



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

**DESARROLLO DE ÍNDICES DE DESEMPEÑO DEL CONSUMO
ENERGÉTICO Y DE AGUA SANITARIA EN EDIFICIOS DE OFICINAS
DE SANTIAGO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PABLO ANDRES PAREJA FERNANDEZ

PROFESOR GUÍA:

ROLF SIELFELD CORVALAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

GABRIEL DARIO RODRIGUEZ JAQUE

ANDRES FERNANDO VARELA GARCIA

SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2007

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL
POR: PABLO PAREJA FERNANDEZ
FECHA: 27 / 07 / 2007
PROF. GUIA: Sr. ROLF SIELFELD C.

“DESARROLLO DE ÍNDICES DE DESEMPEÑO DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y DE AGUA SANITARIA EN EDIFICIOS DE OFICINA DE SANTIAGO”

El presente informe analiza globalmente el estado actual de los edificios de oficina de Santiago para aportar en materia de eficiencia energética en el desarrollo de futuras políticas públicas, plantear soluciones a los problemas que afectan a este tipo de construcciones y ser una pauta para su diseño.

Para efectos de este trabajo se eligió una zona térmica y un tipo de edificios en particular; sin embargo, se desarrolló una metodología que puede ser usada en otros tipos de edificios o de otras zonas geográficas del país.

En una primera parte del informe se repasan los distintos tipos de energías existentes y sus diferencias, se definen las condiciones de confort dentro de una oficina, cómo se abordan éstas en los distintos aspectos y cuáles son las variables que la definen.

Luego, mediante indicadores se estudian los consumos energéticos y de agua potable en una muestra de edificios de oficina. Después se analiza la distribución de los consumos y se examina la incidencia de los gastos de estos suministros en los costos totales de la oficina. Por último se calculan las emisiones de CO₂ emitidas al medio ambiente por el funcionamiento de éstas.

Los principales índices son los siguientes:

—Consumo anual de electricidad: 95,4 kWh/m²

—Consumo anual de gas natural: 34,6 kWh/m²

—Consumo anual de agua potable: 1,43 m³/m²

Finalmente se concluye que las emisiones de CO₂ son más de 50 kg/m² de oficina y que estas emisiones ocurren tanto dentro de la oficina como en los centros de conversión de energía. Además los costos anuales en energía y agua potable son del orden de 10150 \$/m², lo que corresponde al 9% aproximado del arriendo de las oficinas.

... con mucho cariño dedico este estudio a mis
padres Francisco y Margarita, a mis hermanos
Francisco y José Miguel, a mi sobrina Anais y
en especial a Dios, que me acompañaron y
guiaron mis pasos...

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado gracias al apoyo de la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (CDT), en conjunto con el profesor guía Rolf Sielfeld y la comisión compuesta por Gabriel Rodríguez y Andrés Varela. Además colaboraron en la edición y redacción del informe Marcela Robles y Jean Palou, respectivamente. Un sincero agradecimiento a todos ellos.

INDICE DE MATERIAS

1	ANTECEDENTES GENERALES Y TEÓRICOS.....	10
1.1.	Introducción	10
1.2.	Energía y tipos de energía.....	11
1.2.1.	Definición de energía.....	11
1.2.2.	Fuentes de energía	11
1.2.3.	Tipos de energía.....	12
1.2.4.	El rol del agua.....	14
1.3.	Eficiencia energética.....	15
1.3.1.	Definición.....	15
1.3.2.	Beneficios de la eficiencia energética.....	16
1.4.	Análisis de la situación mundial.....	16
1.4.1.	Crisis energética	17
1.4.1.1.	Peak del petróleo.....	17
1.4.2.	La guerra del agua.....	18
1.4.3.	Cambio climático y efecto invernadero	20
1.4.3.1.	Efecto invernadero	20
1.4.3.2.	Cambio climático	21
1.5.	Análisis de la situación local.....	21
1.6.	Benchmarking	22
1.6.1.	Fuentes de datos.....	23
1.6.2.	Tipos de benchmarking.....	24
1.6.2.1.	Según su sujeto	24
1.6.2.2.	Según sus metas	25
1.7.	Indicadores de desempeño en Chile	26
1.7.1.	Energías primarias	26
1.7.2.	Energías secundarias.....	28
1.7.3.	Energía por sectores.....	29
1.7.3.1.	Sector comercial, público y residencial.....	30
1.8.	Producción de servicios básicos domiciliarios.....	31
1.8.1.	Electricidad.....	31
1.8.1.1.	Generación de CO ₂	31
1.8.1.2.	Generación de energía.....	31
1.8.1.3.	Costos en Santiago	31
1.8.2.	Gas natural.....	32
1.8.2.1.	Producción.....	32
1.8.2.2.	Generación de CO ₂	32
1.8.2.3.	Generación de energía.....	33
1.8.2.4.	Costos en Santiago	33
1.8.3.	Agua potable.....	34
1.8.3.1.	Producción.....	34
1.8.3.2.	Costos en Santiago	34
1.9.	Aspectos estadísticos de edificios de oficina	35

