAD 05 - BIM 03 ito - BIM 03 construcción) (EE02 certificación).
- Habilitación (CAD 06 - BIM 04) (EE02 certificación).
- Funcionamiento (CAD 07- BIM 05 AS BUILT) (EE02 certificación).

El Gestor debe considerar las amplias posibilidades de los software BIM en el desarrollo de las especialidades (Arquitectura, Estructura, Sanitarios, Clima, Electricidad), lo cual permite por un lado modelar el diseño del proyecto (obteniendo plantas, cortes, elevaciones), ubicarlo con precisión, mezclarlo con las demás especialidades y detectar las interferencias, explicar las situaciones espaciales a los instaladores con imágenes claras.

Por otro lado las posibilidades de intercambio de información entre modelos BIM y software de Eficiencia Energética es un campo naciente que facilita el modelamiento energético y mejora su precisión.

Figura 78: Resumen de software MEP BIM.



Fuente: Lobos, 2014

ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO.



CAPÍTULO

04

Al término del módulo el alumno será capaz de:

- Identificar las etapas en el desarrollo de propuestas y su incidencia en el costo del proyecto.
- Conocer las modalidades contractuales, sus características, aplicaciones y particularidades.
- Identificar los costos financieros de un proyecto de construcción.
- Identificar como se valora una obra material.

Unidad 4.1: Introducción al análisis de costos

En un proyecto de construcción el mandante presenta una necesidad insatisfecha a los proyectistas, quienes la diseñan y plantean en una licitación, para luego ser adjudicada y ejecutada por un contratista, mediante un contrato con el propietario. En todo el proceso descrito se desarrolla la línea de tiempo del análisis de costos, donde se analiza la propuesta del proyecto de construcción y sus etapas (llamado, estudio y adjudicación) de acuerdo a la licitación y en función de los costos, plazos y calidades pactadas.

Se define al *Propietario o mandante* como la persona natural o jurídica para quien se ejecuta la obra, el cual puede proveer de financiamiento para la ejecución realizada por el *Contratista* quien es la persona natural o jurídica que provee de conocimientos y experiencia, los materiales, el equipamiento y los recursos necesarios para la ejecución de los trabajos. Generalmente el propietario contrata a una inspección técnica de obras para defender sus intereses en terreno y controlar la ejecución de las obras de acuerdo a las especificaciones técnicas.

Los costos en los que incurre el mandante en un proyecto de edificación son:

$$\text{Costo Mandante} = \text{Costo Empresa Constructora} + \text{Utilidades Empresa Constructora}$$

Las utilidades que obtengan van a depender de la política de la empresa, y generalmente son expresados en porcentajes. Generalmente varían entre 0 y 15% según la prosperidad económica.

Para la empresa constructora, el costo incurrido dependerá del costo directo generado en la ejecución más los gastos generales asociados:

$$\text{Costo Empresa Constructora} = \text{Costo Directo} + \text{Gastos Generales}$$

El costo directo mencionado depende de los trabajos a realizar y sus precios unitarios.

$$\text{Costo Directo} = \text{Cantidades} * \text{Precios Unitarios}$$

La valorización de las cantidades se obtiene del Análisis de Precios Unitarios (APU), mediante el conocimiento de los materiales y rendimientos involucrados en materiales y mano de obra por trabajo, incluyendo pérdidas y leyes sociales asociadas a la ejecución. Las cantidades se obtienen de una metodología de cubicación de volúmenes de obra.

Los Gastos Generales (G.G.), que varían entre el 15 y el 30% del costo directo del proyecto, se dividen en G.G. directos y G.G. indirectos.

4.1.1. Propuestas

¿Cuáles son los entes participantes en las propuestas?

- El mandante, quién puede ser una empresa o persona jurídica, creando propuestas públicas o privadas, a través del respaldo de instituciones financieras y abogados. Entre los mandantes públicos y privados se encuentran: MOP y sus direcciones, Fuerzas armadas, MINVU y SERVIU, Gobiernos regionales, empresas mineras, empresas energéticas y otras empresas privadas.
- El contratista, quien realiza las obras para instituciones públicas o privadas mediante la negociación con proveedores y subcontratistas, puede contar con el respaldo de abogados.
- Proyectistas y consultores.
- El inspector técnico de obras (ITO), quien asesora las decisiones del mandante.

¿En qué tipos de propuestas se puede participar?

Cuando la idea a construir se ha planteado en un proyecto elaborado en términos de cantidad y calidad, el mandante puede determinar su financiamiento y modo de inversión, realizando posteriormente un estudio de propuesta a ejecutar. Dentro del estudio de propuestas se realiza el llamado, la entrega de documentos, visita a terreno, cotizaciones y análisis de precios unitarios (A.P.U.) entre otras etapas donde se generan consultas y aclaraciones, para generar finalmente la adjudicación del proyecto, con una programación de obras definida.

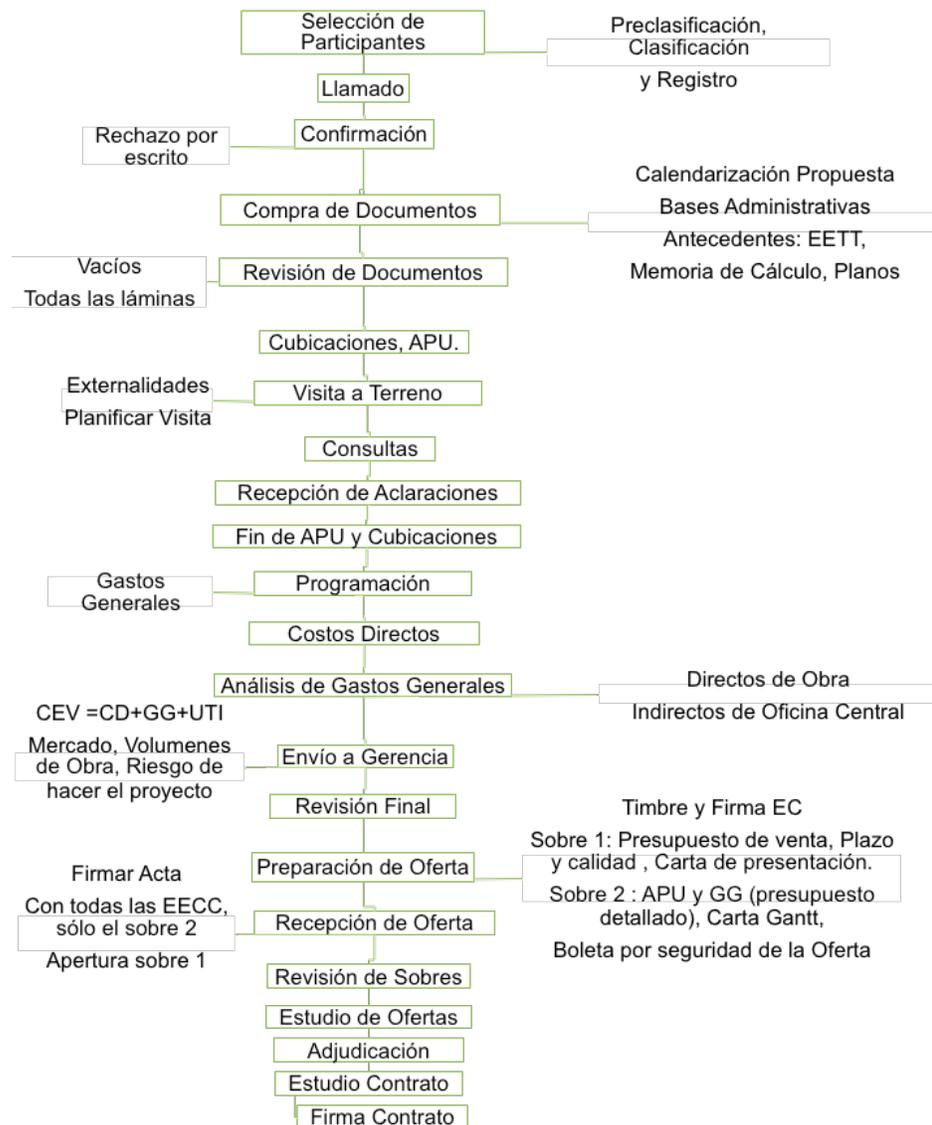
En el contrato y la propuesta se entregan también las bases administrativas que definen las condiciones bajo las cuales se realizará el proyecto. En ellas se incluyen definiciones, interpretaciones, obligaciones y derechos, con respecto a ámbitos de ejecución tales como la mano de obra, los materiales, garantías y seguros, plazos, entre otros.

- **Propuestas Públicas:** Licitación con base en un llamado público, de libre participación para cualquier contratista que cumpla los requisitos y de libre conocimiento de las empresas. En el sector público y los organismos del Estado se puede licitar sin pre aprobación de la Contraloría General de la República, mediante un registro de contratistas formado por empresas que cumplen los requisitos para ejecutar sus obras, distinguidos entre ellos para acotar la licitación o realizar una preclasificación de contratistas.
- **Propuestas Privadas:** Licitación en la que pueden participar contratistas sólo con carta de invitación del interesado, en donde las empresas invitadas (al menos 3) cumplen con los requisitos para ejecutar las obras proyectadas.
- **Trato Directo:** Contratación de los servicios de una empresa previo acuerdo de los precios, plazos y normas que regirán el contrato, el contratista debe estar inscrito en el registro que requiere el proyecto, usualmente son montos menores u obras de emergencia.

Se establecen como condiciones básicas para el desarrollo de propuestas, que sean realizadas con la máxima transparencia posible, otorgando acceso a la información, donde todos los oferentes sean potenciales ejecutores de la obra (el mandante no debiera seleccionar a priori un contratista específico).

¿Cuáles son las etapas a considerar en el desarrollo de una propuesta?

Figura 79: Etapas de una propuesta.



Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía consultada.

4.1.2. Contratos

¿Qué es un contrato en edificación?

Un contrato es un convenio elaborado en conformidad con las leyes chilenas, suscrito entre dos partes para realizar una obra, un propietario y un contratista, quién se ha adjudicado la propuesta y se obliga con el respectivo mandante a ejecutar un proyecto específico bajo su financiamiento y necesidad, mediante objetivos específicos, fijando en el contrato responsabilidades, derechos y obligaciones, cuya vigencia se encuentra circunscrita o limitada a la duración de aquella obra. La normativa nacional es una recomendación, pero una vez estipulada en el contrato pasa a ser una obligación.

¿En qué consisten los tipos de contratos a utilizar?

Todas las modalidades de contratos de edificación presentan ventajas y desventajas, por lo que sólo se puede afirmar su adaptación al proyecto en estudio.

- **Administración Delegada:** El contratista ejecuta el proyecto dirigiendo y administrando la obra. Previamente ha pactado un honorario por sus servicios con el mandante, los cuales le son reintegrados en conjunto con los costos y gastos generales en los cuales incurre durante la ejecución. Se utiliza para desarrollar proyectos completos en plazos determinados.

Se destaca por la confianza entre el mandante y el contratista, quien se presenta ante un concurso de antecedentes sin pasar necesariamente por una propuesta competitiva, y posee caja chica para iniciar las obras con anticipación, aunque el proyecto no esté terminado. Representa mayor riesgo para el mandante, debido a la inversión realizada y la delegación de la administración, por lo que requiere de un control estricto, no obstante el riesgo para el contratista es mínimo.

Los honorarios pueden ser considerados en porcentajes del valor total de la obra, en sumas fijas independientes del valor total de la obra o en precios bases con premios o multas según cumplimiento de plazos u objetivos definidos. Generalmente en el sector público es utilizado para solución ante emergencias o catástrofes, y en el sector privado permite construir a medida que se recibe información del proyecto, por ejemplo, en remodelaciones, en una modalidad conocida también como fast track.

En un contrato de administración delegada no se consideran, si ocurren, los imprevistos por causas naturales, económicas o humanas por el personal de obra o los subcontratos.

Contratos a precio fijo:

- **Serie de Precios Unitarios (Cubicación ajustable):** Se fija el valor de los precios unitarios, incluyendo costos directos, gastos generales, utilidades e impuestos, con unidades de medida fijas de cada partida. No se requiere tener completo el diseño de detalles para realizar la propuesta del proyecto y el riesgo es compartido ya que el mandante es responsable del conjunto de partidas, de las cuales conoce sus cubicaciones y compromete a ejecutar al contratista.

Deben existir cláusulas de reajuste de precios por inflación, premios o castigos según plazos, aumentos o disminuciones de obra, y otras aplicables en la determinación de los APU. Las cantidades de obra fijadas por el mandante se ajustan a las obras efectivamente realizadas y son pagadas según avances efectivos. Se realizan obras viales, túneles y canales generalmente con este tipo de contrato.

En un contrato por serie de precios unitarios no se consideran los imprevistos humanos de personal de obra o subcontrato que procedan de errores de cuantificación u omisiones del presupuesto.

- **Serie de precios unitarios por factores:** Este tipo de Contrato es utilizado en municipalidades o por el SERVIU, donde el mandante licita mantenciones urbanas en distintas zonas y publica para cada ítem o actividad, un precio unitario estimado; La oferta la comprende un factor que se multiplica por cada precio unitario dando como resultado el precio ofertado. Los factores pueden ser para cada partida o único por licitación. Las cantidades de obras se determinan de acuerdo a las necesidades de los mandantes.
- **Suma Alzada (Por obra rendida):** Es uno de los contratos más utilizados en las licitaciones de edificación, donde el mandante es responsable por el proyecto entregado del cual conoce los costos totales una vez realizado un estudio de costos del proyecto bien definido; generalmente provee de anticipos al contratista para su realización. El contratista se obliga a la ejecución en un plazo y con condiciones preestablecidas en un precio oferta fijo para el desarrollo del proyecto; Dado que las cubicaciones, APU y cotizaciones son realizadas por el contratista, es él quien asume los errores y beneficios estableciendo el máximo riesgo en su responsabilidad. Si bien es un contrato con precios reajustables según los procedimientos establecidos en el contrato, para realizar los estados de pago parciales, los avances pactados deben estar terminados.

La Inspección Técnica de Obras (ITO) cuida los intereses del mandante en lo que está dentro de sus responsabilidades contractuales y la ejecución de los procesos, por tanto se infiere que si el contratista no sigue las instrucciones de la ITO, él debe pagar por la ejecución o reparación de los eventos no conformes.

En un contrato a suma alzada se deben considerar las ocurrencias de imprevistos por causas naturales, económicas o humanas por el personal de obra o los subcontratos.

- **Llave en mano:** Se fija el costo final por la venta del proyecto completo, incluyendo suministros, costos del proyecto, construcción, gastos generales y utilidades. El proyecto es diseñado según las especificaciones técnicas y presupuesto disponible del mandante, quien realiza los pagos por avances específicos de obra o una vez completada, y según reajuste, por lo que el contratista debe poseer la liquidez de realizar el proyecto en su diseño, estudio y ejecución. Es utilizado, por ejemplo, para ejecutar las viviendas prefabricadas.

Tabla 61: Resumen de responsabilidades.

Tipo	Reajustes	Riesgo de precios	Riesgo de cantidades
Administración delegada	Directos	Mandante	Mandante
Serie de precios unitarios	Cubicación ajustable	Contratista	Mandante
Suma alzada	Según UF, IPC, etc.	Contratista	Contratista

Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía consultada.

¿Cuáles cláusulas del contrato participan en el desarrollo del proyecto?

Entre las cláusulas a establecer en un contrato de construcción, que buscan redactar artículos de las bases administrativas, se encuentran:

- **Anticipos:** corresponde a un préstamo para iniciar las obras, realizado desde el mandante hacia el contratista. Su devolución, cálculo, momento de entrega y garantía está expresada en las bases administrativas. Generalmente su devolución es paulatina, para disminuir los costos financieros, mediante estados de pago y cláusulas de montos de contrato. Es conveniente para el contratista ya que no debe pagar interés en la devolución, a diferencia de un préstamo bancario por el mismo monto y forma de pago.
- **Modificaciones de obra:** corresponde a los aumentos de obra, disminuciones de obra y obras extraordinarias. Se realizan considerando que los presupuestos expresados entre las partes varían, existiendo a futuro diferencias, contradicciones, falta de claridad de las bases administrativas o sugerencias del contratista.
- **Aumentos de obra (AAOO):** Corresponde a la ejecución de mayor cantidad de obra de una partida, que está originalmente valorizada en el presupuesto que es parte del contrato. La cantidad de obra está cuantificada en

una cubicación, y la unidad de ejecución de dicha partida está valorizada en un Precio Unitario. Un aumento de obra puede ir asociada a una disminución de obra (DDOO), por redistribución de espacios, y el valor final puede ser establecido en porcentajes de variación del APU, respecto de las cantidades originales.

Valorización de Actividad = Cubicación × Análisis de Precios Unitarios (A.P.U.)

- **Obras extraordinarias (OOEE):** Corresponde a obras que no están consideradas en el presupuesto original, por lo que se debe establecer su valorización de actividad, especificando el método de realización, y otros casos extraordinarios como el ingreso de otro contratista a la obra.
- **Plazos:** Su especificación influye en los costos directos (C.D.) y gastos generales (G.G.), ya que si se realizan modificaciones en una partida, se puede mantener el costo de partida por plazo o evaluar su impacto en el tiempo de ejecución y en los GG mediante la programación de obra con carta Gantt. Respecto a los plazos de ejecución y retrasos, se estipulan multas y premios en los contratos, los cuales estipulan la forma de pago, su periodicidad, procedimientos, fechas, plazos de aceptación o rechazo, periodos de reingreso, aprobaciones, tiempos de facturación y cobro de pagos.
- **Gastos generales:** Para justificar los cobros extra en alguno de sus ítems, se debe especificar si eventualmente son parte de modificaciones, ante la creación de una partida o, si en una existente se modifica la ruta crítica.
- **Utilidades:** Generalmente no se especifican las utilidades a recibir por modificaciones, con valorizaciones de actividades, dado que el contratista cobra según porcentajes de la valorización de actividades, se propone no cobrar por actividades extra, dado que, por ejemplo, no se valora la diferencia de estándar.
- **Retención a los estados de pago:** Corresponde a un instrumento del mandante en adición a la garantía por fiel cumplimiento del contrato. Las retenciones son especificadas en porcentajes del monto total y estados de pago a realizar, siendo devueltas al contratista en fecha posterior a la recepción de las obras.
- **Responsabilidades y obligaciones:** Indican quién es el responsable de los pagos a trabajadores, imposiciones, subcontratistas y proveedores, calidad de materiales y elementos constituyentes, seguridad de obra y daños a terceros.
- **Seguros:** Para proteger al contratista, ante robos,

incendios, daños a terceros y responsabilidad en el pago de primas de dichos seguros.

- **Arbitrajes:** Se indica quién o quienes puede actuar como árbitros arbitradores de ser requerido ante un desacuerdo entre la Inspección Técnica de Obras (I.T.O.) y las partes que suscriben la decisión

Tabla 62: Cláusulas de un contrato de construcción.

Individualización de las partes	Plazos totales y/o parciales (hitos)
Naturaleza del contrato	Anticipos
Modalidad	Garantías y retenciones
Antecedentes del proyecto	Multas y/o premios
Precio y moneda	Responsabilidades y Seguridad
Forma de pago (con o sin IVA)	AAOO, DDOO y OOOE
Existencia o no de reajustes	Arbitrajes

Fuente: Elaboración propia.

Cabe considerar dentro de la estipulación de la oferta, con valores informativos, el impacto de los valores proforma; los cuales se consultan en obras no definidas en el estudio del proyecto, pero necesarias para su ejecución. Entre ellos se encuentran el traslado de postación eléctrica, los servicios de agua potable, alcantarillado, aguas lluvias, servicios comunicacionales, etc., donde el contratista efectúa el gasto de las obras y el mandante reembolsa el 100% de lo indicado por factura u otro medio, sin aplicar utilidades, gastos generales e impuestos.

Especialmente en contratos con especialidades, cabe considerar en su estipulación el cambio de equipos, los periodos de importación y su influencia en los tipos de contratos.

¿En qué consisten las garantías que protegen a los participantes del desarrollo de un proyecto?

Las garantías constituyen para el mandante una justificación de la inversión a realizar, mediante un documento que compromete al contratista a ejercer su responsabilidad. Para generar la garantía se debe poseer solvencia económica que genere un respaldo competente e idoneidad técnica, demostrando la capacidad de realización de la obra y su estudio.

Las garantías pueden ser constituidas en cheques, pólizas,

vales vista o boletas de garantía bancaria, las cuales son nominativas, no endosables ni irrevocables, emitidas generalmente en uf y pueden ser reajustables. Son pagadas por una razón específica, o glosa; por ejemplo, si se le garantiza al mandante que se comienza la obra el lunes, el mandante no puede cobrarla si la obra se empieza el domingo.

¿Cuáles son los tipos de garantías?

- **Seriedad de la oferta:** Ante el llamado a estudio de las propuestas, los contratistas se comprometen mediante un monto idéntico a cobrar en fecha posterior a la adjudicación, válido para todos los participantes de la licitación. El mandante puede cobrar la garantía si el contratista adjudicado niega su participación.
- **Fiel cumplimiento del contrato:** El contratista se compromete a cumplir todas las obligaciones contraídas con el mandante, mediante una suma porcentual del contrato, en una boleta a cobrar en plazo posterior al establecido en la oferta. También se compromete a realizar los pagos pendientes hacia terceros y multas aplicables.
- **Anticipo:** Es utilizado para garantizar el recibo del anticipo provisto por el mandante, en una boleta con suma porcentual del contrato y vigente durante plazo posterior al establecido en la oferta; respaldando la inversión y utilización del anticipo recibido o su restitución.
- **Retenciones:** Utilizado para garantizar la correcta ejecución de las obras, reteniendo en cada estado de pago un porcentaje de su valor, hasta completar un porcentaje del valor total del contrato. Utilizado generalmente en subcontratos.
- **Mantenición:** Garantiza que el contratista realizará una correcta ejecución de las obras y cumplirá el acta de recepción provisoria, recibiendo en un plazo posterior a ella, la totalidad de las retenciones efectuadas en porcentaje del contrato acordadas.

4.1.3. Presupuestos

¿Qué tipos de presupuestos se utilizan en el desarrollo de un proyecto?

- **Presupuesto Estimativo:** Costo preliminar aproximado de un proyecto.
- **Presupuesto Oficial:** Estudio detallado por parte del

mandante, de las cantidades, precios unitarios y totales previstos para una obra.

- *Presupuesto Compensado*: Se determina la proporción de la oferta sobre el presupuesto oficial del mandante y este factor se aplica a cada valor unitario oficial. Busca regularizar los egresos de dineros en un proyecto.

En las licitaciones se utilizan también otras modalidades oficiales de presupuesto entregadas en los sobres de participación:

- *Presupuesto de venta*: traspasado en el primer sobre de oferta económica indica un valor total neto con IVA, entregando el valor total bruto del costo de construcción.
- *Presupuesto resumido*: entregado en el segundo sobre describe los gastos generales y utilidades según su porcentaje respecto a los costos directos conformados por los porcentajes de obras previas, obra gruesa, terminaciones, obras exteriores e instalaciones. En este presupuesto las partidas son asignadas en porcentaje según avance, los que se van sumando a los estados de pago, por ello, los gastos generales y utilidades se consideran en porcentajes y su suma conforma el costo directo total, sobre el cual se aplican los porcentajes y se genera el monto total neto del estado de pago.
- *Presupuesto detallado*: Si las partidas no han sido definidas y se requiere llamar a licitación, para luego definirlas en el transcurso del proyecto, se utilizan los Valores Pro Forma (VPF), los cuales entregan cálculos estimados respecto a los valores máximos por partidas. Con ellos, el mandante puede conseguir respaldo bancario y generar, por ejemplo, contratos a suma alzada, a partir de una alternativa presupuestaria conocida, o, seleccionar uno de los provistos por el contratista, quien se hace cargo de la gestión integral del subcontrato, fijando los gastos generales y utilidades en anexos y cartas de obra. Si el V.P.F. es parte de la ruta crítica, el contratista debe indicar el tiempo necesario en el que se debe establecer la partida con sus especificaciones.

4.1.4. Itemizados y análisis de precios unitarios

¿Cómo se determinan los costos de ejecución de un proyecto?

El mandante al momento de analizar los costos de

realización de una obra, debe contemplar por un lado los costos que generarán las utilidades de la empresa constructora; y por otro, los costos de su labor, incluyendo costos directos, según la cantidad de estructuras, sus precios unitarios, y los gastos generales producto de la ejecución.

Para obtener los precios unitarios de las estructuras y realizar el cálculo de los costos directos, es necesario efectuar el análisis de precios unitarios (APU), a través de los rendimientos de materiales, mano de obra, sus pérdidas y leyes sociales de los trabajadores por proceso. Las cantidades de materiales son determinadas mediante cubicación del proyecto.

Los rendimientos corresponden a los volúmenes de obra realizados durante la unidad horaria, pueden ser obtenidos mediante observación directa, reglas y fórmulas o datos del fabricante, para el caso de equipos y maquinarias.

Por ejemplo, para obtener el rendimiento de un pintor que cubre 100 m² en una hora, se debe evaluar su unidad de área de trabajo para ver su afectación en el costo directo y obtener su análisis de precios unitarios.

$$\text{Rendimiento Pintor} = \frac{1 \text{ unidad de pintor}}{100 \text{ m}^2 \text{ en una hora}} = 0,010$$

¿Qué es cubicar?

Realizar una cubicación permite al Gestor energético dimensionar los volúmenes de obra y realizar una pre-construcción útil para revisar el proyecto durante todas sus etapas. Puede determinar, por ejemplo, los volúmenes geométricos a rellenar, hormigones de fundación, enfierraduras, vigas y cadenas, moldajes y otros paramentos.

4.1.5. Costos financieros

¿Cuáles son los costos financieros involucrados en el desarrollo de un proyecto?

4.1.5.1. Gastos generales

Los gastos generales son aquellos insumos tales como telefonía o electricidad, no cargables directamente como costo fijo en partidas determinadas, ya que al intervenir en varias actividades y ninguna en particular, no es posible calcular a priori sus rendimientos unitarios. Son calculados para cada obra en función de su plazo, programación y

costos de cada partida, expresándolos en porcentajes de los costos directos del proyecto. Se consideran dos tipos de gastos generales: Los directos de la obra, que se producen por efecto de ejecutar un proyecto; y los indirectos de la empresa, los cuales corresponden a los gastos de oficina central, calculados en montos sobre la base de los gastos de los años anteriores y pagados por todas las obras que se estén ejecutando.

Gastos generales directos generados en obra por su ejecución

- Garantías de inversión realizada, tales como las boletas bancarias de Seriedad de la oferta.
- Seguros pagados por el mandante como primas, ante efectos de Incendio, Daños a terceros, etc.
- Costos financieros, los cuales son los activos de la empresa, tales como Interés de capital de giro.
- Sueldos fijos de obra que comprenden al personal de dirección, administración y apoyo.
- Maquinarias que no se incluyeron en el costo directo de una partida específica.
- Insumos referidos a los consumos de instalaciones u oficinas.
- Permisos Municipales pagados por la empresa constructora, por ejemplo: uso de calzadas.
- Gastos legales y de comercialización para empresas constructoras que trabajan como inmobiliarias a la vez. Por ejemplo: Honorarios abogados por contrato compraventa, Gastos de promoción.

Gastos generales indirectos de la empresa

- Arriendo de Oficinas.
- Personal Permanente.
- Cuentas (electricidad, agua potable, etc.)
- Papelería, etc.

4.1.6. Tasaciones de bienes inmuebles

¿En qué consisten las tasaciones de bienes inmuebles?

La valoración de un inmueble se utiliza para sus alcances económicos y de mercado, en la determinación de seguros, intereses e inversiones asociadas, o el reemplazo de un bien si no implica reposición, para lo cual se utiliza el



concepto de costo. El monto dispuesto a utilizar en una transacción es el precio del bien. Con la especificación anterior, el mercado fija el precio, la cantidad a transar y la velocidad de venta de bienes inmuebles tales como viviendas, locales comerciales, edificios de oficinas, loteos industriales, etc.

La valoración permite tasar los bienes inmuebles en función de sus características cualitativas y cuantitativas para ser utilizadas en herramientas tales como créditos hipotecarios, análisis de inversión, herencias, entre otros. Considera en sus procedimientos características del inmueble tales como el terreno de emplazamiento; la edificación y sus atributos; la vida útil y residual; la depreciación y los periodos de amortización.

Para desarrollar una tasación se debe definir el bien a valorar, seleccionando un método a utilizar según la finalidad que posea y los requisitos que presente, recopilando los antecedentes necesarios para realizar un levantamiento de datos referenciado. Se consideran entre otros factores en el proceso, el uso de suelo y destino, la dirección municipal y rol de avalúo, el terreno, la edificación, las obras complementarias y la información del mercado.

¿Cuáles son los métodos de valoración utilizados?

- De comparación: Permite determinar el valor de un objeto según comparación de parámetros en bienes sustitutivos o de características similares, considerando sus atributos, el segmento de mercado en el que se encuentra y una muestra representativa. Se utiliza en instituciones financieras ya que define garantías y liquidaciones.
- De costos de reposición: Permite determinar un valor técnico o de reemplazo de un proyecto en cualquiera de sus etapas, generando valores brutos o depreciados. Para determinar valores brutos se consideran las inversiones: el valor del terreno, los costos de la edificación y los gastos necesarios; ajustando los precios según la evolución del mercado. Para determinar los valores netos, se restan del valor bruto las depreciaciones físicas y funcionales del inmueble.
- De capitalización por rentabilidad: Permite obtener el valor de tasación según las rentas que genera o generará el bien. Se aplica a inmuebles susceptibles a producir rentas tales como locales, oficinas, bodegas, estacionamientos. Para valorar la renta neta anual se considera la tasa de capitalización según tipo de inmueble y uso con

los arriendos y gastos involucrados. En la valorización de las rentas esperadas según explotación económica, se consideran los flujos de caja de ingresos y gastos en su vida útil, los cuales se capitalizan a una tasa previsible.

- Residual: Permite determinar el valor de mercado de un terreno edificable o de un inmueble a rehabilitar considerando el valor residual del mismo. Requiere estimar según bienes de un mercado similar: el mayor y mejor uso del inmueble, sus fechas de labor y comercialización, costos de construcción, gastos de promoción, financieros y de comercialización, entre otros, para determinar los flujos de caja y rentabilidad con una tasa anual actualizada.

Unidad 4.2: Matemáticas financieras y criterios de decisión

Para medir el aumento del valor de un proyecto en un periodo, su rentabilidad y para tomar decisiones racionales que impliquen pasar de una condición actual en términos de capital invertido a otra más conveniente, que genere mayores rendimientos relativos en el tiempo, el Gestor energético debe evaluar las alternativas presentadas en periodos equivalentes a través de las herramientas que proveen las matemáticas financieras. Ellas consideran que el valor del dinero cambia con el tiempo, por lo que la decisión de invertir estará afectada al costo de oportunidad que se presente, el cual entrega el beneficio máximo entre invertir en una idea alternativa mejor y no en otra.

4.2.1. Matemáticas financieras

¿En qué consiste el cambio del valor del dinero en el tiempo?

El invertir, percibir o prestar un peso hoy tiene más valor que un peso percibido el próximo año, según las posibilidades de invertir en la actualidad. El costo alternativo de la decisión, estará representado por lo que se dejará de percibir al no invertir en otra opción presentada.

De acuerdo a la racionalidad económica, las personas están dispuestas a sacrificar consumo presente con tal de que ese esfuerzo les genere mayor consumo futuro, lo cual ocurre cuando el capital inicial fue aumentado en el interés o rendimiento ganado.

En la inversión a realizar el Gestor presentará flujos de caja considerando el tiempo de análisis, los cuales determinarán la rentabilidad en el periodo mediante la tasa de interés i . Si el beneficio a obtener de la inversión se debe al capital C_0 inicial y son retirados al vencimiento del periodo t , el monto denominado valor actual VA , se obtiene a través de un interés simple i_s , el cual se aplica a la cantidad inicial y no es agregado al capital.

$$VA = C_0 * (1 + i_s t)$$

Cuando el valor actual esté invertido en n periodos de rentabilidad donde se reinvierten los beneficios, el monto capitalizado denominado valor futuro VF , toma el valor presente y lo lleva a flujos futuros, utilizando el interés compuesto i_c .

$$VF = C_0 * (1 + i_c)^n$$

Considerar:

$$(1 + i_{anual})^1 = (1 + i_{mensual})^{12}$$

¿Cuál es la utilidad de conocer el valor del dinero en el tiempo?

Al momento de capitalizar, el Gestor energético debe considerar que producto del cambio del valor del dinero en el tiempo, los flujos futuros se deben descontar para obtener un valor actualizado, lo cual permite, por ejemplo, obtener los valores actuales de la cuota de un préstamo a conseguir. El valor de la cuota estará determinado por el valor actual de un flujo que se encuentra a n periodos, menos el valor inicial invertido a una tasa de interés anual r .

$$C = \frac{VP * \left(\frac{(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right)}{n}$$

Por ejemplo, si se pide un crédito de 1.000 UF para ser pagado en 10 cuotas anuales, con una tasa de interés anual de 10%, se tendrá el siguiente desarrollo esperado del crédito:

$$Cuota = \frac{1.000 * \left(\frac{(1+0,1)^{10}}{(1+0,1)^{10} - 1} \right)}{n}$$

Tabla 63: Desarrollo del crédito.

Año	Deuda	Interés	Amortización	Cuota
0	100			
1	937,3	100	62,7	162,7
2	868,2	93,7	69,0	162,7
3	792,3	86,8	75,9	162,7
4	708,8	79,2	83,5	162,7
5	616,9	70,9	91,9	162,7
6	515,9	61,7	101,0	162,7
7	404,7	51,6	111,2	162,7
8	282,5	40,5	122,3	162,7
9	148	28,3	134,5	162,7
10	0	14,8	148,0	162,7
		627,5	1.000,0	1.627,5

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

Para minimizar el riesgo del inversionista, se determina una rentabilidad mínima a exigir representada por la tasa de descuento, la cual presenta un retorno esperado para cubrir la inversión inicial, los egresos de la operación y los intereses por el financiamiento con préstamos. La tasa de descuento estimada para un proyecto de inversión está entonces compuesta por el retorno de una inversión libre de riesgo, el costo del capital y una prima adicional por el riesgo asumido por el inversionista al no optar por otra opción. En el valor presente del momento cero el factor de descuento puede ser observado en el denominador del cálculo de un capital evaluado en n periodos.

$$VP = \frac{C}{(1 + i)^n}$$

Las técnicas tradicionales de selección de proyectos no consideran el riesgo, la incertidumbre, el costo de capital invertido ni el valor del dinero a través del tiempo. La crítica está en que no cubren de manera adecuada los principales problemas que enfrenta el proceso de toma de decisiones, a saber: las reinversiones, la distinta duración de los proyectos, la diferente estructura temporal de los beneficios, la restricción de capital, la dependencia entre proyecto, la inflación, etc.

Las premisas de las técnicas descontadas de selección de proyectos son: toman en cuenta el costo del capital, consideran todos los futuros ingresos de efectivo o flujos de caja neto, ignoran los costos hundidos, consideran la depreciación, toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo y asumen que todos los beneficios son igualmente ciertos.

4.2.2. Criterios de decisión

Para tomar decisiones respecto a la eficiencia energética de la edificación, en ocasiones el Gestor energético buscará según el tipo de proyecto, ahorrar energía evaluando las alternativas disponibles reduciendo por ejemplo la demanda máxima, lo cual puede ser realizado mediante el diseño de operación y gestión de los equipos, a través de la modificación de sus cargas energéticas, horarios u otros, o seleccionando alternativas que requieran de una inversión para lograr el ahorro energético.

Al momento de seleccionar una alternativa que requiera de inversión para lograr el ahorro energético, el Gestor energético siempre debe determinar su rentabilidad, con el fin de estimar acertadamente los beneficios que involucrará la realización de la inversión. Debe tener presente que el objetivo de la eficiencia energética es desarrollar para el largo plazo, una estrategia de abastecimiento energético que entregue los mayores beneficios energéticos a un menor costo. Los beneficios energéticos y económicos producto de la implementación de una medida de eficiencia energética deben ser complementados con un análisis financiero para la implementación de la optimización energética, evaluando económica y financieramente el proyecto.

En la evaluación económica de los proyectos a desarrollar se calculan los indicadores económicos que permiten tomar decisiones, los cuales son de utilidad considerando la limitación de los recursos y las múltiples alternativas a desarrollar; los criterios están basados en:

El monto de la inversión: Considerando que para definir el valor total del dinero a utilizar en el proyecto de eficiencia energética se han realizado cotizaciones de equipamiento, mano de obra, detalle y otros gastos asociados al desarrollo de la optimización energética.

El ahorro anual a percibir: Cada año de utilización de la alternativa tecnológica a implementar se obtendrán beneficios económicos a considerar.

El plazo de evaluación: Determinado por la vida útil del proyecto y otros motivos del inversionista para definir línea de tiempo.

El Gestor debe considerar que el análisis energético se desarrollará desde la perspectiva del diseñador de proyectos de edificación y no desde el usuario, la sociedad o la empresa proveedora de energía. La rentabilidad a comparar entre las alternativas eficientes energéticamente va a depender principalmente de la inversión a realizar, la magnitud de consumo energético aumentado o energía ahorrada en el proceso, el costo de la energía a utilizar, su vida útil y el valor en el tiempo del capital a invertir.

¿Cuáles criterios de decisión utilizar?

Los criterios de decisión son formas de combinar los elementos relevantes a fin de configurar indicadores que faciliten y guíen el proceso de toma de decisiones. Los indicadores recogen e incluyen las dimensiones económicas financieras, por tanto son elementos fundamentales para tomar una decisión.

En la búsqueda de indicadores que optimicen la eficiencia energética, la definición de la tasa de descuento adecuada para la evaluación dependerá del gestor y las políticas de la empresa que definen los umbrales de rentabilidad esperados según sus posibilidades de inversión. *La tasa de descuento* corresponde al costo de oportunidad de invertir en un proyecto y por tanto varía en función de quien realice la inversión, representando el beneficio esperado por el inversionista.

Dado que realizar la inversión en eficiencia energética significa un gasto de capital en el periodo actual, buscando ahorrar energía en el futuro o disminuir la demanda energética, la tasa de descuento es una herramienta útil para el gestor en la comparación cuantitativa de ahorros y gastos que ocurren en periodos distintos.

Para evaluar beneficios respecto a las inversiones en eficiencia energética se requiere determinar los costos anuales de capital involucrados en las alternativas a comparar, presentándolos en flujos de capital por periodo, mediante los cuales se podrán calcular los costos a partir del factor de recuperación del capital *FRC*.

El factor considera que si la vida útil de la inversión I_0 es n años y la tasa de descuento escogida por la empresa es r , el costo anual del capital invertido CA se determina de acuerdo con las funciones siguientes, donde el factor que multiplica CA es el factor "valor presente uniforme" y su recíproco es el factor de recuperación del capital *FRC*.

$$I_0 = \sum \frac{CA}{(1+r)^n} = CA * \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n}$$

$$CA = I_0 * \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

Para evaluar las inversiones en eficiencia energética se debe seleccionar un método según los objetivos, condiciones y preferencias del gestor. Entre los más utilizados se consideran: el periodo de recuperación simple *PRS*, periodo de recuperación descontada *PRD*, tasa interna de retorno *TIR*, costo del ciclo de vida *CCV*, costo del ciclo de vida anualizado *CCVA* y costo de ahorrar energía *CAE*. Entre los criterios, se presentan especialmente los referidos al ciclo de vida de la inversión y el costo de ahorrar energía, los cuales permiten abordar ejemplos más clarificadores para el gestor.

- Periodo de recuperación simple PRS

El indicador PRS dada su simplicidad es uno de los más manipulados, utilizando el precio unitario de la energía *PE* en casos, por ejemplo, donde la inversión se estima será recuperada en periodos cortos de tiempo. En otras palabras el indicador PRS corresponde al periodo de retorno de la inversión realizada; no considera la vida útil ni el valor del dinero en el tiempo y define en la comparación entre los equipos E_{est} como el consumo de energía anual del equipo estándar y E_{efic} como el consumo de energía anual del equipo eficiente. Según la comparación, ΔI puede ser la diferencia entre los costos de capital de la alternativa eficiente y estándar; el costo de la opción eficiente y la reparación eventual de la opción estándar existente o sólo el costo de capital de la alternativa eficiente si el equipo estándar opera normalmente y no requiere de reparación en el periodo corto de análisis.

$$PRS = \frac{\Delta I_0}{PE(E_{est} - E_{efic})}$$

- Periodo de recuperación descontado PRD

A diferencia del PRS, el PRD considera la vida útil del equipo y el valor del dinero en el tiempo, tomando en cuenta los flujos de dinero en valor presente, donde a partir de la tasa de descuento r seleccionada por el gestor y una vida útil del equipo en n periodos considerados a evaluar, determina el factor de recuperación del capital *FRC* para la determinación del periodo de recuperación del capital descontado.

$$PRD = n * FRC * \frac{\Delta I_0}{PE(E_{est} - E_{efic})}$$

- Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto corresponde a la evaluación de la diferencia entre todos los ingresos y egresos proyectados para un periodo de tiempo, expresados en moneda actual. Considera el valor presente del flujo de caja neto para la inversión y el valor presente de los ingresos de efectivo que genera el negocio, donde los beneficios son crecientes y constantes a una tasa de interés variable.

$$VAN = \sum_{i=0}^n \left(\frac{F.C.N_t}{(1+i)^i} \right) = \sum_{i=1}^n \left(I_0 + \frac{B_i - C_i}{(1+i)^i} \right)$$

Si la tasa de descuento es variable para todos los periodos se tiene:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{F.C.N_t}{\prod_{k=0}^n (1+i_k)}$$

Ya que en las operaciones no existe un único flujo inicial y final, en el momento cero se tiene un flujo negativo correspondiente a la inversión, y posteriormente se esperan flujos positivos asociados al rendimiento del negocio, por ejemplo:

Figura 80: Perfil financiero.

Periodos	0	1	2	3	4	5
Flujos	(100)	30	30	50	50	80

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

La interpretación del VAN es útil para decidir sobre una alternativa de inversión, respecto a otra que esté evaluada en el mismo periodo y a igual tasa de interés. Mientras mayor sea el VAN de una alternativa, mejor es desde el punto de vista económico.

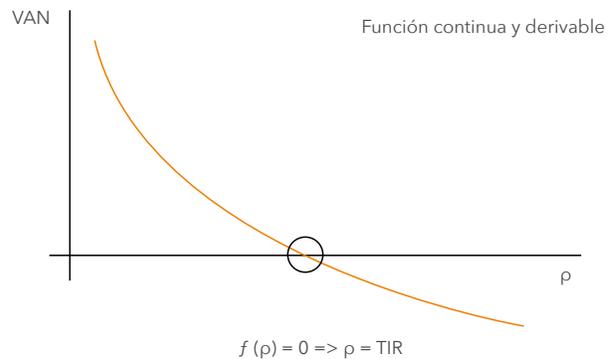
- Si el VAN > 0, la alternativa es recomendable.
- Si el VAN = 0, la alternativa no es recomendable.
- Si el VAN < 0, la alternativa no es recomendable.

Entre sus ventajas se considera el que en valor monetario entregue y sea un indicador de riqueza confiable, ya que determina el incremento de la riqueza actual del inversionista al presentar los flujos futuros de la alternativa, considerando el costo alternativo en el que incurre el inversionista.

Entre sus desventajas se propone que requiere la tasa de descuento del inversionista para su cálculo, el costo alternativo, y no refleja la duración ni la inversión del proyecto.

Cabe observar, la importancia del momento en que se perciben los beneficios, ya que a medida que es mayor la tasa de interés, menos importante son los costos e ingresos que se generan en el futuro y mayor importancia tienen los costos e ingresos cercanos al inicio del proyecto.

Figura 81: Función Valor Actual Neto en función de la tasa de descuento ρ.



Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

Para calcular el valor de los flujos y expresarlos en valor del momento cero, el Gestor debe descontar de cada uno de ellos la tasa de interés i que se espera rinda por periodo y el momento n en que se produce. Si por ejemplo a ese flujo se le exigiera un rendimiento de un 5% se tendría que el negocio realizado devuelve la inversión inicial de \$100, rinde un 5% por periodo y entrega un excedente de \$102,79.

Tabla 64: Valor Actual Neto VAN en un periodo de 5 años con un interés de 5%.

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(100)	$1/(1+0,05)^0$	(100)
1	30	$1/(1+0,05)^1$	28,57
2	30	$1/(1+0,05)^2$	27,21
3	50	$1/(1+0,05)^3$	43,19
4	50	$1/(1+0,05)^4$	41,14
5	80	$1/(1+0,05)^5$	62,68
Valor Actual Neto VAN			102,79

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos. La función continua y derivable del VAN permite observar otros criterios de decisión complementarios, como la TIR.

- Tasa interna de retorno (TIR)

En ocasiones puede ser de utilidad calcular una tasa máxima como medida de retribución para la rentabilidad exigida al proyecto y la devolución de la inversión efectuada, la cual se obtiene igualando el VAN de los ingresos con el VAN de los costos, utilizando una tasa de interés que hace igual a cero el valor actual de los flujos de caja netos, indicando la conveniencia de realizar la inversión en función de otra opción. En otras palabras, la *TIR* definirá la tasa de descuento para la cual dos alternativas de inversión tendrán el mismo VAN, por tanto en el momento de evaluar las alternativas estándar y eficiente, la *TIR* será el valor para la cual se cumple la igualdad de valor presente de los ahorros de energía con el diferencial de la inversión requerida en equipos estándar I_{est} y en equipos eficientes I_{efic} .

Si

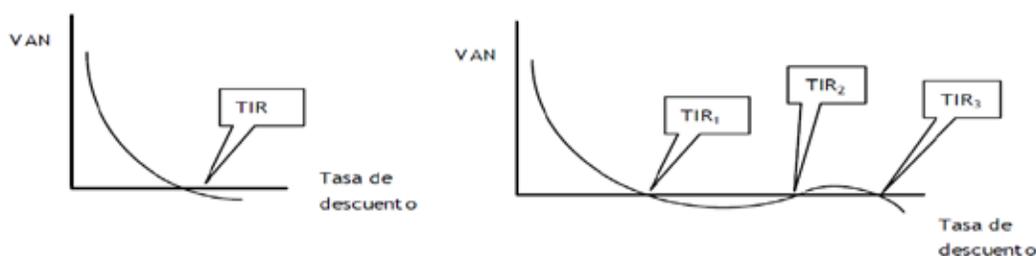
$$VAN = 0 = \sum_{t=0}^n \frac{F.C.N_t}{(1+\rho)^t}$$

$$I_{est} + PE * E_{est} * \sum_1^n \frac{1}{(1+r)^n} = I_{efic} + PE * E_{efic} * \sum_1^n \frac{1}{(1+r)^n}$$

$$PE(E_{est} - E_{efic}) * \sum_1^n \frac{1}{(1+r)^n} = (I_{efic} - I_{est})$$

A través de la *TIR* es posible medir lo que rinde el proyecto, es decir, si la tasa pertinente es mayor que la tasa de interés a evaluar, el proyecto no es rentable.

Figura 82: El Valor Actual Neto VAN y su relación gráfica con la Tasa Interna de Retorno *TIR*.



Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

Utilizando el ejemplo en el perfil financiero anterior, la TIR correspondiente es de 31%, por tanto, si se exige esa rentabilidad al proyecto su VAN será de cero. Lo anterior indica que las rentabilidades exigidas por debajo de la TIR=31% serán aceptadas ya que con ellas se obtendrá un VAN positivo (recomendable). Con tasas superiores a la TIR se obtendrá un VAN negativo, lo cual no es recomendable para la toma de decisiones en un proyecto.

Tabla 65: Valor Actual Neto VAN en un periodo de 5 años con un interés de 31%.

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(100)	$1/(1+0,31)^0$	(100)
1	30	$1/(1+0,31)^1$	22,87
2	30	$1/(1+0,31)^2$	17,44
3	50	$1/(1+0,31)^3$	22,17
4	50	$1/(1+0,31)^4$	16,90
5	80	$1/(1+0,31)^5$	20,62
	Valor Actual Neto VAN		0

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

Limitaciones de la TIR

El uso de la TIR no debe ser indiscriminado por el Gestor pues puede inducir errores en la toma de decisiones. Según la estructura de los flujos, su inversión inicial, beneficios y reinversiones a lo largo del tiempo, se presentarán diferentes valores de tasas internas de retorno, donde generalmente habrá tantas TIR como cambios de signo en el perfil de flujos financieros, siendo algunas imaginarias, y aun así todas o algunas de ellas cumplen con la condición VAN igual cero.

Cabe considerar que la TIR supone periodos de tiempo iguales, también que los valores obtenidos se reinvierten en el proyecto y el valor entregado es una tasa promedio.

En el momento de jerarquizar proyectos se debe considerar:

- ¿Prestar o endeudarse?

Si un proyecto presenta flujos seguidos de flujos negativos, el VAN aumenta a medida que la tasa de descuento aumenta. Para este caso se debería aceptar tales proyectos si su TIR fuese menor que el costo de oportunidad del capital.

- Múltiples TIR.

Si se produce más de un cambio de signo en los flujos de un proyecto, este puede tener varias TIR, o no tener ninguna.

- Proyectos mutuamente excluyentes.

La TIR puede dar una clasificación equivocada en los proyectos mutuamente excluyentes que difieren en la vida económica o en la escala de las inversiones solicitadas. Si se insiste en usar este criterio, se deberá examinar la TIR en cada unidad adicional de la inversión.

- Los tipos de interés a corto plazo pueden ser distintos de los de largo plazo.

El criterio TIR requiere que se compare la TIR del proyecto con el costo de oportunidad del capital. Pero a veces hay un costo de oportunidad para flujos a un año, un costo de oportunidad diferente para dos años, y así sucesivamente. En estos casos no hay una forma sencilla para evaluar la TIR de un proyecto.

- Costo del ciclo de vida CCV

El indicador CCV entrega el valor presente de todos los costos asociados a la inversión durante su vida útil: costos de capital, costos de operación y costos de mantención. En la comparación de las alternativas eficientes y estándar se deben comparar sus CCV para seleccionar la menor alternativa. Los costos de mantención de los equipos estándar y eficiente están representados por M_{est} y M_{efic} .

$$CCV_{est} = I_{est} + \sum_1^n E_{est} * PE * (1+r)^{-n} + \sum_1^n M_{est} * PE * (1+r)^{-n}$$

$$CCV_{efic} = I_{efic} + \sum_1^n E_{efic} * PE * (1+r)^{-n} + \sum_1^n M_{efic} * PE * (1+r)^{-n}$$

- Costo del ciclo de vida anualizado CCVA

Cuando el gestor desee comparar los costos anuales de las alternativas eficientes y estándar, se utilizan los CCVA de los equipos, considerando que si la vida útil entre las alternativas difiere, la fórmula del FRC debe considerar el cambio en los n años respectivos.

$$CCVA_{est} = I_{est} * FRC * PE * E_{est} * M_{est}$$

$$CCVA_{efic} = I_{efic} * FRC * PE * E_{efic} * M_{efic}$$

- Costo de ahorrar energía (CAE*)

El indicador CAE* entrega una clasificación ordenada para considerar las opciones de abastecimiento de energía u opciones de ahorro respecto a una matriz útil para identificar los mayores beneficios. El CAE* utiliza el costo de capital diferencial anualizado, que corresponde a la diferencia

entra las inversiones requeridas para la opción eficiente y estándar, más el diferencial de los costos de mantención, dividido por los ahorros anuales de energía.

El método es útil en gran parte dado que no requiere el precio de la energía, y elimina las incertidumbres que rodean las estimaciones a largo plazo. Para determinar la ventaja de la alternativa eficiente compara el valor de obtenido de CAE* con los precios vigentes de la energía, considerando esa diferencia como significativa y estimando una disminución de los precios. Si el CAE* es inferior a los precios vigentes o esperados de la energía, la alternativa es recomendable.

$$CAE^* = \frac{FRC * (I_{efic} - I_{est}) + (M_{efic} - M_{est})}{E_{est} - E_{efic}}$$

Aplicación

En el siguiente ejemplo se resume la aplicación del método para distintas tecnologías y se compara con el costo evitado de la generación termoeléctrica a carbón. El costo evitado de la planta termoeléctrica considerada, o la tarifa en el caso que no se trate de autoabastecimiento es de US\$ 62,78/MWh, por lo tanto la energía debería reducir sus costos en más de 50% para que las tecnologías eficientes evaluadas no sean rentables.

Tabla 66: Costo de la energía eléctrica ahorrada (en US\$1.990)

Medida Eficiente	ΔI/unidad US\$	Factor de Recuperación del Capital FRC	Mantención \$/año	Costo Anual	Energía ahorrada kWh/año	Costo de Ahorrar Electricidad US\$/MWh
Motor	181	0,092	0	16,61	1,193	13,92
Lámpara Hg	52	0,123	1,19	7,60	394	19,30
Bomba	416	0,092	0	38,17	1,600	23,86
Aire Acondicionado	62	0,123	0	7,65	258	29,64
Lámpara Fluorescente Compacta	11	0,165	0	1,81	60	30,12

Fuente: Recuperado de http://www.procobre.org/archivos/peru/uso_eficiente_energia_electrica.pdf

- Razón beneficio costo (RB/C)

Se define el índice B/C como la razón entre los beneficios y costos de un proyecto, generalmente a valores actuales. Esto quiere decir, que utilizará una tasa de actualización para descontar los flujos de efectivo.

La relación beneficio-costo, conduce exactamente a la misma decisión que el VAN, referente a la aprobación de inversiones o proyectos. Y en evaluación de inversiones mutuamente excluyentes, se debe seleccionar aquella cuya relación B/C , sea mayor, pero además, aquella que proporcione un VAN más grande.

Ésta relación es el valor actual de los flujos de tesorería previstos divididos entre la inversión inicial y se aceptará aquel proyecto de inversión que tengan una Relación Beneficio- Costo B/C , mayor que 1.

$$B/C = \frac{VA}{-I}$$

Metodología de cálculo:

- Calcular el valor presente de los ingresos asociados con el proyecto en cuestión.
- Calcular el valor presente de los egresos.
- Calcular el valor de la razón entre el VAN de los ingresos y el VAN de los egresos.

$$B/C = \frac{VAN \text{ Ingresos}}{VAN \text{ Egresos}}$$

- Si $B/C > 1$ el proyecto es rentable.
- $B/C = 1$ el proyecto es indiferente.
- Si $B/C < 1$ el proyecto no es rentable.

- *Periodo de recuperación (Payback).*

Payback es utilizado para indicar la rapidez con que se recupera la inversión realizada, ya que pretende determinar el número de períodos que han de transcurrir para que la acumulación de los flujos de tesorería previstos iguale a la inversión inicial.

Limitaciones del método:

- No otorga distinto valor a los flujos en función del momento en que ocurren:
Uno de los defectos más importantes que posee este indicador, es que da la misma ponderación a todos los flujos generados antes de la fecha correspondiente al período de recuperación y a su vez una ponderación nula a todos los flujos posteriores, no tomando en cuenta la vida del proyecto y corriendo el riesgo de que se acepten proyectos con un VAN negativo
- No toma en cuenta los flujos que aparecen después que se ha recuperado la inversión.
- Es posible corregir el método trabajando con los flujos actualizados.
- Por otro lado el plazo de recuperación del capital, no toma en cuenta el costo de oportunidad del capital, en síntesis; es un método que evalúa las inversiones de manera simple y no considera el valor del dinero a través del tiempo.

Para el Gestor el Payback es de gran utilidad junto con el VAN y la TIR ya que le permiten tomar decisiones adecuadas considerando los plazos de rentabilidad futura.

- Costo anual equivalente (CAE)

El método es útil para evaluar proyectos cuyas alternativas consisten en evaluar desembolsos.

$$CAE_i = VAN_i \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

- Vida útil de equipos.

Método del VAN, para igual vida útil.

El concepto de vida útil es económico y es relativo, se aproxima más al de obsolescencia que a la duración física con capacidad productiva.

La duración de la vida útil de los equipos o maquinaria es igual y podrá repetirse o coincidir con el horizonte del proyecto.

El momento en que el valor actual de los beneficios de reemplazar un equipo por otro sea mayor que sus costos, habrá terminado la vida útil de ese equipo en esa empresa y empezará en otra.

La vida útil "n" de un equipo terminará, cuando el valor actual de los beneficios esperados del equipo a partir del año "n+1" será menor que su valor residual de mercado.

$$CAE_n = Inversión * \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + Costo de Operación_n$$

El Gestor energético podrá evaluar las alternativas tecnológicas que ofrecen los especialistas o proveedores de energía en el diseño del nuevo proyecto, pero debe considerar que la evaluación también es apta para realizar recambios de equipos poco eficientes, que producto del uso fallan o están obsoletos.

Siempre en miras de optimización energética a través de la implementación de alternativas eficientes, el gestor debe incorporar el análisis utilizando los criterios de evaluación de proyectos energéticos diseñado para todo el ciclo de vida de la opción, considerando los retornos de la inversión en el plazo de evaluación y no sólo el monto inicial a invertir en la decisión. Cabe considerar los casos que cumplan su función y tengan buenos desempeños operativos, pero se pueda evaluar también un recambio por equipos que sean más eficientes energéticamente, lo cual puede ser menos rentable inicialmente, pero en un largo periodo los beneficios a considerar no son sólo económicos.

En la evaluación de la alternativa tecnológica se toman en cuenta por tanto otros criterios variables, como la necesidad de recambio, deseos de aumentar la producción, aumento de seguridad en los equipos para los usuarios, entre otros. Respecto a los criterios de decisión expuestos, en general y según el monto de inversión inicial, un proyecto será rentable ante el más alto VAN que sea mayor que cero y en el cual la TIR sea superior a la tasa de descuento, es decir, al costo de oportunidad de invertir en otra cosa. Lo anterior, complementado al PRI en el cual se recuperará el monto de la inversión.

4.2.3. Estimación de costos

¿En qué consiste la estimación de costos en el desarrollo de proyectos?

La comprensión de la teoría de costos y sus aplicaciones al estudio de proyectos en etapa de diseño facilita el análisis de inversiones, la construcción de flujos o análisis de rentabilidad para la toma de decisiones. A partir de la estimación de los costos futuros, es posible, determinar la rentabilidad del proyecto y de los elementos sujetos a valorización, ya que para definir los egresos, como los impuestos a las utilidades, se deben proyectar previamente las situaciones contables sobre las cuales se calcularán.

Es así como se utilizan los costos contables para realizar una administración financiera o satisfacer los requerimientos legales y tributarios, mientras que los costos no contables, tales como los costos fijos a largo plazo y los costos de oportunidad, entre otros, deben considerarse en la toma de decisiones ya que buscan medir el efecto neto de cada decisión, influyendo en los resultados. Según el análisis de costos a aplicar se estiman los niveles mínimos operativos para generar ganancias, de acuerdo a factores tales como los costos totales o diferenciales esperados a futuro y los volúmenes de operación y utilidad.

4.2.3.1. Costos en el estudio de alternativas

¿Cuáles costos a estimar se deben considerar en el estudio de alternativas?

Para seleccionar una alternativa que involucre una variación positiva en los resultados económicos, se utilizan los costos diferenciales, los cuales expresan la diferencia neta entre los costos totales que implicaría la implementación de cada alternativa, en términos comparativos respecto a una situación base que proporcione un beneficio similar. Los costos variables en este caso, dependen directamente del volumen de producción, no necesariamente de las alternativas. Si al generar una unidad adicional en una producción, se incurre en costos diferenciales tales como la materia prima, la mano de obra o los costos indirectos de fabricación; cualquier precio superior a esos costos diferenciales unitarios será conveniente e influirá en la decisión.

Ejemplo de costos diferenciales

Si la empresa recibe un pedido especial de 7.000 unidades de un producto, el precio- mínimo que debería cobrar por producir y vender el pedido especial está determinado por:

- Al producir una unidad adicional se identifican las partidas de costos diferenciales: materia prima, mano de obra directa y costos de fabricación variables.
- Son independientes de un pedido adicional: los costos de fabricación fijos; gastos de ventas variables, ya que el pedido se realizó y no se consideran comisiones de venta; Los gastos de venta y administrativos son fijos.

El costo diferencial de realizar el pedido es \$95.200, por lo que cualquier precio superior a \$13,60 por unidad genera utilidades.

Tabla 67: Costos diferenciales en el sistema actual.

Capacidad máxima de producción	96.000 unidades/mes
Capacidad de uso actual	82.000 unidades/mes
Costo materias primas	\$3,50 por unidad
Costo mano de obra directa	\$4,00 por unidad
Costos indirecto de fabricación variables	\$6,10 por unidad
Costos indirectos de fabricación fijos con depreciación	\$472.500 mensuales
Gastos de ventas variables con comisiones a vendedores	\$1,30 por unidad
Gastos de ventas fijos	\$122.000 mensuales
Gastos administrativos	\$108.000 mensuales
-Total costos diferenciales unitarios	\$13,60

Fuente: Extraído de Sapag, N. (2008). Preparación y evaluación de proyectos (5ª Ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

En la selección de alternativas cabe considerar los costos futuros, ya que todas las decisiones tomadas en el presente afectarán los resultados posteriores. Si bien existen costos inevitables como los históricos, presentes por ejemplo al momento de comprar activos fijos, la inversión ya realizada no es considerable en la toma de decisiones, teniendo clara la diferencia con el activo que genere bienes producto de ese costo, sobre el cual se generan ingresos a futuro si se destina a usos que generen beneficios. Considerar abandonar a tiempo un proyecto puede disminuir las pérdidas, independiente de la inversión realizada que puede o no ser recuperable.