2.	HABITABILIDAD EN UN EDIFICIO DE OFICINA.....	39
2.1.	Balance energético.....	39
2.2.	Estándar de confort en una oficina	41
2.2.1.	Confort térmico.....	42
2.2.1.1.	Temperatura del aire (ta)	42
2.2.1.2.	Humedad relativa (HR)	43
2.2.1.3.	Movimiento de aire (va)	45
2.2.1.4.	Temperatura radiante (tr).....	45
2.2.1.5.	Calidad del aire	46
2.2.2.	Confort de iluminación	49
2.2.3.	Confort acústico.....	50
2.2.4.	Factores de confort.....	53
2.3.	Síndrome del edificio enfermo	53
2.3.1.	Definiciones.....	53
2.3.2.	Características comunes a los edificios enfermos	54
2.3.3.	Síntomas y diagnóstico	55
2.3.4.	Posibles factores de riesgo	56
2.3.5.	Costos económicos	57
3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO	58
3.1.	Estrategia de análisis	58
3.1.1.	Exposición de problema e hipótesis.....	58
3.1.2.	Objetivos generales y específicos.....	59
3.2.	Levantamiento de datos.....	61
3.3.	Espacio muestral.....	63
3.4.1	Por comunas	65
3.4.1.1	Las Condes	65
3.4.1.2	Providencia	66
3.4.1.3	Santiago	67
3.4.1.4	Vitacura	67
3.4.1.5	Huechuraba.....	68
3.5	Análisis de datos.....	69
3.5.1	Clasificación de los edificios de oficina	69
3.5.2	Determinar estructura de abastecimiento energético	69
3.5.3	Determinación de indicadores energéticos e hídricos y su medición.....	70
3.5.4	Determinación costos asociados a energía y agua potable, con respecto a costos por concepto de arriendo o compra de oficinas.....	71
3.5.5	Determinación de emisiones de CO ₂	72
3.6	Evaluación.....	72
4	CÁLCULOS	73
4.1	Gas natural	73
4.2	Agua potable	75
4.2.1	Categoría por pisos	78
4.2.1.1	Baja altura.....	78
4.2.1.2	Mediana altura	79
4.2.1.3	Gran altura	80
4.3	Electricidad	81
4.3.1	Baja altura	83

4.3.2	Mediana altura	84
4.3.3	Gran altura	85
4.4	Emisiones de CO ₂	87
4.5	Distribución	88
4.6	Costos	90
4.7	Resumen	92
5	CONCLUSIONES Y DISCUSIONES	94
6	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA	98
6.1	Referencias	98
6.2	Bibliografía	100
7	ANEXOS	102
7.1	Anexo 1: Estadística	102
7.1.1	Población y muestra	102
7.1.2	Medidas de tendencia central	102
7.1.3	Medidas de dispersión	103
7.2	Anexo 2: Cálculo emisiones de CO ₂ del gas natural	104
7.3	Anexo 3: Densidades y poderes caloríficos	105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1:	Consumo bruto de energía primaria	27
Gráfico 2:	Consumo final energía secundaria	28
Gráfico 3:	Consumo secundario sectorial	29
Gráfico 4:	Consumo sector comercial, público y residencial	30
Gráfico 5:	Consumo anual de gas con respecto a la superficie de edificios de oficinas	73
Gráfico 6:	Indicador anual de gas con respecto a la superficie de edificios de oficina	74
Gráfico 7:	Distribución indicador anual de gas natural	74
Gráfico 8:	Distribución indicador mensual de gas natural	75
Gráfico 9:	Consumo anual de agua con respecto a la superficie de edificios de oficina	76
Gráfico 10:	Indicador anual de agua con respecto a la superficie de edificios de oficina	76
Gráfico 11:	Consumo anual de agua potable	77
Gráfico 12:	Indicador mensual de agua potable	77
Gráfico 13:	Indicador anual de agua potable, baja altura	78
Gráfico 14:	Indicador mensual de agua potable, baja altura	78
Gráfico 15:	Indicador anual de agua potable, mediana altura	79
Gráfico 16:	Indicador mensual de agua potable, mediana altura	79
Gráfico 17:	Indicador anual agua potable, gran altura	80