A modo de ejemplo, si se producen dos artículos diferentes en procesos aislados con actividades administrativas y de venta centralizadas, la conveniencia de continuar con uno de los artículos se expone en la tabla a continuación:

Tabla 68: Comparación de costos y beneficios diferenciales futuros.

Proyecciones financieras estimadas	Artículo A	Artículo B
Utilidad neta	180.000	-40.000
Utilidad conjunta	140.000	
Costos y beneficios diferenciales totales	2.810.000	-3.000.000
Pérdida por cierre	-190.000	
Pérdida acumulada	-50.000	

Fuente: Extraído de Sapag, N. (2008). Preparación y evaluación de proyectos (5ª Ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

¿Qué costos considerar en la búsqueda de reemplazos?

Para analizar los costos de sustitución de instalaciones se debe considerar la complejidad de los cálculos económicos de inversión, dada la disponibilidad de información adecuada y los procedimientos empleados, ya que por ejemplo, hay sustituciones que se realizan para aumentar la capacidad productiva utilizando una alternativa más conveniente, que presenta o no mayor vida útil; mientras que se realizan otros reemplazos para mantener la capacidad productiva ante un agotamiento total del sistema y se considera una alternativa con la misma vida útil. La sustitución con aumentos de capacidad productiva pero igual vida útil del sistema se presenta, por ejemplo, ante cambios tecnológicos, para los cuales el gestor debe determinar las ventajas económicas diferenciales que se presenten en el equipo nuevo.

Para saber si el equipo nuevo satisface la inversión inicial y el costo de oportunidad, se debe determinar el ahorro en los gastos fijos y variables de operación, considerando constantes los costos fijos y los ingresos de operación. Para la determinación del ahorro, se establece que los precios de las materias primas y remuneraciones de la mano de obra directa se mantienen, afectando por igual a ambas alternativas. También se consideran los ingresos producto de la transacción del equipo antiguo. Mediante la valorización de los apartados anteriores y otros valores, como los impuestos, es posible proceder a calcular indicadores, tales como el valor actual neto y la tasa interna de retorno, los cuales permiten tomar una decisión fundamentada.

La decisión debe considerar también las ventas futuras y sus ingresos, su dependencia del precio y volumen de ventas proyectadas; así como los gastos variables que dependerán del rendimiento y los costos de producción de la nueva alternativa. Si la expansión es muy grande, aumentarán los costos fijos y se abren nuevas alternativas de volumen de compra de materias primas o cambios en horarios de trabajo; Con lo cual el flujo de caja será complementado con los ingresos diferenciales y las variaciones en los costos fijos y de operación, respecto a la comparación de los dos equipos.

Si la empresa posee obligaciones de pago contraídas en el pasado y que permanezcan como deuda a futuro, no se considera relevante para la elección de la alternativa, a menos que la misma esté relacionada con ese costo sepultado, sea fijo o variable, y la decisión influya en el pago de la deuda adquirida al variar el valor del dinero en el tiempo.

Una vez se ha decidido invertir en la alternativa y no en el costo de oportunidad presente, cabe considerar siempre los siguientes costos en la fundamentación de la decisión y del flujo en el tiempo:

- Variaciones en los estándares de materia prima.
- Tasa de salario y requerimientos del personal para la operación directa.
- Necesidades de supervisión e inspección.
- Combustible y energía.
- Volumen de producción y precio de venta.
- Desperdicios o mermas.
- Valor de la adquisición.
- Valor residual del equipo en cada año de su vida útil restante.
- Impuestos y seguros.
- Mantenimiento y reparaciones.

¿Qué costos considerar en decisiones de producción?

Respecto a los costos pertinentes de producción utilizados, por ejemplo, en decisiones de fabricación, en ocasiones requieren un análisis que considere otro tipo de alternativas. El comprar o fabricar productos requiere inversión de capital, espacios de trabajo, adquisiciones, localizaciones, remuneraciones, costos indirectos de fabricación, etc. Los cuales son factores que influirán en la decisión de comprar el producto terminado o decidir fabricarlo, y si se elige la última opción, influyen otros elementos en el nivel de producción escogido como el precio, los costos variables y las cantidades de ventas. Asimismo en la inversión de inventarios a realizar, donde el lote de compra y los costos de



mantenimiento de los inventarios influirán en la decisión, tomando en cuenta el costo de oportunidad invertido.

La empresa en el corto plazo podrá realizar análisis de costos unitarios con la información entregada por el costo total del periodo, compuesto por los costos fijos que deberá pagar, los cuales a diferencia de los costos variables y los rendimientos, son independientes de su nivel de producción.

Para analizar las relaciones de utilidad en diferentes niveles de producción y ventas, se utiliza el análisis costo - volumen - utilidad, el cual muestra el punto de equilibrio entre ingresos y costos constantes en un rango. Supone entre sus variables el precio, la cantidad producida y vendida, el costo variable unitario y los costos fijos totales, pero no incorpora los efectos tributarios, los costos de capital o la pérdida de valor que puede afectar a una inversión.

Respecto a los costos contables, las depreciaciones de activos fijos usados y las amortizaciones de activos intangibles con intereses aplicables que van perdiendo el valor anualmente por el paso del tiempo, son considerables en la reducción de los ingresos. Asimismo, si los activos a vender en el cambio generan utilidades, se generarán impuestos que variarán los costos, al disminuirlos en el reemplazo por una alternativa más influyente.

Unidad 4.3: Aplicación de evaluación de proyectos de eficiencia energética

Para entregar al Gestor energético una manera de ilustrar los métodos de evaluación de las alternativas energéticamente eficiente, se han seleccionado ejemplos correspondientes a los motores, conductores y cables en un sistema de iluminación. Se debe considerar que el cálculo no se diferencia a los que se utilizan para comparar otras alternativas, sea entre opciones estándar y eficiente o en un proyecto nuevo o una ampliación de una planta existente.

4.3.1. Motores eléctricos

La evaluación de los motores eléctricos se presenta en ejemplos con fines ilustrativos, basados en antecedentes de mercado, ya que los valores de los rendimientos, los precios de los motores estándar y eficientes, y los costos de rebobinado difieren según sea el fabricante, el cliente, el taller de reparaciones, etc. y deberán utilizarse aquellos que sean válidos para el proyecto o la empresa objeto de la evaluación.

En la evaluación se utilizarán parámetros de análisis básicos para evaluar los beneficios relativos de introducir un motor eficiente en relación con mantener un motor estándar existente o seleccionar un motor eficiente en el caso de un nuevo proyecto o de ampliación de la capacidad productiva. Los parámetros de análisis básicos para la evaluación de distintas alternativas consideran:

a) Horas de uso del motor

Los beneficios que entregue el proyecto van a variar directamente con el tiempo de uso del equipo, por lo que las horas anuales de uso del motor constituyen uno de los parámetros básicos para evaluar un proyecto de eficiencia energética. En principio, un motor que opera menos de 2.000 horas al año difícilmente podrá ser reemplazado por un motor eficiente, incluso cuando la alternativa es comprar un motor nuevo, estándar o eficiente.

b) Eficiencias relativas

Se define que la diferencia de eficiencias entre los motores estándar y eficiente va a disminuir según aumente la potencia, pero ello no debe conducir a la conclusión que solamente van a ser atractivos los proyectos que involucren motores cuyas potencias sean menores. En el caso de las potencias mayores, si bien las diferencias relativas son de 1 a 2%, las diferencias absolutas son importantes.

Dado que los fabricantes que entregan las mejores eficiencias para un tipo de motor no necesariamente las entregarán para otros tipos de motores en términos de potencia, número de polos, etc., Se sugiere evaluar los proyectos de eficiencia según las características eléctricas y de precios respecto a los principales fabricantes para cada tipo de motor.

c) Precio de los motores y costo medio de rebobinado

Las opciones tecnológicas a evaluar presentarán costos alternativos, incluidos los costos de rebobinado y los precios de los motores nuevos, estándares y eficientes, del tipo abierto y cerrado. El gestor deberá considerar los costos alternativos de los motores según los precios referenciales que disponga, para obtener posibles precios de lista que le otorguen descuentos más o menos significativos dependiendo de la importancia del comprador.

d) Costos de operación y mantención

Para los proyectos nuevos, los costos de operación y mantención deben considerar los cargos por potencia y energía; para las empresas que tengan un contrato con la empresa eléctrica que especifica la demanda máxima solo deben incluir cargos por energía. No se estima relevante

cambiar el contrato por la introducción de algunos motores eficientes en reemplazo de los motores estándares existentes en planta.

Cabe considerar que no se toma en cuenta la reducción de los costos de mantenimiento se reducen en motores eficientes, pero si el gestor dispone de información relevante y confiable acerca de la diferencia de costos de mantenimiento, debe incorporarlos en su análisis, particularmente si son relevantes para las conclusiones de su evaluación.

- Para analizar casos de sustitución de motor en operación, se deben considerar los siguientes elementos:

1) Frecuencia de las fallas del motor

Económicamente la frecuencia de falla constituye un factor importante en la definición del reemplazo de un motor estándar por uno eficiente, aunque el motor antiguo no haya cumplido su vida útil y se espera que el motor falle de nuevo. Si el motor, por ejemplo, detiene la producción de alguna instalación de la edificación, los costos derivados pueden llegar a ser tan elevados que el gestor debería incorporarlos en su análisis económico.

2) Nivel de reparación a realizar

Por ejemplo, en motores de baja potencia el costo del rebobinado es del orden del costo del motor y para motores de gran potencia pasa a ser bastante significativo, por lo que evaluar la rentabilidad de instalar un motor eficiente puede ser beneficioso si tiene un alto uso; pero si se requiere realizar una reparación menor para un motor que tendrá un bajo uso, se debe evaluar si se justifica el reemplazo.

3) Obsolescencia del motor existente

Por ejemplo, si un motor tiene una utilización de por lo menos 4.000 horas y lleva más de 20 años de operación, es altamente probable que sea un candidato al cambio. Sin embargo, el factor horario es relativo y referencial, ya que igualmente los motores podrían ser sustituidos según sus eficiencias relativas, el costo del motor eficiente y el precio de la energía.

Para definir cuando introducir un nuevo motor eficiente se deben analizar los distintos parámetros involucrados en la

decisión, para su aplicación en un proyecto nuevo o una ampliación de la capacidad de producción:

- Costos relativos del motor estándar y eficiente
- Eficiencias relativas de ambos tipos de motores
- Horas de uso previstas para el motor
- Curva de carga del motor
- Precios de la potencia y de la energía
- Costos de mantenimiento de ambos tipos de motores
- Vida útil de los dos tipos de motores

4.3.1.1. Aplicaciones comparativas de motores

Para evaluar introducir un motor eficiente en distintas situaciones se han adoptado los siguientes supuestos:

r : tasa de descuento = 12%

n = vida útil del equipo; 20 años en el caso del motor nuevo y 10 años en el caso del motor rebobinado.

Costo de la energía = 4,0 US ¢/kWh

O&M = costos de operación y mantención; Sólo se consideran los cargos por energía; vale decir, no se consideran los menores cargos por demanda máxima ni los eventuales mayores costos de mantenimiento de los motores estándar. $I_1 - I_2$ = diferencial de inversiones entre la opción eficiente y la convencional; en que si el motor estándar está en funcionamiento, $I_2 = 0$

Motores de 50 HP, del tipo abierto y de 4 polos, con eficiencias estimadas.

a) Opción motor nuevo estándar versus motor nuevo eficiente

Donde el costo de ahorrar energía es significativamente inferior al precio de la energía, sea para un motor que se utiliza 6.000 ó 4.000 horas al año.

Tabla 69: Motor nuevo estándar versus motor nuevo eficiente.

Rendimiento motor estándar:	0,909	
Rendimiento motor eficiente:	0,939	
Precio motor estándar:	1.688 US\$	
Precio motor eficiente:	2.066 US\$	
Factor de carga fc:	0,8	
Número de horas anuales de operación:	6.000 y 4.000	
Consumo anual motor estándar1:	$6.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,909$	= 197,0 MWh
Consumo anual motor estándar1:	$4.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,909$	= 131,3 MWh
Consumo anual motor eficiente1:	$6.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,939$	= 190,7 MWh
Consumo anual motor eficiente1:	$4.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,939$	= 127,1 MWh
Inversión diferencial:	2.066 - 1.688 = 378 US\$.	
Costo anual del capital2:	$378 \times 0,139$ = 52,54 US\$/año.	
Costo energía ahorrada3, 6.000 hrs :	52,54/6,3 MWh	= 0,83 US\$/kWh.
Costo energía ahorrada, 4.000 hrs :	52,54/4,2 MWh	= 1,25 US\$/kWh.

 Fuente: Recuperado de http://www.procobre.org/archivos/peru/uso_eficiente_energia_electrica.pdf

[₁] Consumo de energía anual = horas de operación x factor de carga x potencia nominal en HP x 0,746/rendimiento del motor

[₂] Costo anual del capital = Inversión diferencial por el factor de recuperación del capital FRC(r, n).

[₃] Costo de la energía ahorrada = costo anual del capital/energía anual ahorrada debido a la solución eficiente.

b) Opción rebobinado versus motor nuevo eficiente

Donde el instalar un motor eficiente representa una alternativa más económica que la opción convencional, en este caso el rebobinado del motor existente.

Tabla 70: Motor rebobinado versus motor nuevo eficiente.

Rendimiento motor rebobinado:	0,889 (2% inferior al estándar nuevo)	
Rendimiento motor eficiente:	0,939	
Valor del rebobinado:	706 US\$	
Precio motor eficiente:	2,066 US\$	
Factor de carga fc:	0,8	
Número de horas anuales de operación:	6.000 y 4.000	
Consumo anual motor rebobinado1:	$6.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,889$	=201,4 MWh
Consumo anual motor rebobinado1:	$4.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,889$	=134,3 MWh
Consumo anual motor eficiente1:	$6.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,939$	=190,7 MWh
Consumo anual motor eficiente1:	$4.000 \times 0,8 \times 50 \times 0,746/0,939$	=127,1 MWh
Inversión diferencial:	1.360 US\$.	
Costo anual del capital2:	$2.066 \times 0,139 - 706 \times 0,177$ =162,2 US\$/año.	
Costo de energía ahorrada3, 6.000 hrs:	162,2/10,7 MWh	=1,52 US\$/kWh
Costo de energía ahorrada, 4.000 hrs:	162,2/7,2 MWh	=2,25 US\$/kWh

 Fuente: Recuperado de http://www.procobre.org/archivos/peru/uso_eficiente_energia_electrica.pdf

c) Opción motor obsoleto funcionando versus motor nuevo eficiente

En esta opción, si no se considera el cargo por potencia la rentabilidad del proyecto sería negativa para 4.000 horas de uso del motor. La posibilidad de que el ahorro de potencia pueda ser considerado como un ahorro efectivo dependerá de la viabilidad de cambiar en el contrato el cargo por demanda máxima, lo que sería quizás atractivo si se trata de cambiar un número importante de motores. Por el contrario, si el motor trabaja 6,000 horas/año, el cambio sería rentable.

Tabla 71: Motor rebobinado versus motor nuevo eficiente.

Rendimiento motor obsoleto:	0,895 (2% inferior al estándar de hace 40 años).	
Rendimiento motor eficiente:	0,939	
Precio motor eficiente:	2,066 US\$	
Factor de carga fc:	0,8	
Número de horas anuales de operación:	6.000 y 4.000	
Consumo anual motor obsoleto1:	6.000 x 0,8 x 50 x 0,746/0,895	= 200,0 MWh
Consumo anual motor obsoleto1:	4.000 x 0,8 x 50 x 0,746/0,895	= 133,4 MWh
Consumo anual motor eficiente1:	6.000 x 0,8 x 50 x 0,746/0,939	= 190,7 MWh
Consumo anual motor eficiente1:	4.000 x 0,8 x 50 x 0,746/0,939	= 127,1 MWh
Inversión diferencial:	2.066 US\$.	
Costo anual del capital2:	2.066 x 0,139	= 287,2 US\$/año.
Costo de energía ahorrada3, 6.000 hrs:	287,2/9,4 MWh	= 3,06 US\$/kWh
Costo de energía ahorrada, 4.000 hrs:	287,2/6,3 MWh	= 4,46 US\$/kWh

Fuente: Recuperado de http://www.procobre.org/archivos/peru/uso_eficiente_energia_electrica.pdf

4.3.2. Cálculo de conductores y cables eléctricos

El cálculo de conductores y cables eléctricos se presenta en ejemplos con fines ilustrativos, basados en antecedentes de mercado, con el objeto de ilustrar la aplicación al diseño económico.

4.3.2.1. Alimentador para una edificación comercial

Los datos básicos del proyecto son:

Carga máxima: 100 kW.	Voltaje nominal: 380 V
Conductores por fase: 1	Largo del conductor: 35 m
Factor de carga: 0,90	Factor de potencia: 0,88
Temperatura ambiente: 220C	Canalización: ducto
	Horas mensuales de trabajo:
Caída de tensión máxima: 3%.	480 horas.
Precio de la energía: \$ 39/kWh	Número de conductores canalizados: 3
Factor de pérdidas: 0,81	Corriente máxima: 172 A
Número de fases: 3.	

- Se selecciona con base en los requerimientos técnicos, un conductor 2 AWG THHN, cuya tensión de servicio es 600 V y la temperatura máxima de servicio 900°C en lugares secos.
- Para la selección del conductor energética y económicamente eficiente se evalúan distintos calibres 2/0, 3/0, 4/0, 250 y 350 AWG.
- Para ilustrar el cálculo del costo de ahorrar electricidad CAE*, se comparan los calibres 2 y 3/0 (cuyos diámetros

son: 33,6 y 85,0 mm², respectivamente).

- La fórmula para la evaluación del costo de ahorrar electricidad CAE* es:

$$CAE^* = \frac{FRC * (I_{efic} - I_{est}) + (M_{efic} - M_{est})}{E_{est} - E_{efic}}$$

- El proyecto se evalúa para un horizonte de 15 años y una tasa de descuento de 12%, lo que se traduce en un valor de 0,1468 para el factor de recuperación del capital FRC.
- El costo por metro lineal de los cables es de \$1,302 y \$3,245, no se consideran diferencias ni en los sistemas de postación ni en los costos de mantención.
- La diferencia de consumo de energía entre la opción mínima y una más eficiente se determina por el monto de las pérdidas en ambos casos:

$$Pérd_2 = 3 * I^2 R * H = 3 * (172 * 0.9)^2 * 0,0183 * \frac{35}{33,6} * 480 * \frac{12}{1.000} = 7.893 \frac{kWh}{aWh}$$

$$Pérd_{3/0} = 3 * I^2 R * H = 3 * (172 * 0.9)^2 * 0,0183 * \frac{35}{85,0} * 480 * \frac{12}{1.000} = 3.120 \frac{kWh}{aWh}$$

$$Inversión diferencial = 35 * 3 (3.245 - 1.302) = \$204.015$$

$$CAE^* = \$0,14685 \frac{204.015 kWh}{7,893158520 año} = \$6,27/kWh$$

Por lo tanto, elegir un conductor de varios calibres mayores es rentable ya que es muy difícil que la tarifa de \$39/kWh vaya a disminuir a \$6,3/kWh.

En la tabla siguiente se presenta el resultado de acuerdo a los otros esquemas de evaluación para un conjunto de calibres.

Tabla 72: Evaluación de las distintas alternativas de calibres para el alimentador del edificio.

Calibre AWG	Sección (mm ²)	VAN (\$)	TIR (%)	Período de recuperación del capital (años)
4	21,2	-1.202,826	----	----
2	33,6	0,00	----	----
1	42,4	402.705	160,2	0,69
1/0	53,5	716.396	149,3	0,74
2/0	67,4	953.753	133,9	0,83
3/0	85,0	1.108.096	103,3	1,09
4/0	107,0	1.207.998	83,6	1,37

Fuente: Recuperado de http://www.procobre.org/archivos/peru/uso_eficiente_energia_electrica.pdf

De acuerdo a la tabla, según el criterio del gestor la solución óptima va a variar. El máximo VAN se obtiene con un calibre AWG 4/0 y la máxima TIR se obtiene con un calibre AWG 1. El ejemplo considera la existencia de armónicas, problema frecuente en una instalación del tipo, lo que desplaza tanto el calibre mínimo técnico del cable como el óptimo económico, siendo el calibre mínimo técnico 2/0 y el óptimo económico AWG 3/0.

4.3.2.2. Alimentador para un área de una planta industrial

- Los datos básicos del proyecto son:

Carga máxima: 600 kW ·	Voltaje nominal: 4,16 KV ·
Conductores por fase: 1	Largo del conductor: 800 m
Factor de carga: 0,90	Factor de potencia: 0,85 ·
Temperatura ambiente: 220C	Canalización: ducto
	Horas mensuales de trabajo: 650 horas
Caída de tensión máxima: 3%	Número de conductores canalizados: 3
Precio de la energía: \$ 39/kWh	
Factor de pérdidas: 0,81	Corriente máxima: 98 A ·
Número de fases: 3	

- Se selecciona con base en los requerimientos técnicos un conductor 6 AWG tipo XT, cuya tensión de servicio es 5 KV y la temperatura máxima de servicio 900°C en lugares secos. Para la selección del conductor energética y económicamente eficiente se evaluaron distintos calibres 4, 2, 1, 1/0, 2/0, 3/0 y 4/0 AWG.
- Para ilustrar el cálculo del costo de ahorrar electricidad CAE*, se comparan los calibres 6, que satisface los requerimientos técnicos y 2/0 (cuyos diámetros son: 13,3

y 67,4 mm², respectivamente).

- La fórmula para la evaluación del costo de ahorrar electricidad CAE* es:

$$CAE^* = \frac{FRC * (I_{efic} - I_{est}) + (M_{efic} - M_{est})}{E_{est} - E_{efic}}$$

- El proyecto se evalúa para un horizonte de 15 años y una tasa de descuento de 12%, lo que se traduce en un valor de 0,1468 para el factor de recuperación del capital FRC.
- El costo por metro lineal de los cables en consideración es \$3.610 y \$6.931. No se consideran diferencias ni en los sistemas de postación ni en los costos de mantención.
- La diferencia de consumo de energía entre la opción mínima y una más eficiente se determina por el monto de las pérdidas en ambos casos:

$$Pérd_6 = 3 * I^2R * H = 3 * (98 * 0.9)^2 * 0,0183 * \frac{800}{13,6} * 650 * \frac{12}{1.000} = 200.375 \frac{kWh}{aWh}$$

$$Pérd_{3/0} = 3 * I^2R * H = 3 * (98 * 0.9)^2 * 0,0183 * \frac{800}{67,4} * 650 * \frac{12}{1.000} = 39.540 \frac{kWh}{aWh}$$

$$Inversión\ diferencial = 800 * 3 (5.781 - 3.610) = \$5.210.400$$

$$CAE^* = \$0,14684 \frac{5.210.400}{200,3750000540} \frac{kWh}{año} = \$4,76/kWh$$

Se observa que escoger un conductor de un calibre mayor que el mínimo recomendado por las normas es rentable, ya que es muy difícil que la tarifa de \$39/kWh vaya a disminuir a \$4,76/kWh.

En la siguiente tabla se presenta el resultado de acuerdo a los otros esquemas de evaluación para un conjunto de calibres. De acuerdo a los resultados, según el criterio del gestor la solución óptima va a variar. El máximo VAN se obtiene con un calibre AWG 2/0 y la máxima TIR se obtiene con un calibre AWG 4.

Tabla 73: Evaluación de alternativas para la selección del calibre del alimentador de la edificación.

Calibre AWG	Sección (mm ²)	VAN (\$)	TIR (%)	Período de recuperación del capital (años)
4	21,2	19.200.050	350	0,31
2	33,6	30.114.323	201	0,54
1	42,4	33.306.768	150	0,73
1/0	53,5	36.197.646	141	0,79
2/0	67,4	38.477.469	135	0,82
3/0	85,0	38.190.814	93	1,22
4/0	107,0	37.493.126	72	1,61

Fuente: Recuperado de http://www.procobre.org/archivos/peru/uso_eficiente_energia_electrica.pdf

4.3.3. Optimización de un sistema de iluminación en una planta industrial

Una planta industrial de 900 m² (15 x 60 m), con una altura de 6 a 7 m y un buen nivel de reflexión de cielos, muros y piso, requiere para la adecuada iluminación de sus actividades de un nivel de iluminación de 1,000 lux sobre el piso⁴. La planta trabaja 20 horas/día, 5 días/semana y 50 semanas/año. El costo medio de la energía eléctrica es de 5 US\$/kWh.

Las opciones de luminarias a considerar son las siguientes:

- (1) Sodio de Alta Presión de 400 W,
- (2) Mercurio de Alta Presión de 1.000 W,
- (3) 2 lámparas fluorescentes de 2,5 m de 215 W
- (4) Incandescente de 1.500 W.

Para evaluar las opciones se dispone de los datos que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 74: Datos para el cálculo y resultado del sistema de iluminación más económico.

Características	Na400	Hg1000	FL2*215	In.1500
Lúmenes/luminaria	50.000	63.000	29.000	34.400
Vida útil (horas)	20,000	24.000	9.000	1.000
Watts/lámpara	400	1.000	215	1.500
Watts/luminaria (incluye Ballast)	470	1.080	480	1.500
Coeficiente utilización (rendimiento Fixture)	0,76	0,70	0,70	0,70
Factor depreciación lámpara	0,90	0,66	0,70	0,66
Factor depreciación por suciedad	0,86	0,83	0,83	0,83
Lúmenes efectivos/luminaria (1 x 5 x 6 x 7)	29.412	24.158	11.794	13.191
Lux requeridos (lúmenes/m ²)	1,000	1,000	1,000	1,000
Lúmenes requeridos totales (9 x área)	900.000	900.000	900.000	900.000
Luminarias totales (10/8)	31	38	77	69
Potencia total (kW) (11 x 4)11,000	14,4	40,2	36,6	102,3
Costo neto luminaria US\$	190	175	68	30
Costo cableado luminaria US\$	24	55	25	55
Instalación mano de obra US\$	14	14	17	14
Costo neto lámpara/luminaria al por mayor	45	20	11	6
Costo capital total US\$(13+14+15+16) x 11	8.354	9.835	9.233	7.164
Número de lámparas a reemplazar/año (horas de uso x 11 x número de lámpara)/2	8	8	85	341
Mano de Obra reemplazo lámpara US\$/lámpara	3.8	3.8	3.8	3.8
Costo reemplazo lámparas (18 x [16+19])	373	185	1.255	3.343
Costo anual capital (0,15 x 17)	1.253	1.475	1.385	1.075
Costo energía total (12 x horas de uso x 0,05)	3.595	10.059	9.157	25.586
Costo O&M anual (22+20)	3.969	10.244	10.412	28.929
Costo Total anual (23+21)	5.222	11.719	11.797	30.003

Fuente: Recuperado de http://www.procobre.org/archivos/peru/uso_eficiente_energia_electrica.pdf

Nota: (1) Los datos sin negrita corresponden a la información que normalmente se dispone y en negrita aquellos resultantes de la evaluación.

(2) Los números entre paréntesis corresponden a la línea que define el ítem que interviene en el cálculo, salvo en el caso de la cifra 1,000 utilizada para convertir watts- horas en kilo watts-horas y 0,05 US\$/kWh que corresponde a la tarifa supuesta para el ejemplo.

(3) Los costos utilizados en los ejemplos no corresponden necesariamente a los existentes en Chile y han sido seleccionados como referencia para ilustrar el ejemplo.

[4] Se supone una planta en que el aporte de la iluminación natural es insignificante o inexistente.

A continuación se incluyen algunas definiciones de los términos usados en el ejemplo:

- *Coefficiente de utilización*: indica los lúmenes efectivos que proporciona la luminaria (considera la proporción de luz que ésta absorbe).
- *Factor de depreciación*: indica el nivel medio de iluminación que la luminaria durante su vida útil.
- *Factor de depreciación por suciedad*: indica el deterioro de la iluminación que entrega la luminaria durante su vida útil, por concepto de adherencia de polvo.

El ejemplo permite ilustrar al Gestor energético la importancia de considerar el ciclo de vida de los equipos y no sólo el costo inicial. El caso extremo es el de las lámparas incandescentes, las cuales tienen un costo de inversión claramente inferior a las otras opciones, sin embargo su costo anual total es casi 6 veces mayor que el de las lámparas de Na de alta presión. La desventaja de la lámpara incandescente proviene fundamentalmente de sus mayores consumos de energía para un igual nivel de iluminación y también de los mayores costos de reemplazo (mantenimiento) debido, en parte importante, a la mano de obra empleada en dicho reemplazo. Incluso, las lámparas de mercurio y las fluorescentes que tienen los costos de capital más elevados, presentan un costo total significativamente inferior al de las lámparas incandescentes.

EVALUACIÓN DE PROYECTOS.



CAPÍTULO

05

Al término del módulo el alumno será capaz de:

- Conocer los contenidos teóricos asociados a la viabilidad económica y financiera, en un diseño con eficiencia energética de un proyecto de edificación.
- Comprender las etapas que componen los estudios involucrados en la evaluación de un proyecto de edificación diseñado con eficiencia energética.
- Conocer las técnicas, criterios y tipos de evaluaciones aplicables en la toma de decisiones de un proyecto de edificación diseñado con eficiencia energética.

Unidad 5.1: Estudio de perfil técnico económico

A partir de necesidades insatisfechas en el rubro de la construcción nacen ideas que para su realización, requieren recursos de capital, humanos y materiales que en la actualidad escasean y necesitan de un análisis previo para su utilización por parte del gestor.

Para determinar cómo ha de ser una la implementación de un sistema en una obra de edificación y cuánto ha de costar, en la evaluación de proyectos el Gestor energético debe realizar un análisis de la idea, formulando los problemas que implicarán su realización, mediante la utilización

de parámetros, en un lenguaje común, con el apoyo de cálculos y proyecciones, realizando un análisis que considera entre las alternativas disponibles, la valoración de de beneficios, costos asociados y tasas actualizadas a los periodos de evaluación, estimando las tendencias y los riesgos existentes al momento de crear supuestos que apostarán sobre la realidad del proyecto.

La evaluación de la idea se realiza analizando sus aspectos técnicos, financieros y legales, para luego evaluar su comercialización, oferta y demanda. La confiabilidad y validez de la evaluación dependerá de la técnica y el lenguaje utilizado, la sistematización de la información y los criterios previamente definidos y aceptados. En este contexto científico de aproximación a la realidad el gestor define el proyecto con las alternativas disponibles, analiza la situación sin proyecto y procede a identificar los costos y beneficios.

Los supuestos realizados por el Gestor energético estarán sujetos a indicadores y objetivos a cumplir, de modo que le permitan tomar una decisión basada en las conclusiones obtenidas, considerando entre las alternativas, los criterios indicados, los riesgos incluidos y la estrategia a seguir con el fin de entregar parámetros que den respuesta a la decisión final del inversionista en el proyecto.

Figura 83: Metodología de evaluación de proyectos.



Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

5.1.1. Definición de un proyecto de evaluación

En la etapa de gestación del sistema a implementar, el Gestor energético inicialmente identifica la exigencia energética que presenta la edificación, ante lo cual surgen los problemas que debe resolver en términos de ahorro y disminución del consumo, por lo que para responder a los requerimientos debe realizar un proyecto base con un caso mejorado y su evaluación, identificando las causas de los problemas presentados y definiendo la alternativa más conveniente que cumpla los requerimientos exigidos.

Una vez definida la idea de implementación, el gestor puede organizar la información en una propuesta, estableciendo las variables que van a influir en la toma de decisiones, considerando los objetivos, recursos disponibles, plazos, beneficios, mantenciones, entre otros aspectos.

Cabe considerar que la propuesta es flexible, y debe ser constantemente retroalimentada por los especialistas involucrados, para introducir a tiempo los cambios necesarios y evitar problemas de compatibilidad entre especialidades.

Finalmente, el Gestor debe realizar la evaluación de la propuesta del caso mejorado establecido en el proyecto base, donde es capaz de determinar con base en la recopilación, tratamiento y análisis de la información, cual corresponde a la mejor alternativa.

Para definir el proyecto mejorado, y obtener una recopilación, tratamiento y análisis de la información adecuada sobre las alternativas a implementar en la edificación se presenta el siguiente esquema de seguimiento de la propuesta.

Figura 84: Definición del proyecto.



Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía consultada.

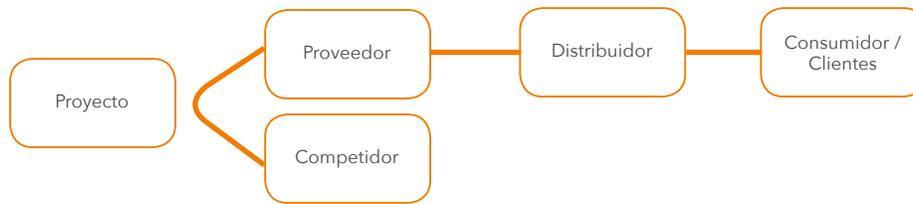
5.1.2. Estudio de mercado

El estudio de mercado de un proyecto con enfoque en la eficiencia energética está determinado por el precio dispuesto a pagar por la energía, tanto como por la demanda del producto que la utilizará. En el mercado, existen variables que condicionan el comportamiento de los agentes económicos que pueden afectar el desempeño financiero del proyecto, por lo cual el objetivo es ratificar la posibilidad de instalar el producto con eficiencia energética, conocer su comercialización, determinar la magnitud de la demanda esperada y conocer la composición, características y ubicación de los consumidores finales que determinarán los parámetros de consumo de la edificación y demanda energética final.

En la preparación del proyecto el estudio de mercado va dirigido principalmente a la recopilación de la información de carácter económico que afecte la composición del flujo de caja del proyecto.

Al estudiar el mercado de un proyecto de eficiencia energética es preciso que el gestor reconozca los agentes que tendrán influencia sobre las decisiones que se tomarán. Corresponden a cuatro mercados que se presentan en un estudio de factibilidad: proveedor, competidor, distribuidor, consumidor.

Figura 85: Mercados de un estudio de factibilidad.



Fuente: Adaptación de Sapag, N. (2008). Preparación y evaluación de proyectos (5ª Ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

Mercado proveedor

El mercado proveedor puede ser un factor crítico para el gestor, ya que muchos proyectos dependen de la calidad, cantidad, oportunidad de la recepción y costo de los equipos y materiales, por lo cual debe ser considerado en la viabilidad del proyecto. Por ejemplo si la generación de calefacción está basada en un combustible que es el producto de un residuo derivado de los trabajos de una planta maderera, la disponibilidad del insumo depende de la recolección del residuo y de la operación de la planta maderera, ya que determina la cantidad de residuos disponibles para la calefacción. Esta situación obliga a analizar el mercado de la planta maderera, observar sus márgenes de utilidad y evaluar si existe demanda insatisfecha, que podría afectar la continuidad de los residuos.

El estudio de mercado proveedor puede parecer complejo, ya que deben estudiarse las alternativas de obtención de materias primas, así como sus costos, condiciones de compra, sustitutos, durabilidad, necesidad de infraestructura para bodegaje, recepción, seguridad, etcétera. Aún más importante para definir lo anterior es conocer su proyección a futuro, ya que siguiendo el ejemplo, la disponibilidad de los residuos de la planta maderera vigentes al momento del estudio deja de ser pertinente ante la duda de la disponibilidad futura derivada de los cambios proyectados en la planta maderera y sus márgenes de operación. Por tanto, la disponibilidad de los insumos en el tiempo es fundamental para la determinación del costo de abastecimiento futuro de la edificación. Asimismo, el precio

de los insumos también es importante para la definición de los costos y la inversión, por ello, se recomienda al estudiar el precio la inclusión de las condiciones de pago que establece el proveedor, sus políticas de crédito y las de descuento.

Mercado competidor

El gestor puede observar que los alcances del mercado competidor van más allá sobre quién instala el producto, en ocasiones, puede influir la competencia en los recursos disponibles del mercado proveedor. Es necesario comprender como los competidores directos afectan con sus decisiones a los consumidores en términos energéticos, es por ello que se recomienda conocer los precios de venta, las condiciones de plazos y costos de crédito que toman y ofrecen, los descuentos por volúmenes, su situación financiera y otros aspectos, que facilitan la determinación de estas variables para el proyecto en gestión.

Para aprovechar las oportunidades del mercado, se debe reconocer que el proyecto no necesariamente corresponde con lo que busca el consumidor ya que por ejemplo en edificación, la adquisición de un departamento puede o no llevar incluida la decisión del comprador de ahorrar en costos de calefacción. También, el gestor puede apreciar que en el mercado competidor han existido mayores demandas derivadas de promociones complementarias al producto, tales como regalos para los consumidores por la compra de un departamento o también hacia la empresa

gestora del proyecto desde los proveedores gracias a los volúmenes de compra. Estas situaciones se deben observar para ofrecer o recibir un producto competitivo con los disponibles en el mercado.

Mercado distribuidor

El análisis del mercado distribuidor o de los equipos, consiste en verificar un sistema que garantice la entrega oportuna del servicio al consumidor para evitar pérdidas de energía. Los costos de distribución de los servicios deben ser considerados ya que determinan el precio de adquisición del consumidor y por tanto, de la demanda del proyecto.

Mercado consumidor

El análisis del mercado consumidor requiere más atención, ya que al ser complejo y específico, puede influir en la composición del flujo de caja del proyecto. Los hábitos y las motivaciones de uso son determinantes para definir cómo tomará la decisión de uso ante las múltiples alternativas.

La viabilidad de un proyecto reside principalmente en el mercado consumidor, el cual decidirá la adquisición y uso del producto entregado por la empresa. Por tanto, el estudio requiere del esfuerzo para determinar la demanda real del producto en términos de su precio, volumen y periodicidad, en un lugar y tiempo determinados.

En el momento de análisis, el gestor debe tener presente que no pueden ser analizados independientemente, ya que siempre habrá proveedores que la competencia no haya considerado, o mercados consumidores no cubiertos hasta el momento.

5.1.3. Estudio técnico

En el análisis de la viabilidad financiera de un proyecto de eficiencia energética, el estudio técnico tiene como objetivo entregar la información para cuantificar el monto de la inversión y de los costos de operación pertinentes a esta área.

Entre las conclusiones del estudio, se debe definir la optimización de los recursos disponibles para satisfacer la demanda y el consumo energético. Desde ese punto de vista, se puede obtener la información de las necesidades de capital y otros recursos necesarios para la operación del proyecto.

En particular, con el estudio técnico el Gestor puede determinar los requerimientos de equipos para la operación y el monto de la inversión correspondiente, analizando sus características y especificaciones técnicas para disponer su ubicación, evaluando las dimensiones necesarias para su normal operación, de acuerdo a las normativas aplicables y sus especificaciones.

Además, al analizar los antecedentes es posible determinar la mano de obra necesaria para su instalación y evaluar las remuneraciones correspondientes, para el cálculo de los costos de operación.

La descripción del proceso permite conocer los insumos restantes que la implementación y operación del equipo demandan. La implementación se elige también por medio del análisis técnico y económico a realizar sobre las alternativas.

Factores del estudio técnico

Figura 86: Factores del estudio técnico



Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

- Tamaños

La definición del tamaño del proyecto es útil para la determinación de las inversiones y los costos que se derivan del estudio técnico. Para un mismo volumen, de compra se obtienen resultados económicos muy distintos de sí, por ejemplo, el tamaño considera los equipos necesarios para operar en dos edificios o uno. Normalmente durante esta etapa del estudio puede optarse por una alternativa de tamaño específico para el proyecto, sin embargo, cuando existen dudas, conviene desarrollar los estudios de las distintas posibilidades técnicas, postergando la decisión.

Definir el tamaño del proyecto permite determinar, por ejemplo, la capacidad de generación a instalar, los artefactos por habitantes, la producción normal en unidad de tiempo, el tránsito medio diario anual, etcétera.

Entre los factores que afectan al tamaño se encuentran

- La estacionalidad,
- El porcentaje de participación en el mercado,
- La estabilidad política,
- La localización del proyecto,
- La distribución geográfica de la oferta y demanda,
- La capacidad técnica,
- La capacidad administrativa,
- La estabilidad económica,
- La disponibilidad de insumos,
- Entre otros.

Asimismo, el tamaño puede experimentar cambios según la capacidad de operación a la que esté planeada. Generalmente, para decidir el tamaño se utilizan los criterios de decisión tales como el VAN.

- Localización

Otra variable que interrelaciona el estudio técnico es la localización, la cual, cuando no se encuentra predeterminada, debe elegirse mediante un proceso de integración compatible con los otros factores. Los efectos de la complejidad entre diseñar la gestión energética para uno o dos edificios iguales puede ser complejo, ya que incorporan restricciones técnicas a un análisis económico predeterminado por los costos de transporte de los equipos, la cercanía entre proveedores y el proyecto, la disponibilidad y el precio relativo de los equipos, las expectativas de variaciones futuras en la situación actual y otros. Como ocurre

con los otros factores, estas situaciones deben analizarse de manera combinada con los factores determinantes del tamaño, como la demanda energética esperada, la capacidad financiera y las restricciones presentes, entre otros.

Entre los factores que afectan la localización se encuentran:

- Facilidades de transporte de equipos,
- Condiciones de vida, leyes, reglamentos e incentivos de los usuarios.
- Estructura tributaria y crediticia de la empresa.
- Facilidades de distribución de los equipos.
- Fuentes de obtención de energía eléctrica, agua, comunicaciones y alcantarillado.
- Terrenos disponibles, su clima y topografía.
- Mercado consumidor.
- Localización de los proveedores.
- Disponibilidad de especialistas.
- Combustibles a utilizar.

De acuerdo a los criterios de decisión influyentes en la localización, se debe seleccionar el que maximice el VAN.

En el análisis de los sistemas a implementar, se recomienda considerar las definiciones de las especificaciones técnicas; el diseño arquitectónico en el cual se implementará; el tipo, número, formas y descripción de los sistemas; las ubicaciones y análisis de precios unitarios pertinentes; la programación de las obras y la ejecución de los métodos constructivos de acuerdo al especialista en obra.

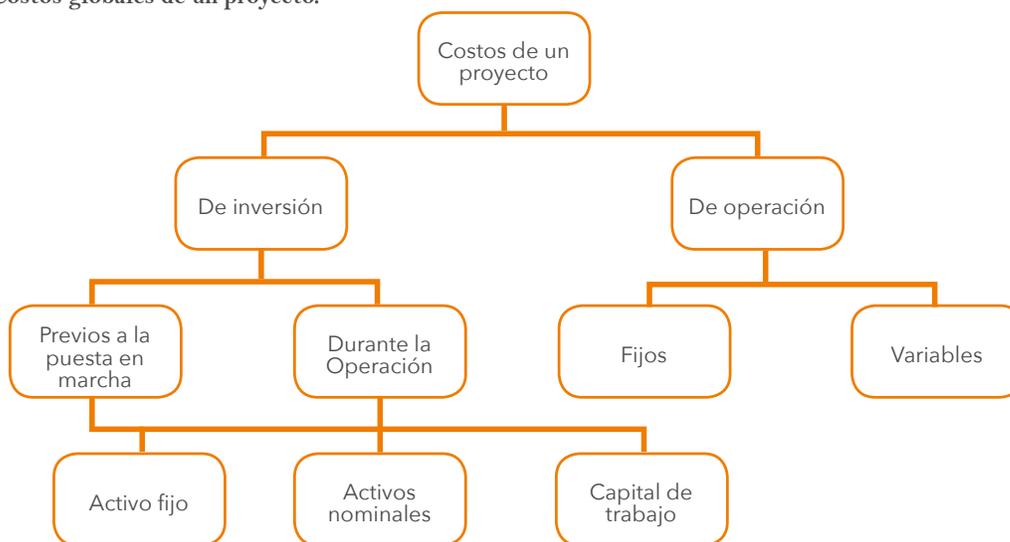
En el análisis de los equipos, se recomienda distinguirlos entre sí, observando la existencia de los volúmenes suficientes para cumplir el consumo futuro; las alternativas de equipos, las calidades y parámetros que presentan, sus dificultades de transporte, rendimientos, etc. Lo anterior debe ser compatible con las decisiones adoptadas respecto a los equipos en los estudios de mercado, análisis de tamaño, implementación y localización.

- Estimación y análisis de costos.

Para realizar la estimación de costos en la evaluación de proyectos con medidas de eficiencia energética se recomienda obtener referencias de proyectos similares que se hayan ejecutado y estén operando, de modo de tener parámetros reales de consumo y ahorro energético. También es de utilidad averiguar con proveedores de los equipos, maquinaria, insumos y otros materiales, así como consultar la opinión de los expertos para las distintas especialidades, y tener en consideración la existencia de los costos para los cuales hay tarifas fijadas por el gobierno y/o por localización. Asimismo, el consultar publicaciones oficiales o de asociaciones gremiales, permite informarse periódicamente sobre el resultado de encuestas de costos tales como equipos, insumos y otros materiales.

Los principales ítems de costos a considerar en un proyecto se encuentran resumidos en la figura a continuación.

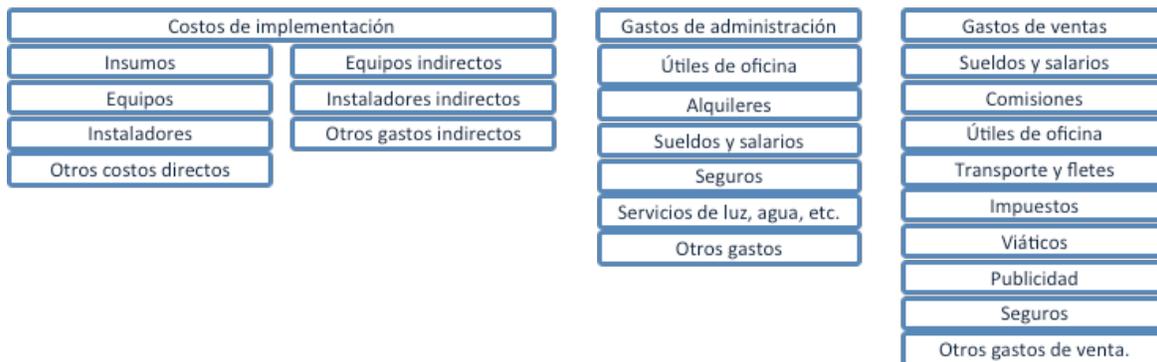
Figura 87: Costos globales de un proyecto.



Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

Se recomienda considerar los costos de implementación de las alternativas, en conjunto con los gastos de administración y ventas, los cuales a pesar de ser indirectos de la labor del gestor, pueden afectar los flujos de caja actuales y futuros de la empresa. Además se recomienda complementar la información con el calendario de inversión y la programación de la obra.

Figura 88: Costos específicos de un proyecto.



Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

Entre los errores más frecuentes en la estimación de los costos de un proyecto se presentan:

- Subestimación de la inversión, por una mala estimación de los gastos de trasportes y/o montaje de los equipos.
- Subestimación del tiempo necesario para ejecutar la inversión inicial.
- Errores en la estimación del costo del capital de trabajo.
- Cálculo muy optimista de la implementación en los primeros periodos.
- Tratamiento inadecuado de la tendencia futura de ciertos costos.
- Implementación.

El sistema a implementar transformará los ahorros de energía, con el propósito de disminuir el consumo energético. Existen casos en los cuales es posible disminuir el consumo usando diversas alternativas de sistemas, para formular una "alternativa técnica".

En la implementación de la alternativa influyen la disponibilidad de insumos energéticos, la naturaleza del equipo, la capacidad técnica, las condiciones ambientales, el costo de insumos y equipos que conformen el sistema. La metodología para seleccionar la alternativa corresponde a decidir con el criterio VAN, seleccionando el menor VAN de costos, suponiendo igualdad de ahorros energéticos y estudiándolos por su rendimiento.

La implementación de los sistemas que permitan un ahorro en el consumo de energía estará también en función del capital, la inversión y la mano de obra especializada para la instalación. Para caracterizar la alternativa a seguir se recomienda al Gestor:

- Definir cuáles la alternativa a seguir en la implementación
- Evaluar las alternativas presentes
- Observar las alternativas implementadas por la competencia y ver cuales elementos inciden en las alternativas utilizadas
- Definir los sistemas más utilizados y que equipos se utilizan.
- Ver si la implementación varía con el volumen a edificar y con cuales criterios se decidirá seguir el proceso
- Definir ventajas y desventajas del sistema elegido
- Definir si es compatible con las conclusiones de los estudios realizados (estudio de mercado, tamaño, localización, disponibilidad y costo de los insumos, obras físicas y de costos).

Para caracterizar la implementación a seguir se recomienda al Gestor:

- Describir el proceso-equipos-instalaciones-insumos y mano de obra especializada.
- Identificar etapas de implementación de la alternativa y su interrelación.
- Confeccionar un diagrama de flujos del proceso.
- Indicar cuáles serán los equipos principales, intermedios y secundarios.
- Especificar equipos-instalaciones y artefactos agrupándolos de acuerdo al proceso de implementación (incluir clase de equipo - origen -año de diseño- productos - vida útil - capacidad - rendimiento - peso).
- Separar equipos e instalaciones importadas y nacionales
- Calcular el personal especializado que se empleará en el proceso de implementación y en la operación del proyecto.
- Considerar necesidades de adiestramiento del personal futuro.
- Indicar los residuos derivados y la forma de ser eliminados.

5.1.4. Estudio legal

El ordenamiento jurídico con sus leyes, reglamentos, decretos y recomendaciones, entre otros, determina las condiciones que pueden afectar directa o indirectamente el flujo de caja proyectado; Una vez ha sido demostrada la viabilidad legal, por ejemplo, ante restricciones de realización de la inversión, se procede a evaluar como la normatividad afecta en los beneficios y costos del proyecto.

La importancia del estudio radica en su determinación de la factibilidad legal del proyecto, ya que lo acota; y en la identificación de los costos legales (no técnicos) que realiza a través del análisis de la legislación y reglamentación vigente, lo cual permite analizar los costos legales y de movimiento de propiedades, considerando los impuestos asociados al proyecto y aplicando las leyes pertinentes.

En la metodología del estudio legal se debe considerar sistematizar el proceso mediante:

- 1) Marco legal: Para su aplicación, en esta etapa se estudian leyes y decretos supremos en las siguientes áreas:
 - Edificación: en Chile principalmente participan la Ley General de Urbanismo y Construcción (LGUC), la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), las ordenanzas municipales y el plan regulador municipal.
 - Requisitos energéticos mínimos a cumplir.
 - Medio ambiente, higiene y seguridad.
- 2) Estructuración de la sociedad: entre sus requisitos debe responder a los aportes a realizar, la participación en los beneficios, la contribución en las pérdidas y el objetivo de conformación la sociedad. Entre las sociedades más comunes se encuentran las sociedades anónimas abiertas o cerradas y las sociedades de responsabilidad limitada, entre otras.
- 3) Determinación de costos asociados por áreas.

Tabla 75: Factores a considerar en el estudio legal.

Factibilidad Legal del Proyecto	Legislación Chilena Vigente	Normativas Urbanismo y Construcción	Costos legales asociados
<ul style="list-style-type: none"> • Normas sanitarias • Seguridad laboral • Código del trabajo y leyes laborales y previsionales • Normas ambientales • Leyes y normas económicas y tributarias • Normas ISO 	<ul style="list-style-type: none"> • Ley 3.918 de Responsabilidad Limitada • Ley 19537 de Copropiedad Inmobiliaria • Ley 19583 de venta en verde y subsidio de renovación urbana 	<ul style="list-style-type: none"> • Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC) • Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) • Plano regulador comunal • Permisos y derechos municipales 	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de titulo de dominio y escrituras de la propiedad • Conservador de Bienes Raíces (CBR) • Servicio de Impuestos Internos (SII) • Impuestos y gravámenes • Notaria y abogados.

Fuente: Adaptación de Sapag, N. (2008). Preparación y evaluación de proyectos (5ª Ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

5.1.5. Estudio financiero

La última etapa en el análisis de la viabilidad financiera de un proyecto es el estudio financiero. Los objetivos de su realización son recopilar, ordenar y sistematizar la información relevante de carácter financiero para la confección de los flujos de caja descontados que entregaron las etapas anteriores, tanto como para la elaboración de las tablas que permitan el análisis y los datos adicionales que permitan evaluar los antecedentes del proyecto y su rentabilidad

El orden de la información financiera busca identificar y sistematizar todos los ítems de inversiones, costos e ingresos que puedan deducirse de los estudios previos. Ya que no se cuenta con toda la información requerida para la evaluación, en esta etapa se definen los elementos propios del estudio financiero, tales como el cálculo del monto a invertir en la implementación o el valor residual del equipo. Por ejemplo, se debe definir la clasificación de los costos, la unidad monetaria, las fuentes de financiamiento y sus características.

Las inversiones del proyecto se deben clasificar, y se debe considerar, que durante la vida útil del proyecto puede ser necesario incurrir en inversiones para mantenciones periódicas o reposiciones de los equipos, que contarán con personal especializado, y por tanto, se recomienda confeccionar un calendario de inversiones y reinversiones considerando el valor residual de los equipos, tanto para la implementación como para la vida útil del proyecto. Por ejemplo, se deben considerar las inversiones en espacios, equipos, mantenimiento y/o reemplazo en operación, valores residuales, etc., proyectado en un calendario de inversiones de obras físicas.

Los ahorros energéticos se deducen de la información de demanda y consumo proyectada, calculada en el estudio de mercado, de las condiciones de uso y del cálculo de ingresos por venta de equipos cuyo reemplazo está previsto durante el periodo de evaluación del proyecto, según antecedentes que pudieran derivarse de los estudios técnicos para los equipos.

Los costos y ahorros de operación, se calculan con la información entregada por los estudios anteriores, considerando los impuestos. De ese modo, se realiza la evaluación del proyecto sobre la estimación de los flujos de caja de los costos y beneficios económicos y privilegiando los energéticos. Por ejemplo, en los cálculos de costos de operación se puede considerar la mano de obra especializada en la instalación, los insumos de funcionamiento y los costos de implementación en un calendario con los costos incluidos.

Asimismo podrá el gestor observar los beneficios del proyecto, los ingresos posibles por ahorro energético o reducciones de consumo, o incluso, los percibidos por la venta de equipos de reemplazo y actualización tecnológica considerando el valor residual.

Se recomienda al Gestor medir el resultado de la evaluación mediante criterios complementarios entre sí, evaluando el riesgo de invertir en el proyecto. Para medir el riesgo y la incertidumbre existen métodos que incorporan el riesgo numéricamente en la evaluación, o determinan diferencias que podrían afectar la rentabilidad, como es el análisis de sensibilidad.

En la evaluación, el gestor debe considerar un plazo fijo de análisis, pero debe tener presente que es posible que la rentabilidad varíe según el momento de la implementación. También puede variar según el reemplazo de equipos a realizar y su periodicidad. Paralelamente el gestor puede tener en cuenta que al incluir el financiamiento en los flujos de caja para costear la inversión, deja de medir la rentabilidad del proyecto y determina específicamente la rentabilidad de los recursos propios invertidos en él, los cuales no necesariamente son iguales a los del proyecto; información con la cual es posible decidir una alternativa sobre rentabilidades más documentadas.

Evaluación de créditos

La evaluación de proyectos incluye una evaluación financiera y una evaluación económica. La evaluación financiera contempla en su análisis a todos los flujos financieros del proyecto, distinguiendo capital propio y ajeno. La evaluación económica supone que todas las compras y ventas son al contado riguroso y que todo el capital es propio, es decir, desestima el problema financiero. El gestor debe tener presente que el crédito será conveniente si la tasa de costo financiero es inferior a la tasa de costo de oportunidad del préstamo.

Lo anterior explica el efecto palanca que produce el crédito sobre la rentabilidad del inversionista; efecto que se cumplirá en la medida que la diferencia entre la tasa de descuento y la tasa de crédito tenga el mayor valor positivo. Por tanto, se observa que las decisiones de inversión pueden estar separadas de sus correspondientes decisiones financieras, pero se debe conservar el criterio de eficiencia energética, el cual expresa que para las decisiones de inversión se debe maximizar el ahorro energético.

En el financiamiento del proyecto, se deben reconocer los activos y los recursos propios y ajenos para considerar la posible petición de un crédito, para el cual deberá determinar: el objetivo del crédito, el monto aprobado, la tasa de interés, la fecha de vencimiento, la moneda de crédito, el calendario de intereses y amortizaciones, etc. De ese modo, es posible para el gestor confeccionar el siguiente flujo de caja comparado.

Tabla 76: Flujo de caja en un proyecto puro y otro financiado.

Proyecto puro	Proyecto financiado
Ingresos afectos a impuestos	Ingresos afectos a impuestos
Egresos afectos a impuestos	Egresos afectos a impuestos
Gastos no desembolsables	Gastos no desembolsables
Utilidades antes de impuestos	Gastos financieros
Impuestos	Utilidades antes de impuestos
Utilidad después de impuestos	Impuestos
Ajuste por gastos no desembolsables	Utilidad neta
Egresos no afectos a impuestos	Ajuste por gastos no desembolsables
Ingresos no afectos a impuestos	Ingresos no afectos a impuestos

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

5.1.6. Evaluación privada y social

La evaluación social de proyectos determina la conveniencia de ejecutar un proyecto desde la perspectiva de la sociedad en su conjunto, identificando beneficios y costos de una determinada inversión. No siempre un proyecto que es rentable para un particular también es rentable para la sociedad, y viceversa, de este modo, la evaluación social de proyectos no sólo es aplicable a proyectos sociales o del sector público. Cualquier proyecto, aun si es ejecutado por un privado, puede ser evaluado desde un enfoque social.

Para estudiar la viabilidad de un proyecto, ambos tipos de evaluación utilizan criterios similares, pero difieren en la valoración de las variables determinantes de los costos y beneficios que se les asocien. A este respecto, la evaluación privada trabaja con el criterio de precios de mercado, mientras que la evaluación social lo hace con precios sombra o sociales, los cuales tienen el objeto de medir el efecto de implementar el proyecto desde el punto de vista de la sociedad, donde el gestor debe tener en cuenta los efectos indirectos y externalidades que generan sobre el bienestar de los usuarios, por ejemplo, la redistribución de



los ingresos producto del ahorro energético o la disminución de la contaminación ambiental al utilizar fuentes de energía menos contaminantes.

Además, la evaluación privada considera los precios relevantes para ella, pero estos precios pueden no reflejar el verdadero costo de oportunidad de usar los recursos económicos o energéticos. Del mismo modo, no considera los efectos (positivos o negativos) que tiene su proyecto sobre otros agentes económicos como los mercados sustitutos o complementarios, y no reflejan el verdadero costo de oportunidad debido a la existencia de impuestos, subsidios, precios mínimos o máximos, monopolios y monopsonios. En otras palabras, existen otras variables que sólo la evaluación privada incluye, como el efecto directo de los impuestos, subsidios u otros que para la sociedad sólo corresponden a transferencias de recursos entre sus miembros.

Los precios privados se pueden corregir a precios sociales, a través de criterios particulares por proyecto, o aplicando los factores de corrección que el gobierno define para su evaluación social; Pero los proyectos requieren por parte del gestor, la definición de correcciones de los valores privados a valores sociales. Para ello, el estudio de proyectos considera los costos y beneficios directos, indirectos e intangibles y, además, las externalidades que producen. Los beneficios se miden por el aumento en los ahorros en términos económicos de energía, pero en el precio del ahorro social el término económico se ajusta para que refleje la intervención social del ahorro. De igual manera, los costos directos corresponden a la compras de equipos, en las cuales el precio también se corrige para ser representativo en el análisis social.

Los costos y beneficios sociales indirectos corresponden a los cambios que provoca la implementación del proyecto en el consumo energético y otros mercados relacionados. Por ejemplo, los efectos sobre el consumo de energía que demande o de los productos sobre los que podría servir de insumo.

Los beneficios y costos sociales intangibles no son cuantificables, por lo que se deben considerar cualitativamente en la evaluación, en consideración con los efectos que la implementación del proyecto pueda tener sobre el bienestar de los usuarios. Por ejemplo, la implementación de energías renovables o los efectos sobre la distribución geográfica de la población, entre otros.

Son externalidades de un proyecto los efectos positivos y negativos que se crean sobre agentes no beneficiarios directamente, tales como la contaminación ambiental que puede generar el proyecto, o aquellos efectos redistributivos del consumo energético que éste pudiera ocasionar. Por ejemplo, la contaminación que producen los residuos de operación de los equipos de climatización y su vertido en el sistema colector de aguas, o el aumento del ruido producto de la operación de los equipos de climatización. También, la instalación de sistemas eficientes energéticamente puede aumentar las ventas de los proveedores, seguido de la implementación en otros edificios aledaños.

Precios sociales

Los precios sociales son valores que reflejan el verdadero costo para la sociedad de las unidades adicionales de recursos utilizados en la implementación y operación de un proyecto de inversión.