Gráfico 18: Indicador mensual agua potable, gran altura	80
Gráfico 19: Consumo anual de electricidad con respecto a la superficie de edificios de oficina ..	81
Gráfico 20: Indicador anual de electricidad con respecto a la superficie de edificios de oficina ..	82
Gráfico 21: Indicador anual de electricidad	82
Gráfico 22: Indicador mensual de electricidad.....	83
Gráfico 23: Indicador anual de electricidad, baja altura.....	83
Gráfico 24: Indicador mensual de electricidad, baja altura.....	84
Gráfico 25: Consumo anual de electricidad, mediana altura.....	84
Gráfico 26: Indicador mensual de electricidad, mediana altura	85
Gráfico 27: Indicador anual de electricidad, gran altura.....	85
Gráfico 28: Indicador mensual de electricidad, gran altura	86
Gráfico 29: Indicador de emisiones de CO ₂ promedio según las clases de edificios.	87
Gráfico 30: Distribución consumos eléctricos	88
Gráfico 31: Distribución potencia eléctrica.....	89
Gráfico 32: Indicador anual de energía con respecto a las clases de edificios.....	90
Gráfico 33: Indicador anual de energía y agua con respecto a las clases de edificios.....	91
Gráfico 34: Indicador anual de energía y agua con respecto a las clases de edificios.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Acción relativa efecto invernadero.	20
Tabla 2: Consumo bruto de energía primaria	27
Tabla 3: Consumo final energía secundaria.	28
Tabla 4: Consumo sector comercial, público y residencial.....	30
Tabla 5: Tarificación gas natural.	33
Tabla 6: Participación comunal de edificios de oficina.	37
Tabla 7: Participación comunal de edificios de oficina.	38
Tabla 8: Compuestos inorgánicos.....	48
Tabla 9: Compuestos orgánicos.....	48
Tabla 10: Rango de iluminancia para el espacio interior de edificios en Chile.	50
Tabla 11: Nivel sonoro aceptable del ambiente.....	52
Tabla 12: Nivel de intensidad de los sonidos	52
Tabla 13: Espacio muestral de edificios de oficina.	68

Tabla 14: Resumen de cálculos de indicadores.....	93
Tabla 15: Densidades y poderes caloríferos.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama psicométrico y zona de confort (color rojo) con aire quieto.	44
Figura 2: Curvas de Fletcher y Munson.....	51
Figura 3: Evaluación de las condiciones de consumo energético y de agua del edificio.	61
Figura 4: Plano zonificación térmica Santiago.....	64
Figura 5: Ubicación edificios Las Condes.	66
Figura 6: Ubicación edificios Providencia.....	66
Figura 7: Ubicación edificios Santiago.....	67
Figura 8: Ubicación edificios Vitacura.....	67
Figura 9: Ubicación edificios Huechuraba.....	68

1 ANTECEDENTES GENERALES Y TEÓRICOS

1.1. Introducción

Desde el principio de los tiempos el ser humano ha requerido de energía para cubrir sus necesidades vitales. Ésta es suministrada por el Sol, mediante luz y calor, además del agua y el oxígeno del aire. El fuego fue la primera fuente energética, sobre la cual el hombre tuvo dominio, mediante la combustión de madera o carbón. Con él pudo cocinar sus alimentos y calefaccionarse.

En la revolución industrial hubo una explosión en el uso de las energías. El carbón, la electricidad y por último el hallazgo de petróleo y los motores de combustión interna incrementaron más sus diversos usos.

Aunque hoy en día la mayoría de los usos de las energías no son de carácter vital, se han incluido tanto en las vidas que ya se hace difícil de pensar en un estilo de vida sin las comodidades que generan las distintas máquinas creadas por el hombre. Por ello interesa contar con la energía necesaria para mantener y mejorar los actuales modos de vida.

Existe una importante relación entre agua y energía. Energía, en términos absolutos, no falta en el mundo. El uso total anual de energía comercial en el mundo está en el orden de $1,2 * 10^{15}$ Tcal y el Sol aporta aproximadamente $1,76 * 10^{19}$ Tcal de energía radiante en la atmósfera terrestre cada año¹. Lo que falta no es energía, sino "energía barata", que pueda ser comprada por la gente. Agua, en términos absolutos, no falta de ninguna manera en el mundo. La Tierra es un planeta rico en agua, y el consumo anual animal y humano apenas llega al 1% del suministro de agua del planeta. Lo que falta es "agua potable barata", agua limpia que pueda ser comprada por la gente.

¹ Dr. Allan r. Hoffman; The connection: Water and Energy Security, Energy Security; Intitute for the análisis the Global security ; 2004.

1.2. Energía y tipos de energía

1.2.1. Definición de energía

La energía se define como la capacidad para realizar un trabajo².

La energía presenta tres propiedades básicas:

- La energía total de un sistema aislado se conserva. Por tanto en el Universo no puede existir creación o desaparición de energía.
- La energía puede transmitirse (transferirse) de un cuerpo, o sistema material, a otro.
- La energía puede transformarse de una forma a otra.

1.2.2. Fuentes de energía

Se llama fuente de energía a un sistema natural cuyo contenido energético es susceptible de ser transformado en energía útil.

El planeta posee grandes cantidades de energía. Sin embargo, uno de los problemas más importantes es la forma de transformarla en energía utilizable. Las fuentes más buscadas son las que poseen un alto contenido energético y acumulan energía en la menor cantidad de materia posible. Es el caso del petróleo, el carbón y el gas natural. En otras, por el contrario, se encuentra difusa (solar, eólica, geotérmica, etc).

La mayor parte de las fuentes de energía, salvo la nuclear, la geotérmica y la mareomotriz, derivan del Sol. El petróleo, el gas natural o el viento tienen su origen, aunque lejano, en la energía que proviene del Sol.

² Maiztegui y Sabato; Introducción a la física; séptima edición, Pág. 346; 1958.

Las distintas fuentes de energía se pueden clasificar según las siguientes dos formas:

Según el agotamiento de los recursos energéticos naturales:

- Renovables: Son aquellas fuentes que no desaparecen, se rehacen en la naturaleza.
- No renovables: Es el sistema material que se agota al transformar su energía en energía útil.

Según la necesidad de transformación de energía:

- Energías Primarias: Son los recursos naturales disponibles en forma directa o indirecta para su uso energético sin necesidad de someterlos a un proceso de transformación. Se refiere al proceso de extracción, captación o producción (siempre que no conlleve transformaciones energéticas) de portadores energéticos naturales, independientemente de sus características.
- Energías secundarias: Se denomina energía secundaria a los productos resultantes de las transformaciones o elaboración de recursos energéticos naturales (primarios) o en determinados casos a partir de otra fuente energética ya elaborada (por ejemplo el alquitrán). Es la energía que está lista para ser usada. El único origen posible de toda energía secundaria es un centro de transformación y, el único destino posible un centro de consumo.

1.2.3. Tipos de energía

Energía de los combustibles fósiles: Es la energía que se obtiene a partir de la combustión de carbón, gas natural o petróleo. Ésta se puede transformar en energía térmica (calefacción), en energía eléctrica (centrales termoeléctricas) o en energía cinética (a través de los motores de combustión interna). Las ventajas son la facilidad de extracción, que existen tecnologías bien desarrolladas y que se proporcionan materias primas para la industria. Pero los inconvenientes son que es una energía no es renovable -se estima que se agotarán las reservas en menos de 100

años³ , el transporte es caro, es difícil de almacenar y provoca graves problemas ambientales como el efecto invernadero, la lluvia ácida, entre otros.