Hay algunos recursos que son utilizados en la mayoría de los proyectos. Por esta razón, se ha buscado estandarizar su precio social, de manera de uniformar su aplicación. Ellos son el precio social de la mano de obra y la divisa, la tasa social de descuento, el valor social del tiempo y de los costos de operación vehicular.

Flujos de beneficios sociales

Los beneficios sociales son aquellos producidos directamente por el servicio que entrega el proyecto, por ejemplo, la implementación de un sistema de calefacción eficiente genera ahorros en los usuarios en cuanto al uso de otras alternativas de confort.

Los beneficios sociales netos son la diferencia entre los beneficios y costos sociales del proyecto. A modo de ejemplo, en la tabla se presenta la forma de realizar el flujo de beneficio social donde IS es la inversión valorada a precios

sociales; $BSN_1, BSN_2, \dots, BSN_n$, son todos los beneficios netos sociales que entrega el proyecto en cada uno de los periodos del horizonte de evaluación.

Tabla 77: Flujos de caja beneficios sociales

Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	...	Año n
IS	BSN1	BSN2	BSN3	BSN4	...	BSNn

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

Costos sociales

Corresponden a aquellos costos que periodo a periodo se deben incurrir para generar los beneficios del proyecto, valorados a precios sociales. Entre ellos se encuentran: la mano de obra especializada, los insumos nacionales o importados, por ejemplo, los costos de reposición de las luminarias y otros costos de operación y mantenimiento para los usuarios.

La inversión en la evaluación social corresponde a todos los recursos utilizados en la ejecución del proyecto, valorados a precios sociales. Al aplicar los factores de corrección a los ítems de la inversión, es decir, al valorarlos a precios sociales, se obtiene la inversión social del proyecto.

Tabla 78: Costos sociales.

Ítem	Corrección social
Terrenos	No se corrige
Insumos nacionales	Descontar IVA y otros impuestos
Insumos importados	Descontar arancel y aplicar factor de corrección de la divisa.
Maquinaria y equipos nacionales	Descontar IVA y otros impuestos
Maquinaria y equipos importados	Descontar arancel y aplicar factor de corrección de la divisa
Sueldos y salarios	Aplicar factor de corrección de la mano de obra

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

Cálculo VAN social

Una vez que se han calculado los beneficios sociales netos y la inversión social, se deberá calcular el indicador del valor actual neto social. Donde IS corresponde a la inversión social, BSN son los beneficios sociales netos y r^s es la tasa social de descuento.

$$VAN\ social = -IS + \sum_{t=1}^n \frac{BSN_t}{(1+r^s)^t}$$

Los criterios de decisión son:

- $VAN\ social > 0$ el proyecto es conveniente
- $VAN\ social = 0$ el proyecto es indiferente
- $VAN\ social < 0$ el proyecto no es conveniente

Para utilizar el VAN como criterio de decisión para seleccionar una alternativa, el gestor debe tener presente todos aquellos beneficios y costos que no pueden ser cuantificados y/o valorados. Para cuando sea difícil cuantificar y valorar los beneficios, el gestor puede asumir que los beneficios son deseables por los usuarios y por tanto, la evaluación se reduce a determinar aquella alternativa que permita conseguir los beneficios a un menor costo.

Sobre el VAN privado y VAN social

En proyectos donde el VAN social da resultados positivos, pero el VAN privado es negativo, generalmente son ejecutados gracias al aporte estatal mediante la entrega de subsidios para su realización.

Al Estado, como entidad subsidiaria, no le conviene entregar más del monto correspondiente al VAN privado negativo. Esto permitirá que el privado obtenga una rentabilidad "normal", pero suficiente para tener el incentivo de ejecutar el proyecto.

Tabla 79: Ejecución del proyecto según criterios del VAN.

	VAN privado > 0	VAN privado < 0
VAN social > 0	Lo hace el privado	El Estado incentiva el proyecto (subsidio) o lo ejecuta directamente
VAN social < 0	El Estado desincentiva el proyecto	No se ejecuta el proyecto

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

Enfoque Costo Eficiencia

En el enfoque costo eficiencia, los flujos del proyecto estarán dados sólo por los costos sociales y la inversión social. En estos proyectos los flujos serán como se observa en la tabla a continuación, donde *IS* es la inversión valorada a precios sociales y *CS₁*, *CS₂*,..., *CS_n* son los costos de operación y mantenimiento de cada año, valorados a precios sociales.

Tabla 80: Enfoque Costo- Eficiencia

Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	...	Año n
IS	CS1	CS2	CS3	CS4	...	CSn

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

En estos proyectos, los criterios de decisión utilizados serán el VAN o CAE social, donde *r^s* es la tasa social de descuento y *n* el horizonte de evaluación.

$$CAE\ social = VAN\ social * \frac{r^s * (1 + r^s)^n}{(1 + r^s)^n - 1}$$

Tabla 81: Comparación entre los enfoques Costo – Beneficio y Costo – Eficiencia.

Enfoque	Características	Criterios de decisión
Costo – Beneficio	Se pueden identificar, medir y valorar los costos y beneficios del proyecto	VAN social VAE social TIR social
Costo – Eficiencia	Se pueden identificar, medir y valorar los costos; los beneficios pueden identificarse, a veces medirse, pero no pueden ser valorados	VAE social CAE social CAE / Usuarios

Fuente: Aguirre. (2012). Apuntes de preparación y evaluación de proyectos.

5.1.7. Huellas en el entorno

Si el gestor desea además obtener un enfoque sobre las huellas que genera en el entorno la inversión a realizar, puede considerar dentro de su evaluación del proyecto las siguientes normas y su aplicación.

- Las normas ISO 14000, consideran los procedimientos que permitirán conseguir un equilibrio entre la rentabilidad y la reducción de las huellas causadas en el entorno, mediante un sistema de gestión ambiental que permite cumplir la legislación relacionada.

- Las normas ISO 9000, consideran los procedimientos que garanticen a los consumidores que los equipos y sistemas a proveer, cumplirán con los requisitos de calidad exigidos.

El gestor puede rescatar de lo anterior los procesos de mejoramiento continuo en la implementación de los sistemas, incorporando estándares de calidad en el proceso hasta la entrega al cliente. También puede determinar las huellas que genera en el entorno el proceso, anticipando eventuales costos futuros derivados de variables ambientales en evolución, como la pertenencia de la empresa a un sector con mala imagen ambiental, lo que haría esperar mayores costos y menor competitividad por tener que cumplir con normas más estrictas; así como la determinación de la mejor ubicación económica en un sector de creciente valor ecológico o recreativo que podría llegar a determinar incluso su traslado y la pertenencia a un sector donde los usuarios hacen cada vez mayores exigencias ambientales.

El gestor debe conocer que el desarrollo y las huellas que produce en el entorno están relacionados, para conocer que la prevención y el control oportuno de las huellas generarán un mejor desarrollo, y con ello identificar siempre las inversiones que generan beneficios, sean éstos superior o no al costo respecto al entorno.

Para realizar una evaluación económica de las huellas se proponen tres tipologías de estudios que permiten al gestor identificar los aspectos cualitativos y cuantitativos:

- Los métodos cualitativos identifican, analizan y explican las huellas positivas y negativas que podrían ocasionarse en el entorno con la implementación del proyecto. Su jerarquización y valoración de estos efectos están basados en criterios subjetivos que determinan la viabilidad del proyecto.
- Los métodos cualitativos y numéricos ponderan en escalas de valores números las variables del entorno. Por ejemplo, señalan que para determinar la alternativa es necesario combinar factores cuantificables, tales como el costo de sistemas de control de emanaciones de los equipos; con factores de carácter subjetivo, tales como el confort del aire más limpio, asignándoles una calificación relativa a cada una de estas variables.
- Los métodos cuantitativos determinan tanto los costos asociados con las medidas de mitigación total o parcial como los beneficios de los daños evitados, incluyendo ambos efectos dentro de los flujos de caja del proyecto que se evalúa. Según estos métodos, las medidas de mitigación de daños ambientales se adelantan hasta

el punto en que el valor marginal del daño evitado se iguala con el costo marginal del control de los daños. De acuerdo con un criterio económico, estos métodos buscan minimizar el costo total del proyecto, para lo cual es permisible un cierto nivel de daño ambiental residual, el cual en muchos casos no tiene un carácter permanente.

Unidad 5.2: Evaluación de proyectos

5.2.1. Criterios cuantitativos de evaluación de proyectos

A partir de los criterios de decisión presentados, el Gestor puede realizar una evaluación cuantitativa para la inversión e implementación del proyecto. En ocasiones, la edificación puede aumentar su valor de inversión inicial según la eficiencia energética que se esté logrando, y en otras, los costos de operación y mantención pueden ser traspasados a los usuarios, según la evaluación a realizar. Para los análisis de eficiencia energética, se recomienda valorar los costos de operación por sobre los de inversión, incorporando en la evaluación los flujos menores del futuro e incluyéndolos en el flujo inicial. Lo anterior comprende también el uso de la tasa de descuento, ya que mientras mayor sea, el proyecto resulta menos viable para la incorporación de medidas de eficiencia energética.

5.2.2. Sensibilidad

La medición de la rentabilidad presentada evalúa solamente el resultado del escenario proyectado, el cual puede ser elegido por el gestor con un criterio distinto al que tendría el inversionista, ya que poseen diferentes aversiones al riesgo y perspectivas de análisis. La evaluación presentada basada en la certidumbre y el riesgo puede no ser controlable por parte del gestor, por lo que se recomienda entregar la mayor cantidad de antecedentes para que quien deba tomar la decisión final de implementación disponga de elementos suficientes.

De este modo, para complementar la evaluación del proyecto y las proyecciones realizadas, el Gestor puede desarrollar un análisis de sensibilidad que permita medir cuán sensible es la evaluación realizada en uno o más parámetros decisivos.

Para ello, existen modelos de sensibilización aplicables en las estimaciones realizadas sobre el VAN, la TIR y las utilidades, para perspectivas económicas y de disminución del consumo de energía. Aunque los modelos son de carácter económico, pueden ser aplicables al análisis de cualquier variable del proyecto, tales como los volúmenes de compra de equipos o la demanda de energía.

5.2.3. Ejemplos

Ejemplo N° 1: Aire acondicionado.

Para la implementación de aire acondicionado en la edificación de oficinas, se realiza una cotización que presenta equipos de aire acondicionado tipo Split de 2 kW cada uno, con una capacidad de regulación de temperatura de hasta 5 °C; y cuyo valor unitario es de \$ 210.000. Por otro lado, se presentan equipos de aire acondicionado tipo Split de 1,5 kW, que regulan la temperatura hasta 18 °C y cuyo valor unitario es de \$ 280.000. El precio del kWh se considera en \$100 como referencia.

- En este caso, la inversión inicial I_{01} para la primera alternativa corresponde a

$$I_{01} = \$210.000 * 30 \text{ equipos} = \$6.300.000$$

Y su gasto de energía es de

$$E_{01} = 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} * 22 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} * 5 \text{ años} * 2 \text{ kW} * 30 \text{ equipos} * 100 \frac{\$}{\text{kWh}} = \$76.400.000$$

Presentando un total para la primera alternativa de \$ 32.700.000

- La segunda opción requiere una inversión inicial I_{02} de

$$I_{02} = \$280.000 * 30 \text{ equipos} = \$8.400.000$$

Y su gasto de energía es de

$$E_{02} = 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} * 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} * 22 \frac{\text{semanas}}{\text{año}} * 5 \text{ años} * 1,5 \text{ kW} * 30 \text{ equipos} * 100 \frac{\$}{\text{kWh}} = \$19.800.000$$

Presentando un total para la segunda alternativa de \$ 28.200.000

La primera alternativa se observa más económica inicialmente, pero al considerar un periodo de uso de 5 años, representa mayores gastos ya que los equipos de la primera alternativa son de 2 kW y los de la segunda son de 1,5 kW. Además, la cualidad de enfriar hasta 5 °C de la primera alternativa, no es requisito, y podría generar un sobre uso del manejo del frío por parte del usuario. La segunda alternativa además tiene la ventaja, que por diseño no logra temperaturas inferiores a 18 °C, logrando el confort esperado por los usuarios.

Ejemplo N° 2: Cambio de tarifas.

Un edificio de oficinas proyectado cuenta en el momento de la evaluación con una tarifa BT3, que posee un cobro de \$11.867 por kW utilizado en cualquier momento del día. Se evalúa instalar la tarifa BT 4.3 en electricidad, que posee un cobro menor en horario punta de \$ 9.299 y de \$2.568 en el horario fuera de punta.

Considerando que el personal se retira en su mayoría antes de las 18 hrs, es posible valorar la disminución de consumo en horario de punta, pagando precios menores por la energía utilizada. Gestionando los horarios de operación, es posible aprovechar el cobro de \$ 2.568 por kW consumido durante el día, y a partir de las 18:00 disminuir fuertemente el consumo para no pagar el cobro de potencia inutilizada entre las 18:00 y 23:00 horas.

Por lo tanto se recomienda cambiar la tarifa BT3 por la tarifa BT4.3, ya que el cambio permite desde el diseño y en la operación, disminuir los cobros por el uso de la demanda máxima.

El cambio de tarifa influye en el ahorro energético, lo cual se observa en la tabla a continuación.

Tabla 82: Tarifas de Chilectra a febrero de 2014. Valores unitarios con IVA incluido

Energía	kWh	Suministrada	Hora de punta
Tarifa BT3	49,92	\$11.867	\$0
Tarifa BT4.3	49,92	\$2.568	\$9.299

Fuente: www.chilectra.cl

Ejemplo N°3: Sistema de climatización.

El sistema base de climatización proyectado tiene diferentes fuentes de energía según su aplicación. Para el caso del aire acondicionado, se proyectan 125 equipos con una potencia instalada de 248 kW, con un consumo anual de 279.940 kWh. De ellos, 83 son de tipo ventana con una

potencia instalada de 171 kW, 37 son tipo Split muro con una potencia instalada de 53 kW; y 5 equipos tipo Split cielo con una potencia instalada de 25 kW. La demanda máxima de climatización es de 160 kW, utilizando un 65% de la potencia instalada, con 150 Toneladas de Refrigeración TR proyectadas a producción.

Se evalúa modificar la situación base ya que presenta una serie de desventajas, entre las cuales se cuentan una mala estética para el edificio, mal confort térmico que se traduce en considerables variaciones de temperatura en el edificio pues cada usuario establece sus propios requerimientos, grandes ineficiencias energéticas por la gran cantidad de equipos y adicionalmente peligros potenciales por estufas individuales con poco control sobre su uso, que pueden afectar tanto a la capacidad de la red de distribución eléctrica como a la seguridad, especialmente si son de gas licuado.

En la evaluación, se presenta un sistema único de climatización, más eficiente, ya que instalar un solo sistema central que 125 equipos, elimina además estufas eléctricas, estufas a gas, ventiladores y calderas. Entre los sistemas centrales que abastecen de frío y calor a las oficinas, se presenta la alternativa de instalar un sistema de Aire Acondicionado por medio de ventiladores horizontales de cielo con retorno, los cuales inyectan aire por medio de ductos flexibles y galvanizados, y difusores de inyección, abastecidos con agua helada proveniente de enfriadores por aire (chillers) ubicados en la terraza del último piso del edificio; donde la calefacción sería entregada por medio de calefactores eléctricos monofásicos. Se estima que la alternativa requiere 120 kW de potencia eléctrica para su producción.

Si además, parte del sistema de calefacción está proyectado con dos calderas alimentadas con petróleo, las cuales operan 5 meses del año por 3 horas diarias, gastan aproximadamente 15.000 litros de petróleo al año a \$ 500 el litro. También están en el proyecto base dos bombas de agua caliente de 7,5 kW cada una, que operan durante 800 horas al año. Esto significa un ahorro por demanda máxima evitada y otro por consumo, en el pago anual de energía evitado.

Respecto a la mantención, en el proyecto base asciende a \$ 6.912.000 con \$500.000 anuales en repuestos. En la alternativa mejorada se estima que el año 1 en mantención se gastaría solo el 20% ya que el sistema estaría nuevo, en el año dos el gasto correspondería al 40% y en el año tres se asumiría el 60%, el año 4 el 80% y el año 5 el 100% del valor actual. Del mismo modo se considera la compra de repuestos.

Proyectando una gestión energética que corte la calefacción después de las 18:00 horas para aprovechar el ahorro en la instalación de la mejor opción tarifaria, además de la eficiencia en el sistema mejorado de climatización, es posible conseguir los siguientes ahorros.

Tabla 83: Ejemplo de ahorro por concepto de aire acondicionado.

Tarifa	hrs/año	kW	kWh/año	\$Suministro	\$ H.P.	\$kWh/año	Total \$*
BT 3	2.000	160	320.000	\$22.784.640	\$ 0	\$15.974.400	\$38.759.040
BT 3	2.000	120	240.000	\$17.088.480	\$ 0	\$11.980.800	\$29.069.280
BT 4.3	2.000	120	240.000	\$3.697.920	\$ 0	\$11.980.800	\$15.678.720
Ahorro total \$, por cambio de eficiencia del sistema (fila 1 - fila 2)							\$9.689.760
Ahorro total \$, por cambio de tarifa (fila 2 - fila 3)							\$13.390.560
Ahorro por eliminación de calderas de petróleo (15.000 litros x \$500)							\$7.500.000
Ahorro por pago anual de demanda máxima evitado (\$11.867*12 meses*2*7,5 kW)							\$2.136.060
Ahorro por pago anual de energía evitado (49,92 x 2 x 7,5 kW x 800 horas)							\$599.040
Ahorro total							\$33.315.420

*Utilizando las tarifas de energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

Tabla 84: Ahorros por optimización energética en climatización.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro por cambio de sistema	\$9.689.760	\$9.689.760	\$9.689.760	\$9.689.760	\$9.689.760
Ahorro por cambio de tarifa	\$13.390.560	\$13.390.560	\$13.390.560	\$13.390.560	\$13.390.560
Ahorro por petróleo	\$7.500.000	\$7.500.000	\$7.500.000	\$7.500.000	\$7.500.000
Ahorro por bombas	\$2.735.100	\$2.735.100	\$2.735.100	\$2.735.100	\$2.735.100
Ahorro por mantención	\$5.929.600	\$4.447.200	\$2.964.800	1.482.400	\$0
Sub total	\$39.245.020	\$37.762.620	\$36.280.220	\$34.797.820	\$33.315.420

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

Tabla 85: Valor Actual Neto VAN en un periodo de 5 años con un interés de 10% proyectado y una inversión inicial de \$100.000.000.

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(100.000.000)	1/(1+0,1) ⁰	(100.000.000)
1	\$39.245.020	1/(1+0,1) ¹	\$35.677.291
2	\$37.762.620	1/(1+0,1) ²	\$31.208.777
3	\$36.280.220	1/(1+0,1) ³	\$27.257.867
4	\$34.797.820	1/(1+0,1) ⁴	\$23.767.379
5	\$33.315.420	1/(1+0,1) ⁵	\$20.686.255
	Valor Actual Neto VAN		\$38.597.568

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

La rentabilidad a exigir al proyecto con una inversión inicial supuesta de \$100.000.000 en un periodo de 5 años corresponde a la siguiente tabla.

Tabla 86: VAN=0 y TIR=0,25 en un periodo de 5 años y una inversión inicial de \$100.000.000.

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(100.000.000)	$1/(1+0,25)^0$	-100.000.000
1	\$39.245.020	$1/(1+0,25)^1$	31.483.488
2	\$37.762.620	$1/(1+0,25)^2$	24.302.933
3	\$36.280.220	$1/(1+0,25)^3$	18.731.164
4	\$34.797.820	$1/(1+0,25)^4$	14.412.694
5	\$33.315.420	$1/(1+0,25)^5$	11.069.722
Valor Actual Neto VAN			0

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

En el proyecto modificado la rentabilidad se acepta ya que para la tasa de interés proyectada en el periodo, se presenta una *TIR* mayor y un *VAN* positivo. Cabe considerar la importancia de la optimización energética realizada en el proyecto base, ya que permite la posibilidad de redistribución de espacios destinados a calderas, radiadores y equipos asociados; la eliminación del petróleo como fuente de energía fósil; el uso de estufas eléctricas o ventiladores portátiles con el mal uso asociado de la red de energía; la eliminación el gas como fuente de energía para estufas; se automatizan los procesos de encendido y apagado; se regulariza la temperatura; y se aumenta la estética y el confort.

Ejemplo N°4: Sistema de iluminación.

Si el sistema de iluminación es utilizado en oficinas 8 horas diarias, 5 días a la semana, en 50 semanas al año, se estima un tiempo de uso anual de 2.000 horas. Ante la evaluación del caso base con tarifa eléctrica BT3, se presentará una optimización energética y el cambio de tarifa para gestionar la electricidad, y con ello ahorrar un 50% de iluminación en meses de invierno después las 18:00 horas.

En el proyecto base, se evalúa reemplazar tubos fluorescentes con balasto magnético, siendo 1.107 de 40 W y una potencia de 44.280 W, por tubos de 36 W con una potencia de 39.852 W; y 787 tubos fluorescentes de 20 W con una potencia de 15.740 W, por tubos de 18 W con una potencia de 14.166. Para el proyecto base la potencia total es de 60,02 kW y para el mejorado es de 54,02 kW, sin que ello represente cambios cualitativos asociados.

Los ahorros por optimización energética se presentan en la tabla:

Tabla 87: Ahorros por optimización energética en tubos fluorescentes.

Tarifa	hrs./año	kW	kWh/año	\$Suministro	\$H.P.	\$kWh/año	Total \$
BT3	2.000	60,02	120.040	\$8.547.088	\$ 0	\$5.992.397	\$14.539.485
BT3	2.000	54,02	108.036	\$7.692.664	\$ 0	\$5.393.357	\$13.086.021
BT4.3	2.000	54,02	108.036	\$1.664.681	\$3.013.992	\$5.393.357	\$10.072.030
Ahorro total \$, por cambio de eficiencia del sistema (fila 1 - fila 2)							\$1.453.464
Ahorro total \$, por cambio de tarifa (fila 2 - fila 3) (iluminación al 50% H.P.)							\$3.013.991
Ahorro total							\$4.467.455

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

Los costos de comprar en grandes volúmenes los tubos a \$1.131 cada uno, para los de 36 W y 1.107 tubos son de \$1.252.017, y por comprar 787 tubos de 18 W, son de \$890.097. El total de costos en tubos es de \$2.142.114.

Si la vida útil de los tubos fluorescentes con balasto magnético es de 2.000 horas, que en el caso corresponden a un año de funcionamiento, para un periodo de 5 años se deberán reemplazar 5 veces, con un costo total de \$10.710.570. Al evaluar el uso de balasto electrónico, la vida útil del tubo fluorescente aumenta el doble, por lo que en el periodo de 5 años sería necesario reemplazarlos dos veces, con un costo total de \$4.284.228.

En la evaluación, se presenta la alternativa de reemplazar los balastos magnéticos por electrónicos, donde un balasto 2x36 sirve a dos tubos de 36 W y los balastos 1x36 sirven a dos tubos de 18 W.

Si los balastos magnéticos consumen 14 W por cada tubo de 40 W, para 554 tubos se tiene una potencia de 15.498 W; y si consumen 7 W por cada tubo de 20 W, para 394 tubos la potencia es de 5.516 W. La potencia total de consumo de los balastos magnéticos es de 21.014 W.

Para el caso de los balastos electrónicos, se estima un consumo de 6 W por cada tubo de 36 W con una potencia de 6.648 W; y si consumen 3 W por cada tubo de 18 W, la potencia es de 2.364 W. Por lo tanto, para los balastos electrónicos la potencia total es de 9.012 W.

Los ahorros por optimización energética se presentan en la tabla:

Tabla 88: Ahorros por optimización energética en balastos.

Tarifa	hrs./año	kW	kWh/año	\$Suministro	\$H.P.	\$kWh/año	Total \$
BT3	2.000	21,014	42.028	\$2.992.478	\$ 0	\$2.098.038	\$5.090.516
BT3	2.000	9,012	18.024	\$1.283.345	\$ 0	\$899.758	\$2.183.103
BT4.3	2.000	9,012	18.024	\$277.714	\$502.816	\$899.758	\$1.680.288
Ahorro total \$, por cambio de eficiencia del sistema (fila 1 - fila 2)							\$2.908.413
Ahorro total \$, por cambio de tarifa (fila 2 - fila 3) (iluminación al 50% H.P.)							\$502.815
Ahorro total							\$3.411.228

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

Los costos de comprar en grandes volúmenes 554 balastos electrónicos 2x36 a \$4.300 cada uno, son de \$2.382.200, y por comprar los 394 de 1x36 a \$3.600 cada uno, son de \$1.418.400. El total de costos en balastos electrónicos es de \$3.800.600. Además, el uso de balastos electrónicos presenta la eliminación del efecto flicker (parpadeo) en iluminación, con un encendido inmediato y entrega una mayor vida útil a los tubos fluorescentes.

Si la inversión en iluminación es de \$6.000.000 para la compra de los tubos fluorescentes y balastos electrónicos, se presenta el siguiente flujo:

Tabla 89: Ahorros por optimización energética en iluminación.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ahorro por cambio de tubos	\$1.453.464	\$1.453.464	\$1.453.464	\$1.453.464	\$1.453.464
Ahorro por cambio de tarifa tubos	\$3.013.991	\$3.013.991	\$3.013.991	\$3.013.991	\$3.013.991
Ahorro por cambio de balastos	\$2.908.413	\$2.908.413	\$2.908.413	\$2.908.413	\$2.908.413
Ahorro por cambio de tarifa balastos	\$502.815	\$502.815	\$502.815	\$502.815	\$502.815
Ahorro por mantención (B.E.)	\$2.142.114	\$0	\$2.142.114	\$0	\$2.142.114
Sub total	\$10.020.797	\$7.878.683	\$10.020.797	\$7.878.683	\$10.020.797

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 90: Valor Actual Neto VAN en un periodo de 5 años con un interés de 10% proyectado y una inversión inicial de \$6.000.000.

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(6.000.000)	$1/(1+0,1)^0$	(6.000.000)
1	\$10.020.797	$1/(1+0,1)^1$	9.109.815
2	\$7.878.683	$1/(1+0,1)^2$	6.511.308
3	\$10.020.797	$1/(1+0,1)^3$	7.528.773
4	\$7.878.683	$1/(1+0,1)^4$	5.381.246
5	\$10.020.797	$1/(1+0,1)^5$	6.222.127
Valor Actual Neto VAN			28.753.270

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

La rentabilidad a exigir al proyecto con una inversión inicial supuesta de \$6.000.000 en un periodo de 5 años corresponde a la siguiente tabla.

Tabla 91: VAN=0 y TIR=1,56 en un periodo de 5 años y una inversión inicial de \$6.000.000.

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(6.000.000)	$1/(1+1,56)^0$	-6.000.000
1	\$10.020.797	$1/(1+1,56)^1$	3.919.240
2	\$7.878.683	$1/(1+1,56)^2$	1.205.183
3	\$10.020.797	$1/(1+1,56)^3$	599.517
4	\$7.878.683	$1/(1+1,56)^4$	184.354
5	\$10.020.797	$1/(1+1,56)^5$	91.707
Valor Actual Neto VAN			0

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

El proyecto de optimización energética en iluminación es rentable, pues para el periodo de evaluación y la tasa de interés proyectada, presenta una tasa interna de retorno superior y un valor actual neto positivo.

Ejemplo N°5: Sistema de agua potable.

Para un edificio de oficinas, la red de agua potable es servida por una bomba de 5,5 kW de potencia, con funcionamiento permanente, que se alimenta de un estanque de 20.000 litros. La energía consumida por la bomba es de 48.180 kWh en las 8.760 horas del año.

En la evaluación del proyecto, se presenta la alternativa de instalar un estanque de 5.000 litros de capacidad en la azotea del edificio, el cual será llenado por la misma bomba, que operaría por un control automático basado en la detección de niveles alto y bajo del estanque, con llenado previo a las 18:00 horas, para lo cual adicionalmente hay

que instalar una tubería de 2" desde la sala de bombas en el subterráneo, hasta la azotea del edificio. Esto permitirá bajar el tiempo de operación diaria de 24 hrs. a 2 hrs. diarias los 365 días del año.

Tabla 92: Ahorros por optimización energética en agua potable.

Tarifa	hrs./año	kW	kWh/año	\$Suministro anual	\$kWh/año	Total anual \$
BT3	8.760	5,5	48.180	\$783.222	\$2.405.146	\$3.188.368
BT3	730	5,5	4.015	\$783.222	\$200.429	\$983.651
BT4.3	730	5,5	4.015	\$169.488	\$200.429	\$369.917
Ahorro total \$, por cambio de eficiencia del sistema (fila 1 - fila 2)						\$2.204.717
Ahorro total \$, por cambio de tarifa (fila 2 - fila 3)						\$613.734
Ahorro total						\$2.818.451

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

Para la inversión se requiere considerar:

- Compra estanque 5.000 litros \$ 1.500.000
- Compra 40 m cañería 2" diámetro \$ 212.000
- Conjunto de materiales diversos \$ 171.168
- Instalación \$ 1.200.000
- Elementos de control \$ 240.000
- Total = \$ 3.323.168

Tabla 93: Valor Actual Neto VAN en un periodo de 5 años con un interés de 10% proyectado y una inversión inicial de \$3.323.168

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(3.323.168)	$1/(1+0,1)^0$	(3.323.168)
1	\$2.818.451	$1/(1+0,1)^1$	2.562.228
2	\$2.818.451	$1/(1+0,1)^2$	2.329.298
3	\$2.818.451	$1/(1+0,1)^3$	2.117.544
4	\$2.818.451	$1/(1+0,1)^4$	1.925.040
5	\$2.818.451	$1/(1+0,1)^5$	1.750.036
Valor Actual Neto VAN			7.360.979

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

La rentabilidad a exigir al proyecto con una inversión inicial supuesta de \$3.323.168 en un periodo de 5 años corresponde a la siguiente tabla.

Tabla 94: VAN=0 y TIR=0,80 en un periodo de 5 años y una inversión inicial de \$6.000.000.

Periodo	Flujo	Factor de descuento	Valor del flujo
0	(3.323.168)	$1/(1+0,80)^0$	-3.323.168
1	\$10.020.797	$1/(1+0,80)^1$	1.562.598
2	\$7.878.683	$1/(1+0,80)^2$	866.332
3	\$10.020.797	$1/(1+0,80)^3$	480.309
4	\$7.878.683	$1/(1+0,80)^4$	266.292
5	\$10.020.797	$1/(1+0,80)^5$	147.637
Valor Actual Neto VAN			0

Fuente: Elaboración propia con base en la bibliografía consultada.

El proyecto de optimización energética en iluminación es rentable, pues para el periodo de evaluación y la tasa de interés proyectada, presenta una tasa interna de retorno superior y un valor actual neto positivo.

**ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO Y
CONTROL DE CALIDAD.**

CAPÍTULO

06



Al término del módulo el alumno será capaz de:

- Comprender los fenómenos físicos de transferencia de calor, específicamente las pérdidas de calor en edificios y la inercia térmica de estos.
- Interpretar algunas soluciones constructivas de acondicionamiento térmico, y realizar cálculos de transferencia de calor asociados.
- Asociar los contenidos del módulo a la correcta ejecución de las partidas determinantes del desempeño energético del edificio.

Unidad 6.1. Verificación experimental in situ de comportamiento térmico y de infiltraciones en edificios

6.1.1 Determinación de la transmitancia térmica de elementos de la envolvente

Objetivo del ensayo

Conocer la aislación térmica que proveen en uso elementos de la envolvente de la vivienda. Específicamente las propiedades de transmitancia térmica.

6.1.1.1 Ensayo de Termoflujometría

Se utiliza para medir In Situ flujos de calor y temperaturas en elementos de la envolvente de edificios bajo condiciones de uso. La técnica consiste en detectar y amplificar el gradiente de temperatura que origina el paso de un flujo térmico a través de un material de características térmicas y eléctricas conocidas.

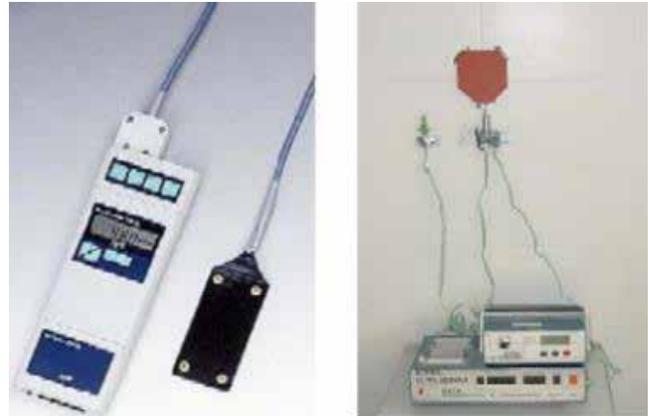
Métodos y Equipos

El sistema de medición considera sensores de flujos de calor, medidores de señales eléctricas, transductores de señales, equipos adquirentes y almacenadores de datos.

El sensor de flujo de calor consiste en una delgada lámina de metal que actúa como cuerpo sostenedor o de relleno de un circuito termoelectrico, conocido también como termopila, formado por varias termocuplas en serie de cobre-constantan. Durante el ensayo el sensor se dispone de modo que el flujo de calor que pasa al elemento sujeto de observación fluya también a través del material de relleno

del sensor que actúa como una resistencia térmica. El flujo de calor origina un gradiente de temperatura a través del sensor y un voltaje de salida que es proporcional a la diferencia de temperatura entre las uniones cobre-constantan y constantan-cobre.

Figura 89: Equipos.



Fuente: Recuperado de <http://tecono.sostenibilidad.org/>

Cada sensor individual tiene su propia sensibilidad, conocida como E_s , usualmente expresada en Volts de salida, V_s , dividido por el flujo de calor j en Watt por unidad de superficie en metros cuadrados (W/m^2). De este modo, el flujo se calcula como:

$$\varphi = V_s / E_s$$

La sensibilidad es determinada por el fabricante e indicada en el certificado de calibración que se entrega con cada sensor.

Para determinar la transmitancia y resistencia térmica del elemento se utiliza el procedimiento que describe la Norma (2) y ASTM C1155(3). Se emplea, complementariamente a las facilidades necesarias para determinar flujos de calor, un sistema de medición de temperaturas del aire a ambos lados del elemento. Así se obtiene la transmitancia térmica a través del elemento constructivo en el punto de medición del sensor por unidad de temperatura y área, como sigue:

$$U_s = j / T_{ai} - T_{ae}$$

Us: Transmitancia térmica del elemento en el área que cubre el sensor, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

T_{ai}: Temperatura del aire del ambiente interior, $^\circ C$

T_{ae}: Temperatura del aire del ambiente exterior, $^\circ C$

La Transmitancia Térmica U ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) o la Resistencia Térmica R ($m^2 \text{ } ^\circ C / W$) de elementos heterogéneos precisa la determinación de la transmitancia térmica a través de cada una de sus heterogeneidades y de la magnitud del área en que influyen. Se obtiene finalmente con dicha información una transmitancia térmica ponderada representativa del elemento sujeto de estudio.

6.1.1.2 Ensayo simplificado de Transmitancia Térmica

Se utiliza la técnica de monitoreo *in situ* de temperaturas en elementos de la envolvente de edificios bajo condiciones de uso. La técnica consiste en detectar las diferencias de temperatura del aire interior y la superficie del muro, y las diferencias entre las temperatura del aire interior y exterior. El sistema de medición considera sensores de temperatura y almacenadores de datos.

Métodos y Equipos

La técnica consiste en la instalación de tres termocuplas en la superficie interior del elemento a medir, obteniendo de este modo, un promedio. Además, se registra la temperatura del aire interior y exterior del recinto o edificio ensayado.

Finalmente, el valor de U se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$t_w = t_i - 0,12 U (t_i - t_e)$$

Dónde:

T_w : Temperatura superficial interior, $^\circ C$

T_i : Temperatura del aire interior, $^\circ C$

T_e : Temperatura del aire exterior, $^\circ C$

0,12: Factor de Resistencia del aire. Se utiliza 0,12 para elementos verticales y 0,17 para elementos horizontales superiores.

U : Valor de transmitancia térmica, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

Figura 90: Ensayo de transmitancia térmica.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 91: Ensayo de transmitancia térmica.



Fuente: Elaboración propia.

La Transmitancia Térmica U ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) de elementos heterogéneos precisa la determinación de la transmitancia térmica a través de cada una de sus heterogeneidades y de la magnitud del área en que influyen. Se obtiene finalmente

con dicha información una transmitancia térmica ponderada representativa del elemento sujeto de estudio.

Ejemplo de resultados de termoflujometría

Se realiza evaluación de transmitancia térmica in situ a elemento de muro, piso y cielo del recinto identificado como Dormitorio 2. Resultados en tablas que se muestran a continuación.

Condiciones de ensayo

Número de sensores de flujo: 3
 Tiempo y fecha de inicio: 24.10.2011
 Tiempo y fecha de término: 26.10.2011
 Frecuencia toma de datos : 5 minuto
 Tiempo de integración de datos: 1hrs.
 Temperatura media ambiental interior: 22,3°C
 Temperatura media ambiental exterior: 7,1°C
 Régimen de funcionamiento recinto: Calefaccionado mediante estufa eléctrica.

Tabla 95: Ejemplo de Valor de Transmitancia Térmica Elemento de muro perimetral.

Fecha	Hora	Lectura Sensor Voltaje mv	Constante Sensor mv/W/m2	Temperatura			U W/m2°C
				Interior °C	Exterior °C	ΔT	
24.10.2011	20:37:34	1,102	60,6	22,2	7,0	15,2	1,20
24.10.2011	20:42:34	1,149	60,6	22,2	7,1	15,0	1,26
24.10.2011	20:47:34	1,161	60,6	22,4	7,0	15,3	1,25
24.10.2011	20:52:34	1,128	60,6	22,3	7,1	15,2	1,23
24.10.2011	20:57:34	1,173	60,6	22,4	7,1	15,3	1,27
24.10.2011	21:02:34	1,135	60,6	22,3	7,1	15,2	1,23
24.10.2011	21:07:34	1,159	60,6	22,3	7,1	15,2	1,26
24.10.2011	21:12:34	1,096	60,6	22,3	7,1	15,2	1,19
24.10.2011	21:17:34	1,138	60,6	22,3	7,3	15,0	1,25
24.10.2011	21:22:34	1,119	60,6	22,2	7,2	15,0	1,23
24.10.2011	21:27:34	1,128	60,6	22,3	7,0	15,3	1,22
24.10.2011	21:32:34	1,137	60,6	22,2	7,0	15,2	1,23
24.10.2011	21:37:34	1,142	60,6	22,2	7,1	15,1	1,25
24.10.2011	21:42:34	1,124	60,6	22,4	7,1	15,3	1,22
Promedio							1,23

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de resultado de Transmitancia Térmica Simplificado

Se realiza evaluación de transmitancia térmica in situ a elemento de muro. Los resultados se presentan en tabla que se muestran a continuación.

Condiciones de ensayo.

Frecuencia toma de datos : 10 segundos
 Tiempo de integración de datos: 16 minutos
 Temperatura media ambiental interior: 12,9 °C
 Temperatura media ambiental exterior: 6,1 °C
 Régimen de funcionamiento recinto: Calefaccionado mediante estufa a gas.

Tabla 96: Ejemplo de Valor de Transmitancia Térmica Elemento de muro perimetral.

01 Log 1	Fecha	Hora	W/m²K	[°C] Tw	[°C] Ti	[°C] Te
1	03/07/2013	12:57:23	0,8	16,2	13,3	6,1
2	03/07/2013	12:57:33	0,86	16,2	13,3	6,3
3	03/07/2013	12:57:43	0,88	16,2	13,2	6,2
4	03/07/2013	12:57:53	0,8	16,2	13,2	6
5	03/07/2013	12:58:03	0,89	16,2	13,2	6
6	03/07/2013	12:58:13	0,81	16,1	13,2	6
7	03/07/2013	12:58:23	0,84	16,1	13,1	6
8	03/07/2013	12:58:33	0,88	16	13,1	5,8
9	03/07/2013	12:58:43	0,82	16	13	5,8
10	03/07/2013	12:58:53	0,88	16	13	5,9
11	03/07/2013	12:59:03	0,87	15,9	13	5,9
12	03/07/2013	12:59:13	0,85	15,9	13	6
13	03/07/2013	12:59:23	0,82	15,9	12,9	5,9
14	03/07/2013	12:59:33	0,88	15,9	12,9	5,9
15	03/07/2013	12:59:43	0,84	15,9	12,9	6
16	03/07/2013	12:59:53	0,8	15,8	12,8	6,1
17	03/07/2013	13:00:03	0,81	15,8	12,8	6,2
18	03/07/2013	13:00:13	0,84	15,8	12,8	5,9
19	03/07/2013	13:00:23	0,88	15,8	12,8	5,8
20	03/07/2013	13:00:33	0,85	15,8	12,7	5,8
21	03/07/2013	13:00:43	0,82	15,8	12,7	5,9
22	03/07/2013	13:00:53	0,85	15,8	12,7	6
23	03/07/2013	13:01:03	0,82	15,8	12,7	6
24	03/07/2013	13:01:13	0,84	15,9	12,7	6
25	03/07/2013	13:01:23	0,81	15,9	12,7	5,9
26	03/07/2013	13:01:33	0,8	15,9	12,7	5,9
27	03/07/2013	13:01:43	0,85	16	12,7	5,8
28	03/07/2013	13:01:53	0,84	16	12,7	5,8
29	03/07/2013	13:02:03	0,82	16	12,7	5,9
30	03/07/2013	13:02:13	0,81	16	12,7	5,9

Fuente: Elaboración propia.

6.1.2 Presurización (Infiltraciones mediante Blower Door)

Objetivo del Ensayo

Establecer experimentalmente los coeficientes de infiltración n_{50} y n_4 del edificio sujeto de estudio, es decir, los cambios de aire hora que se producen a diferenciales de presión de 50 Pa y 4 Pa.

Métodos y Equipos

Se utiliza la técnica de presurización, de la forma que describe la UNE-EN 13.829. El método consiste en generar una diferencia de presión constante entre el interior y el exterior del edificio mediante un aparato de medición normalizado denominado *Blower Door*. Éste consta de un ventilador mecánico con un diafragma de reducción de flujo, medidores de caudal, presión diferencial y temperatura del aire; dispositivos de control y un software de procesamiento de datos.

El ventilador está dispuesto en un bastidor puerta, el cual reemplaza una de las puertas del recinto al momento de hacer las pruebas.

Figura 92: Ensayo Blower Door.



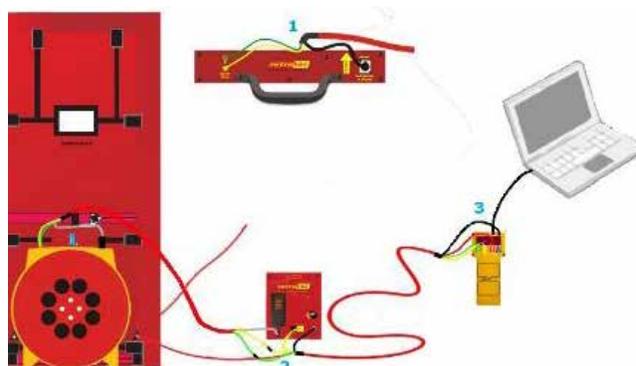
Fuente: Elaboración propia.

La norma establece dos métodos de ensayo, A y B. Para el método A se considera la vivienda en uso, y se realizan las mediciones en condiciones normales. El método B, e cambio, se utiliza para medir el edificio en condiciones alteradas, específicamente, considera el sellado todo tipo de ventilación existente en el edificio, previo a la realización del ensayo.

Para este caso, se considera una medición en condiciones normales de uso, por lo que se aplica el Método A mediante la modalidad de Presurización y Despresurización. Esto implica agregar aire al edificio por medio del ventilador, en el primer caso, y quitar el aire del edificio en el segundo.

El esquema experimental utilizado para realizar el ensayo se muestra en la siguiente figura:

Figura 93: Esquema experimental



Fuente: Recuperado de <http://www.retrotec.com/>

1: Ventilador Mecánico Recinto a evaluar.

2: Fuente de poder

3: Dispositivo de comunicación; medidor caudal y diferencia de presión - Computador adquirente con software de procesamiento de datos.

Ejemplo de resultados

Condiciones de ensayo

Temperatura interior: 12,3 °C

Temperatura exterior: 6 °C

Superficie de planta: 50,0 m²

Superficie de envoltura: 167,0 m²

Volumen recinto: 86,5 m³

Los coeficientes obtenidos para el ensayo se muestran en el siguiente cuadro:

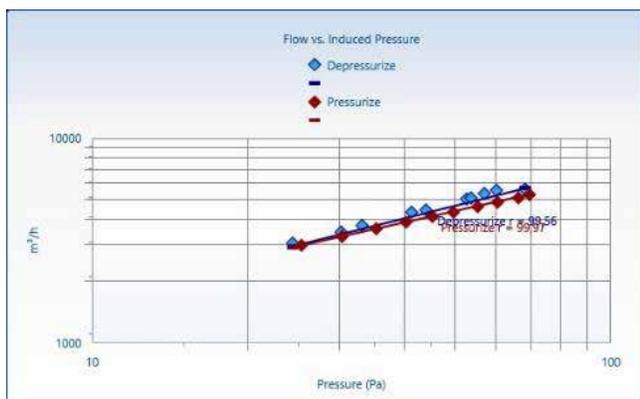
Tabla 97: Ejemplo de Resultado ensayo.

Coeficiente	Designación	Unidad	Valor
Volumen de infiltración a 50 Pa	V50	m3/h	4.595
Renovaciones de Aire Hora a 50 Pa	n50	1/h	40,3
Volumen de infiltración a 4 Pa	V4	m3/h	1.009
Renovaciones de Aire Hora a 4 Pa	n4	1/h	8,9
Área de Infiltración equivalente a 4 Pa	Ai	cm2	1.086

Fuente: Elaboración propia.

En el siguiente gráfico se muestra la curva de volumen de infiltración versus diferencial de presión.

Figura 94: Curva volumen de infiltración versus diferencial de Presión.



Fuente: Elaboración propia.

La envolvente posee una muy baja capacidad para oponerse a las infiltraciones indeseadas de aire, equivalente a **40,3** renovaciones de aire hora a 50 Pascales.

6.1.3. Termografía infrarroja

Objetivo del ensayo

Obtener imágenes térmicas de la envolvente de la vivienda sujeto de estudio, para su aplicación a la inspección, análisis y evaluación de su comportamiento energético.

Métodos y Equipos

Se aplica la técnica de termografía infrarroja de la forma que describe la Norma ASTM C1060-90. El método se basa en la detección y transformación en imágenes térmicas de la radiación infrarroja que emiten todos los cuerpos, producto de la condición térmica a la que se encuentran. Se trata de un ensayo cualitativo, por lo cual no se entregan valores límite con los cuales tomar decisiones, sino más bien entrega imágenes que deben ser interpretadas por quien realice el procedimiento.

En términos de demanda energética, una inspección diagnóstica de edificios con una cámara termográfica puede ayudar a:

- Visualizar las pérdidas de energía
- Detectar una falta de aislamiento o un aislamiento defectuoso
- Localizar fugas de aire
- Encontrar humedad en el aislamiento, en los techados y muros, tanto en la estructura interior como en la exterior
- Detectar moho y áreas mal aisladas
- Localizar puentes térmicos
- Detectar roturas en tuberías de agua caliente
- Detectar fallos de construcción
- Encontrar averías en el tendido eléctrico y en la calefacción central
- Detectar fallos eléctricos

Se utiliza una cámara termográfica con sensores infrarrojos bidimensionales para medir la radiación emitida por la envolvente del edificio como función de su temperatura, características superficiales, color y tipo de material constituyente. Un sistema de procesamiento, almacenamiento y despliegue genera patrones de temperatura superficial e imágenes térmicas en función de dichos patrones. Información aplicable a la inspección y análisis del desempeño higrotérmico del elemento o estructura sujeto de observación del edificio.

Figura 95: Cámara termográfica



Fuente: Recuperado de <http://techlosify.com/>

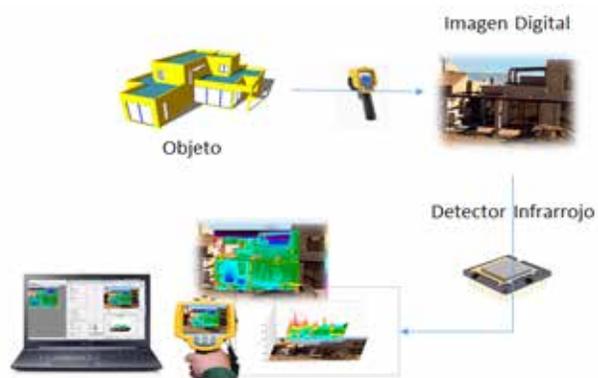
En el Cuadro y esquema siguiente se describe las características técnicas de una cámara termográfica típica y su esquema de funcionamiento.

Tabla 98: Características técnicas Cámara Termográfica.

Equipo	Marca	Modelo	Características
Cámara Termográfica	Fluke	Ti29	Rango de Medición: 60 °C a 600 °C. Precisión: ± 2 °C ó 2 % Sensibilidad Térmica: ≤ 0,1 °C a 30 °C Banda espectral infrarrojo: 7,5 μm a 14 μm

Fuente: Elaboración propia.

Figura 96: Esquema básico de funcionamiento.



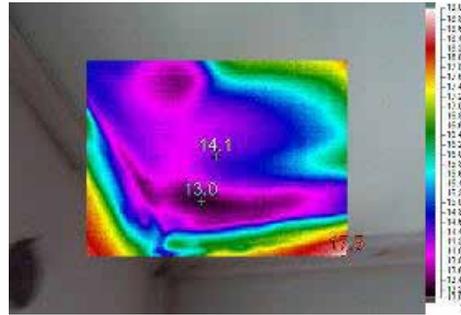
Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a las condiciones de ensayo, se monitorean los siguientes factores:

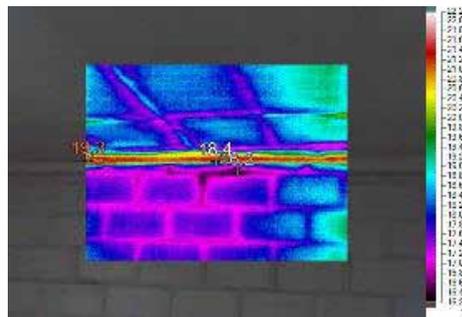
- Temperatura de recinto: Correspondiente a la temperatura promedio del aire del edificio evaluado.
- Temperatura de fondo: Corresponde a la temperatura media de la superficie capturada con la cámara termográfica.

Ejemplo de resultado

Para los propósitos de la inspección, se recogen imágenes termográficas de los elementos de la envolvente de recintos representativos del edificio



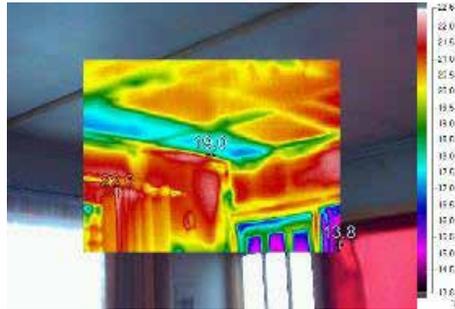
N° Id.: 001 Cielo
 Temperatura Recinto: 19°C-6,1°C
 Temperatura de fondo: 13 °C
 Observaciones: Se observan ausencia de aislación en el cielo, generando un puente térmico importante.



N° Id.: 002 Cielo - Medianero
 Temperatura Recinto: 19°C-6,1°C
 Temperatura de fondo: 16,2°C
 Observaciones: Se presentan fugas de aire importantes en el encuentro muro cielo.



N° Id.: 003 Muro Exterior-Cielo
 Temperatura Recinto: 19°C-6,1°C
 Temperatura de fondo: 8,3 °C
 Observaciones: **Ídem** al anterior, sumado a ausencia menor de aislación en la esquina del recinto.

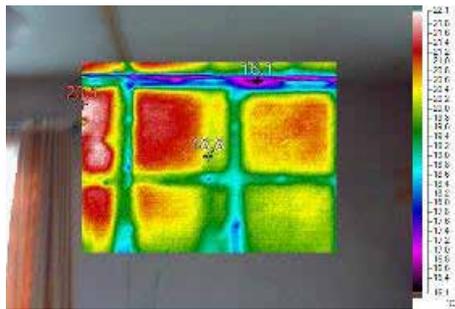


N° Id.: 004 Cielo

Temperatura Recinto: 19 °C - 6,1 °C

Temperatura de fondo: 13 °C

Observaciones: Se observan ausencia de aislación en el cielo, generando un puente térmico importante.



N° Id.: 005 Muro Exterior

Temperatura Recinto: 19°C-6,1°C

Temperatura de fondo: 18 °C

Observaciones: Se presentan fugas de aire de relevancia menor en el encuentro muro cielo.

Comentario General

Se presentan imágenes termográficas de los puentes térmicos más sensibles de la envolvente, se puede observar una clara evidencia de la ejecución entre la unión de los elementos de muro y cielo, donde se presencia fugas de calor, situación que se da tanto en la zona de living-comedor como en el dormitorio 1. Además, se puede apreciar pequeñas ausencias de aislación tanto en el cielo del living comedor como en el dormitorio 1.

**INSPECCIÓN TÉCNICA DE OBRA
BAJO CRITERIOS DE EFICIENCIA
ENERGÉTICA.**



CAPÍTULO

07



Al término del módulo el alumno será capaz de:

Orientar la inspección técnica hacia la eficiencia energética mediante técnicas concretas de inspección y medición.

Unidad 7.1: Identificación de puntos críticos a evaluar con base en criterios de eficiencia energética

El presente capítulo entrega los antecedentes necesarios para la elaboración de un sistema de inspección técnica de obra enfocado en asegurar el confort térmico de una edificación. Se busca enfatizar en el control específico de ciertas partidas, objetando aquellos puntos débiles en el diseño y los errores en la ejecución, y buscando la mayor eficiencia energética con el menor impacto posible respecto de aumentos de obra u obras extraordinarias.

Para esto, la unidad identifica los puntos críticos a evaluar en una edificación, por ejemplo, lugares donde se suceden con mayor frecuencia problemas de pérdidas de calor involuntarias tanto por conducción como por convección y las soluciones aplicables para cumplir con un estándar deseado. Asimismo, se identifican los aspectos críticos en el ámbito de instalaciones del edificio y las soluciones aplicables. De esta manera, el Gestor será capaz de detectar dentro de la etapa de revisión ciertos aspectos necesarios a considerar para lograr una edificación eficiente.

Este fundamento será la información base para generar "Instructivos de Trabajo" que enumeran la adecuada ejecución de aquellas partidas relacionadas con la Eficiencia Energética y, con dicho fin elaborar también los "Protocolos de Revisión" para cada una de estas. De esta manera el Gestor será capaz de detectar y solucionar los errores que se puedan suceder durante la ejecución, garantizando con simples controles el óptimo funcionamiento energético de una edificación durante su vida útil.

Lo anterior está enfocado a que el alumno comprenda la importancia de este tema y desarrolle las habilidades necesarias para contribuir a mejorar el desempeño energético de una edificación, siendo este un valor agregado a su formación profesional

7.1.1. Conceptos

- a) *Acondicionamiento térmico*: Funciones básicas que tienen por objeto dar lugar a una atmósfera saludable y confortable al interior del edificio, sin ruidos molestos y con el mínimo consumo energético posible.
- b) *Aislación térmica*: Capacidad de oposición al paso de calor de un material o conjunto de materiales, y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior.
- c) *Albañilería armada*: Albañilería que lleva incorporados refuerzos de barras de acero en los huecos verticales y en las juntas o huecos horizontales de las unidades.
- d) *Albañilería confinada*: Albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado, las cuales enmarcan completamente el sistema de ladrillos o bloques.
- e) *Aumento de obras*: Modificación de las cantidades de obras previstas en el proyecto aprobado y contratado.
- f) *Autoridad*: Persona que es designada por el mandante para resolver sobre cada materia.
- g) *Barrera de aire*: Combinación de materiales que en conjunto sellan los componentes de la envolvente del edificio, con el objeto de conseguir su impermeabilidad. Se utilizan con este fin imprimaciones líquidas, imprimaciones elastoméricas, membranas autoadhesivas, entre otras soluciones.
- h) *Barrera de humedad*: Lámina o capa que tiene la propiedad de impedir el paso de agua a través del mismo. Generalmente se utilizan con estos fines soluciones de polietileno y asfalto, impermeabilizantes y pinturas especiales, espumas de poliuretano, entre otras materialidades.
- i) *Barrera de vapor*: Lámina o capa que presenta una resistencia a la difusión del vapor de agua comprendida entre 10 y 230MN s/g. Útiles para evitar condensaciones intersticiales. Se utilizan comúnmente láminas de polietileno, láminas bituminosas, pinturas especiales, papel de aluminio, vidrio, entre otras materialidades.
- j) *Calidad*: Conjunto de propiedades y características de un producto o servicio, que le confieren la aptitud para satisfacer necesidades expresas o implícitas.

- k) *Calificación energética*: Instrumento que califica la eficiencia energética de un inmueble a través de su valoración dentro de una escala de medición de 7 clases, de la A a la G, donde esta última es la menos eficiente. Esta metodología se aplicó inicialmente al etiquetado energético de electrodomésticos, pero actualmente se ha ampliado a la calificación energética de viviendas, evaluando sus requerimientos de calefacción, iluminación y agua caliente.
- l) *Caudal de ventilación*: Flujo volumétrico de aire que pasa por una superficie determinada en una unidad de tiempo, con el objeto de renovar el aire al interior de la edificación. Este dato permite estudiar el funcionamiento de un sistema de ventilación.
- m) *Coeficiente de operación (COP)*: Coeficiente que señala la eficiencia con la que está operando un sistema. Es útil como indicador de desempeño.
- n) *Complejo de techumbre*: Conjunto de elementos constructivos que conforman una techumbre, tales como: cielo, cubierta, aislante térmico, cadenas y vigas.
- o) *Complejo de muro*: Conjunto de elementos constructivos que conforman el muro y cuyo plano de terminación interior tiene una inclinación de más de 60° sexagesimales, medidos desde la horizontal.
- p) *Complejo de piso ventilado*: Conjunto de elementos constructivos que conforman el piso que no están en contacto directo con el terreno.
- q) *Complejo de ventana*: Conjunto de elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente de la vivienda.
- r) *Concentración CO₂*: Cantidad de dióxido de carbono que hay en gas, por ejemplo, en el aire. Se mide en partes por millón (ppm) y determina la calidad del aire al interior de un recinto.
- s) *Conductividad térmica*: Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en W/mK. Se determina experimentalmente según la norma NCh 850 o NCh 851.
- t) *Contratista*: Persona natural o jurídica que, en virtud del contrato respectivo, contrae la obligación de ejecutar una obra material
- u) *Contrato*: Convenio, cuyo valor legal se adquiere mediante protocolización ante notario por parte del ejecutor de la obra y a través del cual el contratista se obliga a ejecutar una obra o a prestar un servicio, bajo ciertas condiciones preestablecidas y a un cierto precio
- v) *Control de calidad*: Técnicas y actividades operacionales destinadas a mantener bajo control un proceso y eliminar las causas que generan comportamientos insatisfactorios en etapas importantes del ciclo de la calidad para conseguir mejores resultados económicos.
- w) *Eficiencia lumínica (Lm/W)*: Relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz y la potencia eléctrica consumida por la misma. Su valor indica la eficiencia con que la energía eléctrica consumida por la fuente se convierte en luz.
- x) *Energy efficiency ratio (EER)*: Relación de eficiencia utilizada para medir el comportamiento energético de un sistema. Es útil como indicador de desempeño.
- y) *Envolvente térmica de un edificio*: Serie de elementos constructivos a través de los cuales se produce el flujo térmico entre el ambiente interior y el ambiente exterior del edificio. Está constituida básicamente por los complejos de techumbre, muros, pisos y ventanas.
- z) *Especificaciones técnicas*: Conjunto de características que deberán cumplir las obras, motivo del contrato, incluyendo normas sobre procedimientos de elaboración, exigencias a que quedan sometidos los materiales y pruebas de control que deben superar las diferentes etapas de fabricación.
- aa) *Factor solar*: Relación entre la energía solar que atraviesa una superficie transparente y la energía solar que incide en esa misma superficie.
- bb) *Filtraje del aire*: Procedimiento a través del cual se eliminan partículas sólidas del aire, tales como polvo, polen y bacterias. La eficacia del proceso incide directamente en la calidad del aire al interior de los recintos. Los filtros de aire pueden ser de papel, espumas, fibras sintéticas y algodón.
- cc) *Grados/día*: En un período de un día, es la diferencia



entre la temperatura fijada como “base”, y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura de base, igualando a la “base” aquellas superiores a ésta. Dependiendo del período de tiempo utilizado, se puede hablar de grados/día, grados/hora, grados/año, etc.