Energía eólica: Es la energía que se obtiene a partir del viento. La energía eólica se considera una forma indirecta de energía solar. Entre el 1 y 2% de la energía proveniente del Sol se convierte en viento, debido al movimiento del aire ocasionado por el desigual calentamiento de la superficie terrestre⁴. Esta energía cinética se puede transformar a mecánica en molinos de viento o barcos a vela o también en eléctrica en una central eólica. Las ventajas son que es limpia, de principios sencillos y es una conversión directa. Sus inconvenientes son que los vientos no son constantes y se dispersan geográficamente, tiene impacto ambiental en los ecosistemas (en las aves, por ejemplo), es una tecnología reciente que está en desarrollo y que no se puede almacenar.

Energía de la biomasa: Es la asociada a los residuos orgánicos renovables de origen vegetal, animal, procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La energía de la biomasa corresponde entonces a toda aquella energía que puede obtenerse de ella, bien sea a través de su quema directa o su procesamiento para conseguir otro tipo de combustible sólido (carbón vegetal), líquido (alcohol) o gaseoso (biogás). Los usos de la biomasa en aplicaciones energéticas son principalmente la producción de gas, energía calórica (térmica) y energía eléctrica. Las ventajas son que favorece el reciclaje de residuos, contribuye a la limpieza de bosques, previene incendios forestales y aprovecha terrenos que no son cultivables. Los inconvenientes son que necesita grandes áreas de cultivo y que es una tecnología que recién se está desarrollando.

Energía solar: Recibe el nombre de energía solar aquella que proviene del aprovechamiento directo de la radiación del Sol, y de la cual se obtiene calor y electricidad. Las ventajas son que es limpia, de principios sencillos y es una conversión directa. Sus inconvenientes son las grandes variaciones en el tiempo, sólo se puede usar en algunas partes del planeta, se necesitan grandes superficies, es una tecnología en desarrollo y que tiene dificultad de almacenamiento.

Energía hidráulica: Es la energía cinética y potencial del agua que puede transformarse en energía utilizable. Las ventajas son que es limpia, su transformación es directa y renovable. Los inconvenientes son que se necesitan precipitaciones, que los embalses tienen una capacidad

3 M. King Hubbert; Nuclear Energy and the Fossil fuels; Princeton University Press; 2001

4 Comisión Nacional de Energía; [en línea] www.cne.cl; agosto 2007

limitada, tiene un impacto ambiental en los ecosistemas, se necesitan grandes inversiones inicialmente y que hay riesgo de ruptura.

Energía geotérmica: Corresponde a la energía calórica contenida en el interior de la Tierra, la cual es un recurso parcialmente renovable y de alta disponibilidad. Ésta es asociada al vapor de agua que sale a la superficie, la que se transforma en energía eléctrica o en térmica para calefacción. Las ventajas son que es limpia y es abundante en los sitios que se da. Los inconvenientes son que se da solo en lugares específicos y que es una tecnología en desarrollo.

Energía nuclear: Es la producida por reacción de fisión de los núcleos de uranio (se rompen) o por la fusión de núcleos de hidrogeno (se unen), aunque esta última está en estudio. Las ventajas son que hay grandes reservas de uranio y con pequeñas cantidades se producen grandes cantidades de energía, además de que la tecnología está bien desarrollada. Los inconvenientes son que produce residuos radioactivos que son peligrosos y tienen difícil almacenamiento, hay alto riesgo de contaminación, las instalaciones y el mantenimiento son de alto costo y además que hay posibilidades que se descontrolen una planta.

Energía mareomotriz: Es la asociada a las mareas provocadas por la atracción gravitatoria del Sol y principalmente de la Luna. Las ventajas son que es limpia y renovable. Los inconvenientes son que se necesitan grandes construcciones, por lo tanto hay un posible impacto ambiental y corrosión de los sistemas, además solo es aprovechable en lugares muy específicos.

1.2.4. El rol del agua

Muchas formas de energía dependen de la disponibilidad de agua; por ejemplo, la producción de electricidad mediante centrales hidroeléctricas. Las plantas térmicas, en las que el combustible fósil, nuclear y/o biomasa son utilizados para calentar agua para alimentar una turbina de vapor, requieren grandes cantidades de agua para ser empleada como refrigerante. Lo mismo es válido para las plantas geotérmicas.

El agua también juega un rol importante en la producción de los combustibles fósiles mediante la inyección en los campos petrolíferos para incrementar su producción, y en su uso en la producción petrolera "no convencional" moderna.

En el futuro, si se mueve más agresivamente hacia la economía del hidrógeno, se requerirán grandes cantidades de agua para producir el hidrógeno necesario vía electrólisis.

Como parte central del problema de adquirir seguridad en materia de agua se plantea la necesidad de contar con energía suficiente para extraer agua de los acuíferos subterráneos, transportar agua a través de canales y cañerías, administrar y tratar el agua para su reutilización, y desalinización de agua salobre y del mar para alcanzar la utilización de nuevos recursos de agua.

La capacidad de movilizar cargas a través de canales y ríos (transporte fluvial), impacta la cantidad de energía requerida para movilizar bienes en la nación. Esto debido a que el movimiento de barcos a través de las vías navegables, utiliza mucho menos intensamente la energía que si lo hicieran por tierra o aire.

1.3. Eficiencia energética

1.3.1. Definición

En términos generales, la eficiencia energética tiene en cuenta todas las prácticas o actividades que reducen la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de trabajo, o para alcanzar los requerimientos energéticos asociados a un nivel dado de confort. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales en la comunidad⁵.

Es importante subrayar que el desarrollo económico y consumo energético están directamente relacionados, especialmente en los países en vías de desarrollo. Por lo mismo, lograr la clara distinción entre ahorro energético y uso eficiente es fundamental para lograr los resultados esperados sin comprometer las metas de crecimiento de cada país.

⁵ Programa país eficiencia energética de Chile; [en línea] www.ppee.cl; agosto 2007

1.3.2. Beneficios de la eficiencia energética

La Eficiencia Energética (EE) posee cuatro áreas básicas beneficiosas para el país y su desarrollo sustentable⁶:

- Estratégicos: Reducción de la vulnerabilidad del país si depende de fuentes energéticas externas.
- Económicos: Reducción de costos de abastecimiento energético para la economía en su conjunto. Ahorro económico por reducción de consumo energético entre los consumidores y la industria, en todos los servicios energéticos tales como luz, acondicionamiento ambiental, transporte; y generación de actividad económica, empleo y oportunidades de aprendizaje tecnológico, en los nuevos mercados de bienes y servicios que se crearán para los diferentes sectores usuarios.
- Ambientales: Alivio de las presiones sobre los recursos naturales y los asentamientos humanos al reducirse la tasa de crecimiento de la demanda por energéticos. Esto incluye alivio de presiones locales así como presiones globales tales como las emisiones de CO₂, conducentes al calentamiento global del planeta.
- Sociales: Los beneficios serán más significativos para las familias de bajos recursos, porque gastan un porcentaje mayor de su ingreso en energía.

1.4. Análisis de la situación mundial

Alrededor del mundo, la energía —su producción y uso— ha llevado a grandes debates, siendo un importante tema en las agendas de los distintos países. En especial las problemáticas asociadas a la energía, las cuales a grandes rasgos se pueden dividir en dos grandes temas: la crisis energética y los efectos de los distintos tipos de energías como son el cambio climático y efecto invernadero.

⁶ Programa país eficiencia energética de Chile; [en línea] www.ppee.cl; agosto 2007

1.4.1. Crisis energética

Una crisis energética a menudo repercute en el resto de la economía, provocando una recesión en alguna forma.

El 90 % de la energía que el hombre consume es fósil. Dentro del consumo energético mundial, el petróleo representa el 40% aproximadamente; el carbón, el 26%, y el gas natural el 24%. Por otro lado las energías no fósiles como la nuclear el 7% y la hidráulica el 3%. Por lo tanto el crudo es la principal fuente energética. El transporte representa la mayor demanda de petróleo, seguida de la industria. Estados Unidos es el mayor demandante de petróleo, con un consumo de alrededor del 25% de la producción mundial⁷.