- dd) *Hermeticidad*: Cantidad de aire que pasa a través de una ventana o puerta cerrada por causa de la presión. Se mide en metros cúbicos por hora.
- ee) *Iluminancia (LUX)*: Cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie determinada por unidad de área. Es una variable determinante del confort y rendimiento visual de sus receptores.
- ff) *Infiltraciones*: Penetración del aire al interior de un recinto por medio de rendijas u otra aberturas que permitan su paso.
- gg) *Inspección*: Acción de medir, examinar, ensayar, comparar con calibres una o más características de un producto o servicio y comparación con los requisitos especificados para establecer su conformidad.
- hh) *Inspección técnica de la obra (I. T. O.)*: La o las personas que nombradas en forma competente, asumen el derecho y la obligación de fiscalizar el cumplimiento de un contrato de construcción.
- ii) *Modificación de obras*: Reemplazo de parte de las obras contenidas en el proyecto original presentado por el mandante, por obras extraordinarias.
- jj) *Obras extraordinarias*: Obras que se incorporen o se agreguen al proyecto original, pero cuyas características sean diferentes a las especificadas o contenidas en los antecedentes que sirven de base al contrato.
- kk) *Paramento*: Cada una de las dos caras de una pared.
- ll) *Partidas*: Cada uno de los ítems o sub ítem considerados en las especificaciones técnicas o en el presupuesto.
- mm) *Pérdidas por renovaciones de aire*: Pérdida de calor de un espacio interior que se produce por efecto de la renovación de aire.
- nn) *Permeabilidad*: Capacidad de un material de permitir que un flujo pase a través de él, sin alterar su estructura interna.
- oo) *Planos de detalles*: Diseños a escala adecuada para realizar la construcción de piezas o partes del proyecto contenido en los planos generales.
- pp) *Planos generales*: Diseños que indicando ubicación, formas y medidas, permitan un juicio completo de las obras por realizar, y a una escala conveniente para su correcta interpretación.
- qq) *Potencia instalada (kW)*: Suma de las potencias nominales de todos los dispositivos eléctricos que forman parte de una instalación.
- rr) *Presupuesto detallado*: Presupuesto efectuado por el oferente sobre la base de las especificaciones, cubriciones y precios unitarios previstos por él para su propio proyecto.
- ss) *Programa de trabajo*: Ordenación cronológica, dentro del plazo del contrato, del desarrollo de las diversas etapas o partidas de la obra, sea que ellas deban ser ejecutadas en forma simultánea o sucesiva.
- tt) *Puente térmico*: Parte de un cerramiento con resistencia térmica inferior al resto del mismo, lo que aumenta la posibilidad de producción de condensaciones y pérdidas de calor en esa zona en invierno.
- uu) *R 100*: Según la norma NCh 2251 es la resistencia térmica que presenta un material o elemento de construcción, multiplicado por 100.
- vv) *Resistencia térmica, R*: Oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción. Se pueden distinguir los siguientes casos:
- ww) *Sensor CO2*: Dispositivo que mide la concentración de dióxido de carbono en gases, por ejemplo, en el aire.
- xx) *Supervisión de Calidad*: Control y verificación permanente del estado de los procedimientos, métodos, condiciones, procesos, productos o servicios y análisis de registros por comparación con referencias establecidas para asegurar que se cumplan los requisitos de calidad especificados.
- yy) *Temperatura base*: Temperatura que se fija como parámetro para el cálculo de confort o requerimientos de calefacción.
- zz) *Termostato*: Elemento de un sistema de control que abre o cierra un circuito eléctrico en función de su temperatura. Permiten regular la temperatura

ambiente en sistemas de climatización, aunque su aplicación no se limita sólo a este tipo de sistemas.

aaa) *Transmitancia térmica, U*: Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Corresponde al inverso de la resistencia térmica total R_T de un elemento y se expresa en W/m^2K . Se determina experimentalmente según la norma NCh 851 o bien por cálculo como se señala en la norma NCh 853.

7.1.2. Puntos Críticos a Inspeccionar.

7.1.2.1. Ventanas

Debido a su alta transmitancia térmica las ventanas son un punto crítico que debe ser controlado para minimizar el flujo de calor a través de ellas. Dependiendo si son ventanas con vidrio monolítico o con doble marco vidriado, el diseño arquitectónico estará directamente limitado al área máxima de ventanas en el primer caso y compatible con diversas soluciones arquitectónicas de grandes luces en el segundo, ya que estas poseen mejores soluciones para evitar pérdidas de calor debido a una mayor resistencia térmica. Con el fin de lograr la mínima transmitancia térmica entre el interior y el exterior de la vivienda, se deben verificar al menos los siguientes puntos críticos en los elementos de ventanas:

- a) Verificación de superficie de ventanas acorde a reglamentación térmica y proyecto.

Se debe calcular la superficie máxima de ventanas admisible acorde a la zonificación térmica y el tipo de ventanas utilizada, ya sea con vidrios monolíticos, con doble marco vidriado o con ambos, en tal caso, se deberá realizar un cálculo ponderado de la transmitancia térmica, según lo dispuesto en el artículo 4.1.10 de la Reglamentación Térmica.

- b) Normalización de rasgos de ventanas.

La instalación se debe realizar sobre un rasgo bien dimensionado y regular, para que la ventana se ajuste de la mejor forma a este y así evitar que luego de sellar el perímetro del marco aún existan puntos de filtración de aire desde el interior al exterior de la vivienda o viceversa. Este problema incide directamente en que posterior a la instalación de las ventanas, éstas

presenten un mal funcionamiento y principalmente, en que se generen puntos de pérdida de estanqueidad graves, ya que el sello cubre como máximo 5mm de separación. Por lo cual, diferencias mayores en los rasgos generarán sectores que no se podrán sellar, con las consecuencias térmicas y estéticas que esto conlleva.

Es recomendable optar por el uso de ventanas armadas previamente en fábrica en lugar de aquellas armadas in situ, de manera de reducir el riesgo de imperfecciones.

Figura 97: Rasgo mal dimensionado.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 98: Rasgo reparado.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 99: Separación entre marco y asentamiento de ventanal corredera.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 100: Asentamiento dañado con separaciones respecto al marco, mayores a la tolerancia.



Fuente: Elaboración Propia.

c) Deficiente aplicación de sello perimetral en encuentro marco/muro soportante.

Una deficiente aplicación del sello perimetral, generará puntos de transmisión para corrientes de aire o renovaciones de aire involuntarias, las cuales provocarán que la temperatura base de confort en el interior no se logre o que el gasto en energía para conseguirla sea mayor al óptimo.

Figura 101: Sello discontinuo en marco de ventana.



Fuente: Elaboración Propia.

d) Deficiente instalación de burlete perimetral en encuentro vidrio/hoja, para mantener estanco el recinto

Tal como el caso anterior, la omisión o deficiente instalación del burlete ó sello perimetral al vidrio, generará mayores gastos en energía para lograr la temperatura base, debido a la pérdida de calor que se produce.

Figura 102: Burlete mal instalado entre hoja y vidrio.

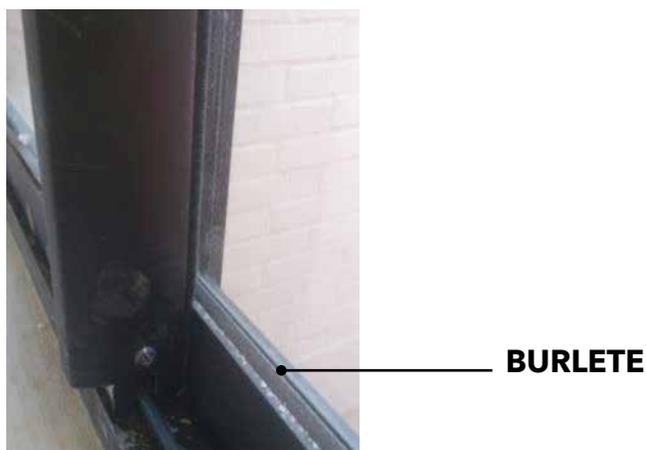


Fuente: Elaboración Propia.

- e) Aplicación de goma o burlete en encuentro de partes móviles y fijas.

Se estima que un 25% de las pérdidas de calor de una vivienda de un piso se producen a través de las rendijas de puertas y ventanas, por ello es fundamental para generar un recinto estanco y evitar tales pérdidas sellar el encuentro marco/hoja con un burlete.

Figura 103: Burlete entre hoja y vidrio.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 104: Burlete entre marco y hoja.



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2.2. Puertas

Las puertas son un punto crítico importante debido a que la reglamentación térmica no establece requerimientos especiales y por lo mismo, no existe un mercado especializado que se dedique a ofrecer este producto con las características térmicas o de estanqueidad mejoradas. Es necesario tomar en consideración ciertos aspectos para controlar el ingreso o pérdida de calor por estas, para lo cual se deben verificar al menos los siguientes puntos críticos:

- a) Normalización de rasgos de puertas

La instalación se debe realizar sobre un rasgo recto de manera que el marco de la puerta se ajuste de la mejor forma a este y evitar que se generen puntos de transmisión entre el interior y exterior. Si este elemento no se instala sobre un rasgo bien logrado es probable que luego presente un mal funcionamiento, como fisuras recurrentes en la junta y que se generen puntos de pérdida de estanqueidad graves, ya que el sello no cubrirá la separación o perderá adherencia con el tiempo por el excesivo espesor de aplicación generando a corto plazo un puente térmico.

Figura 105: Rasgo descuadrado.



Fuente: Elaboración Propia.

- b) Sello perimetral en encuentro marco puerta/muro soportante.

Una deficiente aplicación del sello perimetral generará puntos de transmisión para corrientes de aire o renovaciones de aire involuntarias, las cuales provocarán que la temperatura de confort en el interior no se logre ó que el gasto en energía para conseguirla, sea superior al óptimo.

Figura 106: Separación discontinua entre marco y rasgo.



Fuente: Elaboración Propia.

c) Burlete listón adicional en separaciones superiores a 5mm en encuentro puerta/piso.

La separación entre puerta y piso debe ser máximo 5mm para mantener estanco el recinto. Separaciones mayores a lo indicado generarán un punto de renovación de aire involuntario, las cuales perjudicarán la temperatura de confort del interior de la vivienda y su gasto energético en calefacción y/o refrigeración. Una forma de minimizar el flujo de calor en este punto será instalar un burlete listón, el cual incorpora un cepillo basculante de nylon ó espuma que cubre separaciones de hasta 20mm del umbral bajo puertas.

Figura 107 Asentamiento de puerta de cocina sin ejecutar.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 108: Asentamiento de puerta de cocina ejecutado correctamente.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 109: Burlete con cepillo, instalado para minimizar el ingreso de aire al interior.



Fuente: Elaboración Propia.

d) Aplicación de goma o burlete en encuentro partes móviles y fijas

La separación entre el marco de la puerta y la hoja debe ser mínima. Se pueden incorporar aislantes que impidan el ingreso de aire por la parte superior y laterales de la hoja, como cordones de espuma autoadhesivos con perfil D o E, que sellan estos espacios y anulan la circulación de aire a través de ellos.

Figura 110: Burlete adhesivo perfil E, para sellar el contorno de la puerta.



Fuente: Elaboración Propia.

e) Verificar dimensionamiento de celosías en puertas

Se debe verificar que las celosías ubicadas en las puertas estén diseñadas y/o ejecutadas para dar cumplimiento a las normativas correspondientes. Se debe verificar que estas no estén sobredimensionadas (área) para evitar pérdidas de calor excesivas. En algunos casos, por ejemplo, se pueden reemplazar las ventilaciones superiores que exige la norma de gas interior por la campana que se dispone en las cocinas, pues esta cumple tal función.

Figura 111: Ventilación inferior en puerta de cocina.



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2.3. Pisos y losas ventiladas

Son aquellos elementos constructivos que no están en contacto directo con el terreno, donde una porción de su cara inferior está a la intemperie y la superior contiene un recinto habitable.

a) Aislación mal ejecutada o con espesor inadecuado.

Generalmente el problema de estos elementos es que no se considera en la etapa de diseño la incorporación de aislación térmica por su cara inferior ó durante la etapa constructiva se omite o el espesor no es el adecuado.

En el “Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica” del Ministerio de Vivienda y Urbanismo se especifican soluciones constructivas de aislación para complejos de techumbre, muros, y pisos ventilados. En este se señalan espesores referenciales de aislante para soluciones constructivas específicas.

b) Interrupciones de aislación térmica por instalaciones

También ocurre durante la etapa de construcción que la aislación térmica se interrumpe por instalaciones y luego se repara con productos que aumentan la transmitancia térmica en ese punto, restándole eficiencia a la solución.

Es por ello que se debe ser cuidadoso al momento de sellar discontinuidades por paso de tuberías, se recomienda el uso de productos laminados. Los parches o las botas de EPDM o de goma pueden ser eficaces en este sentido, así como las cintas impermeables autoadhesivas.

c) Discontinuidad en bordes

En otras ocasiones, el remate de sus bordes es discontinuo, por lo que no se genera una cámara estanca, reduciendo el efecto deseado.

Figura 112: Estuco perimetral discontinuo en losa ventilada.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 113: Estuco perimetral discontinuo en losa ventilada.



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2.4. Aislación de envoltente e Impermeabilización de fachada

Una buena aislación del edificio de agentes externos es una solución que amortiza el consumo energético dado por sistemas activos de acondicionamiento, produciendo ahorros de energía durante todo el año y manteniendo las condiciones de confort al interior de los recintos.

Al ser una partida determinante del consumo energético del edificio, es que se debe tener cuidado en su correcta ejecución y control. Al respecto se debe considerar:

- a) Verificar correcta colocación y continuidad del material aislante

Se debe verificar que el material aislante sea el adecuado y cumpla con la normativa vigente. El almacenamiento de este debe ser bajo condiciones que no afecten su integridad y propiedades aislantes. Su ejecución debe seguir los procedimientos establecidos, cuidando que cubra toda la superficie y no dé lugar a puentes térmicos.

Figura 114: Almacenamiento de aislante en bodega.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 115: Aislante colocado de forma discontinua.



Fuente: Elaboración Propia.

Algunas soluciones para puentes térmicos en el plano de fachada son: normalizar los distanciamientos de estructura, utilizar aislantes pre-cortados, utilizar tabiques con doble estructura, entre otras.

Además se debe cuidar la continuidad del aislante en zonas donde pasan conductos de instalaciones, para ello se deben sellar estos espacios con material adecuado. Los parches o las botas de EPDM o de goma pueden ser eficaces en este sentido, así como las cintas impermeables autoadhesivas.

b) Verificar impermeabilización de fachada

La impermeabilización de la fachada es muy importante para evitar aumentar el consumo de calefacción, para esto se debe realizar sobre una superficie preparada y con los productos adecuados, los cuales deben impedir el paso del agua desde el exterior y a la vez, permitir el intercambio de vapor entre ambos ambientes. Con estas características se evita que el vapor se quede en el interior y también, que el aire absorba la humedad del exterior, lo cual resultaría en un aumento del gasto energético para mantener la temperatura base proyectada.

Figura 116: Lavado de fachada.



Fuente: Elaboración Propia.

Una vez impermeabilizada la fachada si se realiza una reparación en esta, se pierde la barrera, por lo que es necesario realizar una re-aplicación en ese sector para restablecer la película protectora.

Figura 117: Reparación de ladrillos fisurados.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 118: Deficiente aplicación de impermeabilizante, ascensión por capilaridad de humedad.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 119: Aislación térmica interrumpida por elementos estructurales.



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2.5. Complejo de techumbre

Una incorrecta colocación de la aislación térmica sobre el cielo de la vivienda o la omisión de las ventilaciones de la techumbre, son causas que impactan directamente sobre la temperatura base dentro del inmueble. La omisión de las ventilaciones confinará el aire creando una cámara estanca y la discontinuidad de la aislación establecerá un punto de debilidad, un puente térmico entre el interior y el entretecho, que generará un gradiente de temperatura que incide directamente en el confort de los habitantes de la vivienda, aumentando los gastos tanto en calefacción como en refrigeración, dependiendo de la época del año.

a) Aislación térmica deficiente o mal ejecutada.

La inadecuada ejecución de aislación térmica sobre el cielo, por una discontinuidad debida a elementos estructurales o instalaciones, su omisión o un espesor incorrecto, provocarán en distintos niveles un aumento en el gasto energético para lograr una temperatura de confort en el interior de la vivienda.

b) Omisión de ventilaciones en techumbre.

Del mismo modo, la omisión o un deficiente diseño de las ventilaciones de la techumbre, provocarán un gradiente de temperatura indeseado entre el interior y el entretecho, debido a que la cámara de aire estanca que se generará no tendrá el adecuado flujo de aire para poder moderar su temperatura y a la vez amortiguar el gradiente de temperatura entre el interior y exterior de la vivienda.

Adicional a ello, si no se contempla la respiración del entretecho es posible que en invierno se acumule humedad en el interior que deteriore el aislamiento térmico u otros materiales de construcción.

Por ende se debe contemplar el diseño de un sistema de ventilación adecuado, y verificar la correcta ejecución del mismo.

Figura 120: Ventilación de techumbre.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 121: Escotilla en entretecho.



Fuente: Elaboración Propia.

La no incorporación de parámetros de aislación en la puerta/escotilla hacia un desván, entretecho o cámara de aire de la techumbre, provocará que esta última sea inservible para amortiguar la temperatura interior, debido a que no existirá un sello térmico entre el recinto habitable y el entretecho.

Es por ello que se debe contemplar el aislamiento térmico de la escotilla o cualquier tipo de ventilación del entretecho, incluyendo escaleras si corresponde, con fibra de vidrio o aislamiento de espuma.

7.1.2.6. Otros puntos a inspeccionar

Si las discontinuidades en los muros producto de instalaciones, procesos constructivos o mala ejecución no son correctamente reparadas producirán un puente térmico, disminuyendo la resistencia térmica, aumentando la posibilidad de generación de condensaciones y pérdidas de calor en esa zona y por consiguiente, un aumento de gasto energético para lograr temperaturas de confort en el interior. En este sentido es importante realizar las reparaciones con el material y procedimiento adecuado.

a) Perforaciones.

Figura 122: Perforación para sujeción de moldaje para hormigón en muro.



Fuente: Elaboración Propia.

b) Nidos de piedra.

Figura 123: Nidos de piedra por segregación del hormigón.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 124: Nidos de piedra en viga invertida.



Fuente: Elaboración Propia.

Deficiente compactación de la llaga de mortero en la pega de albañilería de ladrillos.

Figura 125: Llaga de mortero mal compactada por no utilizar llaguero.



Fuente: Elaboración Propia.

Instalaciones.

Figura 126: Modificación de ubicación de cajas eléctricas.



Fuente: Elaboración Propia.

Unidad 7.2: Instructivos de trabajo

Para poder hacer una revisión preventiva durante la ejecución de las partidas relacionadas con el comportamiento térmico de la vivienda, se entregan *Instructivos de Trabajo* que buscan que los encargados de cada área estén al tanto de los procedimientos que se deben realizar y de los requisitos que se deben cumplir para que la partida apruebe y así, evitar reparaciones posteriores o más importante aún, no presenten problemas durante su vida útil. A continuación se detalla el formato de los instructivos.

Nombre de la Partida en estudio y Código correspondiente al instructivo.

Nº última Revisión del contenido del Instructivo y la fecha correspondiente.

Objetivo que busca cumplir la aplicación del Instructivo y Nombre del Proyecto u Obra donde será aplicado.

LOGO CONSTRUCTORA	INSTRUCTIVO DE TRABAJO INSTALACIÓN DE VENTANAS IT-002	Revisión ... Aprobado el: ... - ... - 20...
OBJETIVO: Describir puntos críticos de pérdida de estanqueidad, definir estándares de aceptación e identificar responsables de cada etapa del proceso.		ALCANCE: Obras Proyecto "....."

Diagrama de Flujo: el cual representa el orden correlativo o programación que deben tener las subpartidas para obtener el resultado deseado.

Diagrama de Flujos	Responsable	Requerimiento de Calidad	Requerimiento de seguridad y medioambiente
Recepción de Vanos	Trazador Encargado de Área	1. Antes de empezar el montaje del marco se deberá chequear la correcta ubicación y dimensiones del vano, se verificará: alineamiento, aplomo, altura y ancho.	Requisitos de Seguridad: 1. Verificar que los trabajadores están cumpliendo con sus EPP 2. Verificar que existan accesos expeditos y en buen estado 3. Verificar que las escalas portátiles están bien instaladas y en buen estado 4. Verificar que las plataformas de trabajo están correctamente instaladas, en buen estado y completas 5. Verificar la correcta instalación de cuerdas de vida 6. Verificar que toda el área de abajo está libre de escombros
Instalación de marco de ventana	Encargado de Área	2. Durante el montaje del marco se deberá verificar: a) Alineamiento del dintel b) Plomo de jambas c) Ancho de vano d) Alto de vano e) Ubicación de tornillos f) Cabezas de tornillos 100% penetradas g) Esquinas unidas en ángulos de 45° h) Cualquier desviación detectada deberá ser corregida antes del montaje de las hojas ó paños fijos	Requisitos de Medioambiente: 1. Verificar que existan medios que limitan la emisión de polvo 2. Verificar que existan medios que limitan la emisión de ruido 3. Verificar que los desechos han sido depositados en los basureros señalizados 4. Controlar que el personal no vacie desechos tóxicos que contaminen las napas freáticas
Montaje de hojas	Encargado de Área	3. Instalar ventanas controlando: a) Tipo, de acuerdo a planos y EETT b) Ubicación, de acuerdo a planos y EETT c) Fijación, alineamiento y penetración de tornillos 4. Fijar los paños fijos al marco controlando: a) Fijación, alineamiento y penetración de tornillos b) Aplome de la hoja y perfecto encaje en el marco	
Instalación de hojas quincallería y sellos	Encargado de Área	5. Instalar quincallería verificando tipo, orientación y funcionamiento de cierre 6. Verificar existencia y correcto funcionamiento de despiches 7. Verificar correcta instalación de burletes y del sello perimetral del marco 8. En las puertas que lleven topes se debe verificar que su ubicación sea de 15cm desde el borde de esta	
Entrega	Líite de Terreno	9. Verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores y completar el protocolo asociado.	

Requerimiento de seguridad y medioambiente: Objetivos en las áreas mencionadas que se buscan cumplir en forma paralela a los de calidad, durante la ejecución de la partida.

Responsable: aquel personaje que tiene a cargo el desarrollo y revisión de la subpartida respectiva.

Requerimiento de Calidad: son aquellos parámetros que se busca cumplir a cabalidad para lograr la calidad esperada.

OBSERVACIONES Y ANEXOS	APROBO	
	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA

Observaciones a tener en cuenta durante la aplicación de este Instructivo y, Anexos que se adjuntan a este.

Profesionales responsables de revisar el contenido de este Instructivo y dar su aprobación.

Estos instructivos son aplicables a los siguientes ítems:

1. Montaje Marcos y Puertas
2. Instalación de Ventanas
3. Pisos y Losas Ventiladas
4. Impermeabilización de Fachada
5. Complejo de Techumbre

LOGO CONSTRUCTORA	INSTRUCTIVO DE TRABAJO INSTALACIÓN MARCOS Y PUERTAS IT-001	Revisión _ Aprobado el: _ - _ - 20_
----------------------	---	---

OBJETIVO: Describir puntos críticos de pérdida de estanqueidad, definir estándares de aceptación e identificar responsables de cada etapa del proceso.	ALCANCE: Obras Proyecto " _____ "
---	--

DESCRIPCIÓN:			
Diagrama de Flujos	Responsable	Requerimiento de Calidad	Requerimiento de seguridad y medioambiente
<pre> graph TD A[Recepción de Vanos] --> B[Instalación de marco de puerta] B --> C[Montaje de bisagras y hojas] C --> D[Instalación de quincallería y hojas] D --> E[Entrega] </pre>	<p>Trazador Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Jefe de Terreno</p>	<p>1. Antes de empezar el montaje del marco se deberá chequear la correcta ubicación y dimensiones del vano, se verificará: alineamiento, aplomo, altura y ancho.</p> <p>2. Durante el montaje del marco se deberá verificar:</p> <ol style="list-style-type: none"> Alineamiento del dintel Plomo de piernas Ancho de vano Alto de vano Ubicación de tornillos Cabezas de tornillos 100% penetradas Esquinas unidas en ángulos de 45° Cualquier desviación detectada deberá ser corregida antes del montaje de la hoja <p>3. Instalar bisagras controlando:</p> <ol style="list-style-type: none"> Tipo, de acuerdo a planos y EE.TT Ubicación, de acuerdo a planos y EE.TT Fijación, alineamiento y penetración de tornillos <p>4. Fijar la hoja a las bisagras controlando:</p> <ol style="list-style-type: none"> Fijación, alineamiento y penetración de tornillos Aplome de la hoja y perfecto encaje en el marco <p>5. Una vez fija la hoja, verificar que exista una separación de 2 a 3 mm entre el borde de la hoja y el borde del marco, así como también con el piso o cubrejunta</p> <p>6. Instalar pilastras verificando que cubran un 100% de la holgura entre el vano y el marco</p> <p>7. Instalar quincallería verificando tipo, orientación y funcionamiento de cierre</p> <p>8. En puertas exteriores comprobar la aplicación de sello perimetral al 100% del marco y al contorno de los vidrios</p> <p>9. Verificar que el área de las celosías sea la especificada</p> <p>10. En las puertas que lleven topes se debe verificar que su ubicación sea de 15cm desde el borde de esta</p> <p>11. Verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores y completar el protocolo asociado.</p>	<p>Requisitos de Seguridad:</p> <ol style="list-style-type: none"> Verificar que los trabajadores están cumpliendo con sus EPP Verificar que existan accesos expeditos y en buen estado Verificar que las escalas portátiles están bien instaladas y en buen estado Verificar que las plataformas de trabajo están correctamente instaladas, en buen estado y completas Verificar la correcta instalación de cuerdas de vida Verificar que toda el área de abajo está libre de escombros <p>Requisitos de Medioambiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> Verificar que existan medios que limitan la emisión de polvo Verificar que existan medios que limitan la emisión de ruido Verificar que los desechos han sido depositados en los basureros señalizados Controlar que el personal no vacíe desechos tóxicos que contaminen las napas freáticas

OBSERVACIONES Y ANEXOS	APROBÓ	
	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA

LOGO CONSTRUCTORA	INSTRUCTIVO DE TRABAJO INSTALACIÓN DE VENTANAS IT-002	Revisión _ Aprobado el: _ - _ - 20__
----------------------	--	--

OBJETIVO: Describir puntos críticos de pérdida de estanqueidad, definir estándares de aceptación e identificar responsables de cada etapa del proceso.	ALCANCE: Obras Proyecto " _____ "
---	--

DESCRIPCIÓN:			
Diagrama de Flujos	Responsable	Requerimiento de Calidad	Requerimiento de seguridad y medioambiente
<pre> graph TD A[Recepción de Vanos] --> B[Instalación de marco de ventana] B --> C[Montaje de hojas] C --> D[Instalación de hojas, quincallería y sellos] D --> E[Entrega] </pre>	<p>Trazador Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Jefe de Terreno</p>	<p>1. Antes de empezar el montaje del marco se deberá chequear la correcta ubicación y dimensiones del vano, se verificará: alineamiento, aplomo, altura y ancho.</p> <p>2. Durante el montaje del marco se deberá verificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Alineamiento del dintel b) Plomo de jambas c) Ancho de vano d) Alto de vano e) Ubicación de tornillos f) Cabezas de tornillos 100% penetradas g) Esquinas unidas en ángulos de 45° h) Cualquier desviación detectada deberá ser corregida antes del montaje de las hojas ó paños fijos <p>3. Instalar ventanas controlando:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tipo, de acuerdo a planos y EE.TT b) Ubicación, de acuerdo a planos y EE.TT c) Fijación, alineamiento y penetración de tornillos <p>4. Fijar los paños fijos al marco controlando:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Fijación, alineamiento y penetración de tornillos b) Aplome de la hoja y perfecto encaje en el marco <p>5. Instalar quincallería verificando tipo, orientación y funcionamiento de cierre</p> <p>6. Verificar existencia y correcto funcionamiento de despiches</p> <p>7. Verificar correcta instalación de burletes y del sello perimetral del marco</p> <p>8. En las puertas que lleven topes se debe verificar que su ubicación sea de 15cm desde el borde de esta</p> <p>9. Verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores y completar el protocolo asociado.</p>	<p>Requisitos de Seguridad:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar que los trabajadores están cumpliendo con sus EPP 2. Verificar que existan accesos expeditos y en buen estado 3. Verificar que las escalas portátiles están bien instaladas y en buen estado 4. Verificar que las plataformas de trabajo están correctamente instaladas, en buen estado y completas 5. Verificar la correcta instalación de cuerdas de vida 6. Verificar que toda el área de abajo está libre de escombros <p>Requisitos de Medioambiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar que existan medios que limitan la emisión de polvo 2. Verificar que existan medios que limitan la emisión de ruido 3. Verificar que los desechos han sido depositados en los basureros señalizados 4. Controlar que el personal no vacíe desechos tóxicos que contaminen las napas freáticas

OBSERVACIONES Y ANEXOS	APROBÓ	
	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA

LOGO CONSTRUCTORA	INSTRUCTIVO DE TRABAJO PISOS Y LOSAS VENTILADAS IT-003	Revisión _ Aprobado el: _ - _ - 20_
----------------------	---	---

OBJETIVO: Describir puntos críticos de pérdida de estanqueidad, definir estándares de aceptación e identificar responsables de cada etapa del proceso.	ALCANCE: Obras Proyecto " _____ "
---	--

DESCRIPCIÓN:			
Diagrama de Flujos	Responsable	Requerimiento de Calidad	Requerimiento de seguridad y medioambiente
<pre> graph TD A[Recepción de losa/piso] --> B[Colocación de aislación] B --> C[Terminación superficial] C --> D[Terminación visual] D --> E[Entrega] </pre>	<p>Trazador Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Jefe de Terreno</p>	<p>1. Se debe trazar el área donde se colocará la revestimiento térmico, además de entregar un nivel en los muros colindantes para asegurar su planeidad durante la ejecución. Verificando que el espacio entre el piso/losa y la altura definida sea suficiente para instalar la aislación especificada, con su respectivo adhesivo y terminación superficial, para no reducir la altura del vano.</p> <p>2. Durante el montaje del poliestireno expandido se deberá verificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Alineamiento del dintel b) Altura entre el cielo y el nivel terminado de la aislación c) Espesor aislación térmica según normativa correspondiente d) Especificación del adhesivo y diagrama de ubicación e) Cualquier desviación detectada deberá ser corregida antes de la instalación de las huinchas invisibles y de la terminación superficial f) Alto de vano <p>3. Instalar huinchas invisibles controlando:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tipo, de acuerdo a planos y EE.TT b) Fijación según recomendación del fabricante c) Terminación superficial <p>4. Aplicar terminación superficial final controlando:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Tipo, de acuerdo a planos y EE.TT b) Textura e imperfecciones c) Alineamiento y alto del vano, para perfecto encaje del marco respectivo <p>5. Verificar terminación perimetral, su continuidad y cubrimiento total del espesor del revestimiento térmico</p> <p>6. Verificar correcta aplicación de la impermeabilización de fachadas sobre el revestimiento térmico y el remate lateral</p> <p>7. Aplicar terminación visual según EE.TT.</p> <p>8. Verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores y completar el protocolo asociado.</p>	<p>Requisitos de Seguridad:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar que los trabajadores están cumpliendo con sus EPP 2. Verificar que existan accesos expeditos y en buen estado 3. Verificar que las escalas portátiles están bien instaladas y en buen estado 4. Verificar que las plataformas de trabajo están correctamente instaladas, en buen estado y completas 5. Verificar la correcta instalación de cuerdas de vida 6. Verificar que toda el área de abajo está libre de escombros <p>Requisitos de Medioambiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar que existan medios que limitan la emisión de polvo 2. Verificar que existan medios que limitan la emisión de ruido 3. Verificar que los desechos han sido depositados en los basureros señalizados 4. Controlar que el personal no vacíe desechos tóxicos que contaminen las napas freáticas

OBSERVACIONES Y ANEXOS	APROBÓ	
	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA

LOGO CONSTRUCTORA	INSTRUCTIVO DE TRABAJO IMPERMEABILIZACIÓN DE FACHADA IT-004	Revisión _ Aprobado el: _ _ - _ _ - 20_ _	
OBJETIVO: Describir puntos críticos de pérdida de estanqueidad, definir estándares de aceptación e identificar responsables de cada etapa del proceso.		ALCANCE: Obras Proyecto " _____ "	
DESCRIPCIÓN:			
Diagrama de Flujos	Responsable	Requerimiento de Calidad	Requerimiento de seguridad y medioambiente
	Trazador Encargado de Área Encargado de Área Encargado de Área Encargado de Área Encargado de Área Jefe de Terreno	1. Previo al inicio de las partidas que contempla la impermeabilización de la fachada, se deberá chequear la correcta dimensión de los vanos de puertas y ventanas ubicadas en la fachada, además de la inexistencia imperfecciones en esta última y verificando también: alineamiento, aplomo, altura y ancho, de todos los paramentos para evitar reparaciones posteriores. 2. Al realizar los remates de fachada se deberá verificar: a) Alineamiento, aplomo de los paramentos b) Dimensiones de los vanos c) Levantamiento de daños d) Limpieza de la superficie e) Reparación de daños f) Alineamiento, aplomo de los remates g) Textura superficial y perfecta unión con el contorno 3. Realizar el lavado de fachada controlando: a) Tipo de productos químicos utilizados, de acuerdo a EE.TT b) Estado de terminación superficial homogéneo c) Cualquier imperfección detectada debe ser solucionada inmediatamente, según el procedimiento anteriormente descrito y luego lavada para la posterior impermeabilización. 4. Ejecutar la impermeabilización de las fachadas controlando: a) Tipo de impermeabilizante, según EE.TT b) Uniformidad en la aplicación del impermeabilizante 5. En caso de la ocurrencia de algún daño a las fachadas posterior a la impermeabilización, se debe quitar al menos esta película para asegurar la adherencia de la reparación al sustrato. Posteriormente se debe verificar la calidad del remate, para luego proceder con la impermeabilización del sector en cuestión. 6. En caso de aparición de signos de humedad en el sustrato, se debe realizar un procedimiento similar al anteriormente descrito. 7. Verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores y completar el protocolo asociado.	Requisitos de Seguridad: 1. Verificar que los trabajadores están cumpliendo con sus EPP 2. Verificar que existan accesos expeditos y en buen estado 3. Verificar que las escalas portátiles están bien instaladas y en buen estado 4. Verificar que las plataformas de trabajo están correctamente instaladas, en buen estado y completas 5. Verificar la correcta instalación de cuerdas de vida 6. Verificar que toda el área de abajo está libre de escombros Requisitos de Medioambiente: 1. Verificar que existan medios que limitan la emisión de polvo 2. Verificar que existan medios que limitan la emisión de ruido 3. Verificar que los desechos han sido depositados en los basureros señalizados 4. Controlar que el personal no vacie desechos tóxicos que contaminen las napas freáticas
OBSERVACIONES Y ANEXOS		APROBÓ	
		FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA

Unidad 7.3: Protocolos de revisión

Una vez ejecutadas las partidas relacionadas con el comportamiento térmico de la vivienda, estas se deben revisar, para ello se entregan *Protocolos de Revisión*, los cuales buscan que los encargados de cada área y los respectivos profesionales realicen una revisión exhaustiva de cada partida, controlando los requisitos que se listaban en los Instructivos de Trabajo. A continuación se detalla el formato de los protocolos, para explicar la forma en que se deben completar.

Estos Protocolos de Revisión son aplicables a los siguientes ítems:

1. Control de Puertas
2. Control de Ventanas
3. Control de Pisos y Losas Ventiladas
4. Control de Hidrofugación de Fachada
5. Control de Complejo de Techumbre

LOGO CONSTRUCTORA	INSTRUCTIVO DE TRABAJO COMPLEJO DE TECHUMBRE IT-005	Revisión _ Aprobado el: _ - _ - 20__
----------------------	--	--

OBJETIVO: Describir puntos críticos de pérdida de estanqueidad, definir estándares de aceptación e identificar responsables de cada etapa del proceso.	ALCANCE: Obras Proyecto " _____ "
---	--

DESCRIPCIÓN:			
Diagrama de Flujos	Responsable	Requerimiento de Calidad	Requerimiento de seguridad y medioambiente
<pre> graph TD A[Recepción de estructura de techumbre] --> B[Instalación de cubierta] B --> C[Instalaciones en entretecho] C --> D[Terminación interior] D --> E[Entrega] </pre>	<p>Trazador Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Encargado de Área</p> <p>Jefe de Terreno</p>	<p>1. Posterior al montaje de la estructura de techumbre, se deberá chequear la correcta ubicación de las cerchas y elementos constructivos según los planos de cálculo y EE.TT, para la correcta instalación de la cubiertaestructura de cielo, la cual soportará tanto la aislación térmica como el revestimiento de cielo especificados.</p> <p>2. Papel Foil + OSB + Fieltro</p> <p>3. Hojalatería</p> <p>4. Durante la ejecución las instalaciones eléctricas proyectadas por el cielo se deberá verificar:</p> <p>a) Ubicación, de acuerdo a planos y EE.TT</p> <p>b) Altura, procurando dejar libre al menos a 15cm sobre el NCT, para la posterior colocación de la aislación térmica</p> <p>5. Colocar aislación térmica controlando:</p> <p>a) Tipo, de acuerdo a planos y EE.TT</p> <p>b) Ubicación, de acuerdo a planos y EE.TT</p> <p>c) Continuidad</p> <p>d) Cualquier observación desviación detectada deberá ser corregida antes del tapado de cielo</p> <p>6. Verificar existencia y correcto funcionamiento de ventilaciones</p> <p>a) Tipo, de acuerdo a planos, EE.TT y cubierta especificada</p> <p>b) Ubicación, de acuerdo a planos y EE.TT</p> <p>c) Fijación, alineamiento y funcionalidad</p> <p>7. Cielo + huinchas invisibles de cielo controlando:</p> <p>a) Fijación, alineamiento y penetración de tornillos</p> <p>b) Aplome de la hoja y perfecto encaje en el marco</p> <p>8. Cámara estanca</p> <p>9. Verificar el cumplimiento de los requisitos anteriores y completar el protocolo asociado.</p>	<p>Requisitos de Seguridad:</p> <p>1. Verificar que los trabajadores están cumpliendo con sus EPP</p> <p>2. Verificar que existan accesos expeditos y en buen estado</p> <p>3. Verificar que las escalas portátiles están bien instaladas y en buen estado</p> <p>4. Verificar que las plataformas de trabajo están correctamente instaladas, en buen estado y completas</p> <p>5. Verificar la correcta instalación de cuerdas de vida</p> <p>6. Verificar que toda el área de abajo está libre de escombros</p> <p>Requisitos de Medioambiente:</p> <p>1. Verificar que existan medios que limitan la emisión de polvo</p> <p>2. Verificar que existan medios que limitan la emisión de ruido</p> <p>3. Verificar que los desechos han sido depositados en los basureros señalizados</p> <p>4. Controlar que el personal no vacíe desechos tóxicos que contaminen las napas freáticas</p>

OBSERVACIONES Y ANEXOS	APROBÓ	
	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA	FIRMA NOMBRE ENCARGADO DE ÁREA FECHA ÁREA

LOGO CONSTRUCTORA	PROTOCOLO CONTROL DE PUERTAS (TERMINACIONES GRUESAS) R-IT-001 Revisión ___ - ___ / ___ / ___			CORRELATIVO N°				
	PROCEDIMIENTOS ASOCIADOS: Albañilería, Hormigones, Estucos, Instalaciones							
ANTECEDENTES GENERALES								
FECHA DE CONTROL	UBICACIÓN DE ELEMENTO	N° DE PLANOS	FECHA/REVISIÓN					
	<table border="1"> <tr><td>NIVEL</td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td>CÓDIGO DE RECINTO</td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>	NIVEL		CÓDIGO DE RECINTO				
NIVEL								
CÓDIGO DE RECINTO								
ELEMENTO CONTROLADO								
RECEPCIÓN DE SUPERFICIES								
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN				
REPLANTEO DE EJES AUXILIARES	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		NOMBRE Y FIRMA DE TRAZADOR:				
REPLANTEO DE TABIQUERÍA DE MUROS (EN CIELO Y PISO)	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		FECHA DE CONTROL:				
				HORA DE CONTROL:				
OBSERVACIONES:								
LAVADO E HIDROFUGACIÓN DE FACHADA								
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN				
UBICACIÓN DE MARCO DENTRO DEL VANO SEGÚN PANOS Y EE.TT	SEGÚN PROCEDIMIENTO	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA ENCARGADO:				
INSTALACIÓN DE ANCLAJES	SEGÚN PROCEDIMIENTO	MÉTRICO						
UBICACIÓN DE ANCLAJES SEGÚN PLANOS	SEGÚN PROCEDIMIENTO	VISUAL						
CORDONES DE SOLDADURA CONTINUOS, UNIFORMES Y LIBRES DE ESCORIAS	SEGÚN PROCEDIMIENTO	VISUAL						
ENTREGA DE MARCOS Y DINTELES ALINEADOS Y APLOMADOS	SEGÚN PROCEDIMIENTO	VISUAL						
MANOS DE ANTICORROSIVO APLICADAS	SEGÚN EE.TT	VISUAL						
TIPO DE BISAGRAS SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS EE.TT	VISUAL						
UBICACIÓN Y CANTIDAD DE BISABRAS SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS EE.TT	VISUAL						
HOJA TOTALMENTE ALINEADA CON EL MARCO	PLANOS EE.TT	VISUAL						
SEPARACIÓN DE 2 A 3 MM ENTRE LA HOJA Y EL MARCO	PLANOS EE.TT	VISUAL						
TIPO DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS EE.TT	VISUAL						
ORIENTACIÓN DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS EE.TT	VISUAL						
FUNCIONAMIENTO Y CIERRE DE QUINCALLERÍA EN PERFECTO ESTADO	PLANOS EE.TT	VISUAL						
UBICACIÓN DE TOPES A 15 CM DEL BORDE DE LA PUERTA	PLANOS EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:				
				HORA DE CONTROL:				
OBSERVACIONES:								

LAVADO E HIDROFUGACIÓN DE FACHADA				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
UBICACIÓN DE MARCO DENTRO DEL VANO SEGÚN PLANOS Y EETT	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA ENCARGADO:
DINTEL Y PIERNAS ALINEADOS Y APLOMADOS	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
ESQUINAS DE MARCO UNIDAS EN ÁNGULO 45°	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
TORNILLOS DE FIJACIÓN DE MARCOS	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
CABEZAS DE TORNILLOS DE FIJACIÓN DE MARCOS 100% PENETRADAS	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
TIPO DE BISAGRAS SEGÚN PLANOS Y EETT	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN Y CANTIDAD DE BISAGRAS SEGÚN PLANOS Y EETT	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
HOJA TOTALMENTE ALINEADA CON EL MARCO	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
SEPARACIÓN DE A 3 MM ENTRE LA HOJA Y EL MARCO	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
TIPO DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EETT	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
ORIENTACIÓN DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EETT	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
FUNCIONAMIENTO Y CIERRE DE QUINCALLERÍA EN PERFECTO ESTADO	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE TOPES A 15 CM DEL BORDE DE LA PUERTA	PLANOS T.EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:
				HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				
LAVADO E HIDROFUGACIÓN DE FACHADA				
DESCRIPCIÓN		CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
PERÍMETRO DE SEGURIDAD INSTALADO		VISUAL		
BARANDAS A 0,45 Y 0,90 M DE LA PLATAFORMA		VISUAL		
SUPERFICIE LIMPIA Y LIBRE DE ESCOMBROS		VISUAL		
ZONAS DE CIRCULACIÓN EXPEDITAS		VISUAL		
ILUMINACIÓN SUFICIENTE		VISUAL		FECHA DE CONTROL:
TRABAJADORES CON ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL		VISUAL		HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				

 V°B° Supervisor de Área
 o Jefe de Obra

 V°B° Profesional de Terreno

 V°B° Director de Terminaciones

LOGO CONSTRUCTORA	PROTOCOLO CONTROL DE VENTANAS (TERMINACIONES GRUESAS) R-IT-002 Revisión __ - __ / __ / ____			CORRELATIVO N°
	PROCEDIMIENTOS ASOCIADOS: Tabiques, Empaste de uniones y esquinas, Yesos de muros y cielos, Estucos de muros			
ANTECEDENTES GENERALES				
FECHA DE CONTROL	UBICACIÓN DE ELEMENTO	N° DE PLANOS	FECHA/REVISIÓN	
ELEMENTO CONTROLADO	NIVEL			
	CÓDIGO DE RECINTO			
RECEPCIÓN DE SUPERFICIES				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
REPLANTEO DE EJES AUXILIARES	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		NOMBRE Y FIRMA DE TRAZADOR:
REPLANTEO DE TABIQUERÍA DE MUROS (EN CIELO Y PISO)	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		FECHA DE CONTROL:
				HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				
LAVADO E HIDROFUGACIÓN DE FACHADA				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
UBICACIÓN DE MARCO DENTRO DEL VANO SEGÚN PLANOS Y EE.TT	SEGÚN PROCEDIMIENTO	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA ENCARGADO:
ENTREGA DE MARCOS Y DINTELES ALINEADOS Y APLOMADOS	SEGÚN PROCEDIMIENTO	VISUAL		
ESQUINAS DE HOJAS UNIDAS EN ÁNGULO 45°	PLANOS Y EE.TT	MÉTRICO		
TORNILLOS DE FIJACIÓN DE MARCOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
CABEZAS DE TORNILLOS DE FIJACIÓN DE MARCOS 100% PENETRADAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
TIPO DE BISAGRAS O ELEMENTO PIVOTE SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN Y CANTIDAD DE BISABRAS SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
HOJA TOTALMENTE ALINEADA CON EL MARCO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
SEPARACIÓN DE 2 A 3 MM ENTRE LA HOJA Y EL MARCO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
TIPO DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
ORIENTACIÓN DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
FUNCIONAMIENTO Y CIERRE DE QUINCALLERÍA EN PERFECTO ESTADO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
TIPO DE BURLETE, SELLO Y FELPA EN HOJAS Y MARCO SEGÚN PLANO Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
ÁREA DE VENTANAS DE ACUERDO A NORMATIVA VIGENTE	PLANOS EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE BOTA AGUAS DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:
				HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				

LAVADO E HIDROFUGACIÓN DE FACHADA				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
UBICACIÓN DE MARCO DENTRO DEL VANO SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE ENCARGADO:
ENTREGA DE MARCOS Y DINTELES ALINEADOS Y APLOMADOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
ESQUINAS DE MARCO Y HOJAS UNIDAS EN ÁNGULO 45°	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
TORNILLOS DE FIJACIÓN DE MARCOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
CABEZAS DE TORNILLOS DE FIJACIÓN DE MARCOS 100% PENETRADAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
TIPO DE BISABRAS SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN Y CANTIDAD DE BISABRAS SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
HOJA TOTALMENTE ALINEADA CON EL MARCO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
SEPARACIÓN DE 2 A 3 MM ENTRE LA HOJA Y EL MARCO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
TIPO DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
ORIENTACIÓN DE QUINCALLERÍA DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
FUNCIONAMIENTO Y CIERRE DE QUINCALLERÍA EN PERFECTO ESTADO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE TOPES A 15 CM DEL BORDE DE LA PUERTA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
ÁREA DE VENTANAS DE ACUERDO A NORMATIVA VIGENTE	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE BOTA AGUAS DE ACUERDO A PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:
APLICACIÓN DE PRODUCTOS PROTECTORES DE MADERA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				
CHEQUEO DE SEGURIDAD				
DESCRIPCIÓN		CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
PERÍMETRO DE SEGURIDAD INSTALADO		VISUAL		NOMBRE Y FIRMA PROFESIONAL:
BARANDAS A 0,45 Y 0,90 M DE LA PLATAFORMA		VISUAL		
SUPERFICIE LIMPIA Y LIBRE DE ESCOMBROS		VISUAL		
ZONAS DE CIRCULACIÓN EXPEDITAS		VISUAL		
ILUMINACIÓN SUFICIENTE		VISUAL		FECHA DE CONTROL:
TRABAJADORES CON ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL		VISUAL		HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				

 V°B° Supervisor de Área
 o Jefe de Obra

 V°B° Profesional de Terreno

 V°B° Director de Terminaciones

LOGO CONSTRUCTORA	PROTOCOLO CONTROL DE PISOS Y LOSAS VENTILADOS (TERMINACIONES GRUESAS) R-IT-003 Revisión __ - __ / __ / __			CORRELATIVO N°				
	PROCEDIMIENTOS ASOCIADOS: Albañilería, Hormigones							
ANTECEDENTES GENERALES								
FECHA DE CONTROL	UBICACIÓN DE ELEMENTO	N° DE PLANOS	FECHA/REVISIÓN					
	<table border="1"> <tr><td>NIVEL</td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td>CÓDIGO DE RECINTO</td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>	NIVEL		CÓDIGO DE RECINTO				
NIVEL								
CÓDIGO DE RECINTO								
ELEMENTO CONTROLADO								
ENTREGA DE TRAZADO								
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN				
REPLANTEO DE EJES AUXILIARES	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		NOMBRE Y FIRMA DE TRAZADOR:				
REPLANTEO DE NIVELES AUXILIARES (EN MUROS)	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		FECHA DE CONTROL:				
				HORA DE CONTROL:				
OBSERVACIONES:								
RECEPCIÓN DE SUPERFICIES								
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN				
LAS SUPERFICIES A TRATAR ESTÁN LIBRES DE POLVO, DESMOLDANTE U OTRO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE TRAZADOR:				
LOS CIELOS ESTÁN ANINEADOS, LIBRES DE NIDOS, PROTUBERANCIAS U OTRA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
LOS HORMIGONES TIENEN AL MENOS 28 DÍAS DE FRAGUADOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:				
				HORA DE CONTROL:				
OBSERVACIONES:								
ENTREGA DE PISOS Y LOSAS VENTILADOS								
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN				
UBICACIÓN DE AISLACIÓN BAJO PISO O LOSA SEGÚN PANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA ENCARGADO:				
INSTALACIÓN DE ANCLAJES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
UBICACIÓN DE ANCLAJES SEGÚN PLANOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
ENTREGA DE PISOS Y LOSAS ALINEADOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
UBICACIÓN DE POMOS DE ADHESIVO DE ACUERDO EETT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
INSTALACIÓN DE AISLACIÓN SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
SEPARACIÓN DE 3 A 5 MM ENTRE LAS PLANCHAS DE AISLANTE	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
AISLACIÓN TOTALMENTE NIVELADA CON LOS MUROS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
SE HAN INSTALADO HUIJINCAS INVISIBLES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
SE HA REALIZADO EL ESTUCO DE MORTERO PERIMETRAL AL AISLANTE	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
ESTUCO NIVELADO, HOMOGÉNEO Y SIN DISCONTINUIDADES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:				
				HORA DE CONTROL:				
OBSERVACIONES:								

ENTREGA DE PISOS Y LOSAS VENTILADOS				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
SE HA APLICADO LA PRIMERA MANO DE PASTICEM	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE ENCARGADO:
SE HA APLICADO LA SEGUNDA MANO DE PASTICEM	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
SE HA APLICADO LA PRIMERA MANO DE PASTICEM	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
SE HA APLICADO LA SEGUNDA MANO DE PASTICEM	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
LA SUPERFICIE HA QUEDADO UNIFORME, LIBRE DE IRREGULARIDADES Y LISTA PARA RECIBIR PINTURA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:
				HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				
CHEQUEO DE SEGURIDAD				
DESCRIPCIÓN		CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
PERÍMETRO DE SEGURIDAD INSTALADO		VISUAL		NOMBRE Y FIRMA PROFESIONAL:
BARANDAS A 0,45 Y 0,90 M DE LA PLATAFORMA		VISUAL		
SUPERFICIE LIMPIA Y LIBRE DE ESCOMBROS		VISUAL		
ZONAS DE CIRCULACIÓN EXPEDITAS		VISUAL		
ILUMINACIÓN SUFICIENTE		VISUAL		FECHA DE CONTROL:
TRABAJADORES CON ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL		VISUAL		HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				

 V°B° Supervisor de Área
 o Jefe de Obra

 V°B° Profesional de Terreno

 V°B° Director de Terminaciones

LOGO CONSTRUCTORA	PROTOCOLO CONTROL DE HIDROFUGACIÓN DE FACHADA (TERMINACIONES GRUESAS) R-IT-004 Revisión ___ - ___ / ___ / ____			CORRELATIVO N°				
	PROCEDIMIENTOS ASOCIADOS: Albañilería, Hormigones, Estucos, Instalaciones							
ANTECEDENTES GENERALES								
FECHA DE CONTROL	UBICACIÓN DE ELEMENTO	N° DE PLANOS	FECHA/REVISIÓN					
	<table border="1"> <tr><td>NIVEL</td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td>CÓDIGO DE RECINTO</td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>	NIVEL		CÓDIGO DE RECINTO				
NIVEL								
CÓDIGO DE RECINTO								
ELEMENTO CONTROLADO								
RECEPCIÓN DE SUPERFICIES								
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN				
LAS SUPERFICIES A TRATAR ESTÁN LISAS, LIBRES DE NIDOS Y SIN PROTUBERANCIAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE TRAZADOR: FECHA DE CONTROL: HORA DE CONTROL:				
LAS SUPERFICIES A TRATAR ESTÁN SECAS, LIBRE DE POLVO U OTROS CONTAMINANTES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
EL ÁREA DE TRABAJO ESTÁ LIMPIA Y DESPEJADA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
OBSERVACIONES:								
LAVADO E HIDROFUGACIÓN DE FACHADA								
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN				
SE HA EJECUTADO EL PRIMER LAVADO DE FACHADA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA ENCARGADO: FECHA DE CONTROL: HORA DE CONTROL:				
APLICACIÓN ÁCIDO MURIÁTICO O SIMILAR	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
LA SUPERFICIE HA QUEDADO CON UNA PELÍCULA UNIFORME	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
RETIRO DE EXCEDENTES DE MORTERO U OTRO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
SE HA EJECUTADO EL SEGUNDO LAVADO DE FACHADA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
LA SUPERFICIE HA QUEDADO UNIFORME Y LIBRE DE IRREGULARIDADES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
APLICACIÓN DE PRODUCTO IMPERMEABILIZANTE	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
LA SUPERFICIE HA QUEDADO CON UNA PELÍCULA UNIFORME DE IMPERMEABILIZANTE, LISTA PARA RECIBIR PINTURA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL						
OBSERVACIONES:								

CHEQUEO DE SEGURIDAD				
DESCRIPCIÓN	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN	
PERÍMETRO DE SEGURIDAD INSTALADO	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE PROFESIONAL: FECHA DE CONTROL: HORA DE CONTROL:	
BARANDAS A 0,45 Y 0,90 M DE LA PLATAFORMA	VISUAL			
SUPERFICIE LIMPIA Y LIBRE DE ESCOMBROS	VISUAL			
ZONAS DE CIRCULACIÓN EXPEDITAS	VISUAL			
ILUMINACIÓN SUFICIENTE	VISUAL			
TRABAJADORES CON ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	VISUAL			
OBSERVACIONES:				

V°B° Supervisor de Área
o Jefe de Obra

V°B° Profesional de Terreno

V°B° Director de Terminaciones

LOGO CONSTRUCTORA	PROTOCOLO CONTROL DE PISOS Y LOSAS VENTILADOS (TERMINACIONES GRUESAS) R-IT-003 Revisión ___ - ___ / ___ / ___			CORRELATIVO N°
	PROCEDIMIENTOS ASOCIADOS: Albañilería, Hormigones, Tabiques, Instalaciones			
ANTECEDENTES GENERALES				
FECHA DE CONTROL	UBICACIÓN DE ELEMENTO	N° DE PLANOS	FECHA/REVISIÓN	
ELEMENTO CONTROLADO	NIVEL			
	CÓDIGO DE RECINTO			
ENTREGA DE TRAZADO				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
REPLANTEO DE EJES AUXILIARES	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		NOMBRE Y FIRMA DE TRAZADOR:
REPLANTEO DE EJES PARA LA UBICACIÓN DE PLAGAS Y CERCHAS	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		FECHA DE CONTROL:
REPLANTEO DE NIVELES AUXILIARES (EN MUROS)	SEGÚN PLANOS	TOPOGRÁFICO		HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				
RECEPCIÓN DE SUPERFICIES				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
LOS MUROS ESTÁN ALINEADOS, LIBRES DE NIDOS, PROTUBERANCIAS U OTRA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE TRAZADOR:
LOS HORMIGONES TIENEN AL MENOS 28 DÍAS DE FRAGUADOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:
				HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				
ENTREGA DE PISOS Y LOSAS VENTILADOS				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
				NOMBRE Y FIRMA ENCARGADO:
INSTALACIÓN DE ANCLAJES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE ANCLAJES SEGÚN PLANOS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
INSTALACIÓN DE CERCHAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE CERCHAS SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
INSTALACIÓN DE AISLACIÓN SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
CORDONES DE SOLDADURA CONTINUOS, UNIFORMES Y LIBRES DE ESCORIAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
MANOS DE ANTICORROSIVO APLICADAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
OBSERVACIONES:				

INSTALACIÓN DE CUBIERTA				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	VºBº o NA	RECEPCIÓN
INSTALACIÓN DE PAPEL FOIL	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE ENCARGADO:
UBICACIÓN DE PAPEL FOIL SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
INSTALACIÓN DE PLACAS OSB	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE PLACAS OSB SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
INSTALACIÓN DE MALLA HEXAGONAL GALVANIZADA EN CUMBRERA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
EJECUCIÓN DE VENTILACIONES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE VENTILACIONES SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
FUNCIONAMIENTO DE TECHUMBRE EN PERFECTO ESTADO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
INSTALACIÓN DE CANALETAS Y BAJADAS DE AGUA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
UBICACIÓN DE CANALETAS Y BAJADAS DE AGUA SEGÚN PLANOS Y EE.TT	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
INSTALACIÓN DE HOJALATERÍA O MATERIAL DE TECHUMBRE	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
FUNCIONAMIENTO DE TECHUMBRE EN PERFECTO ESTADO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
OBSERVACIONES:				
				HORA DE CONTROL:
ENTREGA DE INSTALACIONES DENTRO DEL CIELO				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	VºBº o NA	RECEPCIÓN
REFUERZOS DE MADERA INSTALADOS EN PUNTOS DE FIJACIÓN DE INSTALACIONES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE ENCARGADO:
REFUERZOS METÁLICOS ANCLADOS LOSA PARA SOPORTE DE INSTALACIONES DE MAYOR PESO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
ALUMBRADO INSTALADO, CHEQUEADO Y RECIBIDO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
ALCANTARILLADO INSTALADO, CHEQUEADO Y RECIBIDO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
AGUAS LLUVIAS INSTALADO, CHEQUEADO Y RECIBIDO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
AGUA POTABLE INSTALADO, CHEQUEADO Y RECIBIDO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
CCTV INSTALADO, CHEQUEADO Y RECIBIDO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
CLIMATIZACIÓN INSTALADO, CHEQUEADO Y RECIBIDO	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
OBSERVACIONES:				FECHA DE CONTROL:
				HORA DE CONTROL:

ENTREGA CIELO FALSO				
DESCRIPCIÓN	CRITERIO	CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
EL PERFIL PERIMETRAL ESTÁ ALINEADO Y FIJADO CADA 30 CM CON CLAVOS DE IMPACTO EN HORMIGÓN Y TORNILLOS AUTOPERFORANTES EN VOLCANITA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		NOMBRE Y FIRMA DE ENCARGADO:
LOS PERFILES OMEGA ESTÁN INSTALADOS DE FORMA ALINEADA Y FIRMEMENTE UNIDOS A LAS CERCHAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
LA UBICACIÓN DE LAS PLACAS VOLCANITA ES CONCORDANTE CON LO DEFINIDO POR ARQUITECTURA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
WL CIELO ESTÁ NIVELADO, LIMPIO Y DE ACUERDO A LA DISTRIBUCIÓN DE PLACAS DE VOLCANITA ESPECIFICADA POR ARQUITECTURA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
EJECUCIÓN DE HUINCHAS INVISIBLES EN UNIONES DE PLACAS	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
LA SUPERFICIE HA QUEDADO UNIFORME Y LIBRE DE IRREGULARIDADES	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		
LA SUPERFICIE HA QUEDADO LISTA PARA RECIBIR PASTA Y PINTURA	PLANOS Y EE.TT	VISUAL		FECHA DE CONTROL:
				HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				
CHEQUEO DE SEGURIDAD				
DESCRIPCIÓN		CONTROL	V°B° o NA	RECEPCIÓN
PERÍMETRO DE SEGURIDAD INSTALADO		VISUAL		NOMBRE Y FIRMA PROFESIONAL:
BARANDAS A 0,45 Y 0,90 M DE LA PLATAFORMA		VISUAL		
SUPERFICIE LIMPIA Y LIBRE DE ESCOMBROS		VISUAL		
ZONAS DE CIRCULACIÓN EXPEDITAS		VISUAL		
ILUMINACIÓN SUFICIENTE		VISUAL		FECHA DE CONTROL:
TRABAJADORES CON ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL		VISUAL		HORA DE CONTROL:
OBSERVACIONES:				

 V°B° Supervisor de Área
 o Jefe de Obra

 V°B° Profesional de Terreno

 V°B° Director de Terminaciones



Monseñor Nuncio Sótero Sanz n.º221
Providencia, Santiago - Chile
☎ (56-2) 2571 2200

 /AChEEnergetica  @AgenciAChEE

gestor@acee.cl
www.acee.cl