El suministro del petróleo está controlado en gran medida por las compañías petrolíferas nacionales de países con reservas abundantes de petróleo barato, entre ellos Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita, Venezuela, Noruega y Kuwait. Varios de estos países han formado un conglomerado conocido como OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo). Puesto que la OPEP controla una gran proporción de la producción de petróleo, ejerce una fuerte influencia en el precio mundial del petróleo.

1.4.1.1. Peak del petróleo

El peak del petróleo se define como el momento en que se ha extraído la mitad del petróleo. Este análisis se puede realizar de una forma global o local.

Análisis global: En este caso se define como el momento en el que la mitad de las reservas mundiales de petróleo ya se hayan consumido, en cuyo momento la producción mundial de petróleo alcanzará un tope y a partir del cual empezará un declive irreversible. Ya que el petróleo se está consumiendo a un ritmo mucho más rápido del que lo hace el descubrimiento de nuevas reservas, y que a medida que los campos petrolíferos actuales se vayan agotando, no aparecerán nuevos en suficiente número para reemplazarlos. Algunos expertos afirman que este punto se está produciendo en la actualidad, otros que se alcanzará dentro de la próxima década, mientras

⁷ Statistical Review of World Energy ; BP Energy Companies; 2007

algunos argumentan que esto no sucederá en muchas décadas. La población mundial actualmente crece a razón de un cuarto de millón por día⁸, lo que incrementa el consumo de energía. Actualmente, una pequeña parte de la población mundial consume una gran parte de los recursos, en el caso de Estados Unidos con una población de 296 millones de personas, consume más petróleo que China con 1.300 millones⁹.

Análisis local: En este otro caso es cuando la estación petrolera extrae aproximadamente la mitad del petróleo existente en un pozo. A partir de ese momento, la cantidad que se consigue sacar empieza a bajar y a requerir cada vez más energía y tecnología para continuar extrayendo el restante. Llega un momento que el petróleo que se gasta en forma de energía no compensa el petróleo que se consigue extraer del pozo y éste se abandona. Esto se llama la Teoría del peak de Hubbert¹⁰.

1.4.2. La guerra del agua

La seguridad en materia de agua puede definirse, por su parte, como la habilidad para acceder a suficiente cantidad de agua potable para sostener estándares adecuados de alimentos, producción de bienes, servicio sanitario y salubridad.

Esto tiene importancia creciente porque los datos muestran que ya se está enfrentando falta de agua en muchas partes del mundo, y el problema se convertirá en una situación más difícil en los próximos años.

Las políticas energéticas y de aguas pueden expresarse en términos similares. La primera prioridad de la política energética debería ser la utilización inteligente y eficiente de todas las fuentes disponibles. Lo mismo es cierto para el agua, la prioridad debería ser otorgada, al uso inteligente y eficiente de las fuentes disponibles del recurso. Es importante entender que la seguridad en materia de agua es una amenaza que se hará muy real durante el siglo XXI, comprendiendo las implicancias para el suministro de energía.

⁸ Estado de la Población Mundial United Nations Population Fund; UNFPA.

⁹ Statistical Review of World Energy ; BP Energy Companies; 2007.

¹⁰ M. King Hubbert; Nuclear Energy and the Fossil fuels; Princeton University Press; 2001

El suministro de agua total de la tierra está estimado en 1350 millones de kilómetros cúbicos. El problema es que 1298 millones de kilómetros cúbicos se encuentran en los océanos y es salado (35.000 partes por millón de sales disueltas). Otros 28 millones de kilómetros cúbicos están concentrados en forma de hielo en los polos y glaciares, y 12 millones en la atmósfera terrestre. El agua subterránea, los lagos de agua dulce y los ríos cuentan otros 8 millones de kilómetros cúbicos de agua fresca. El resultado neto es que el 99.7% de toda el agua del planeta no es apto para el consumo humano y animal terrestre¹¹.

Una importante característica de los recursos de agua potable en la tierra es su distribución no uniforme alrededor del globo. El agua, para la cual no hay sustituto posible, ha sido siempre el recurso máspreciado de la humanidad. La lucha por el control de los recursos de agua ha marcado la historia económica y política, y el agua ha sido causa de tensiones todas las veces que ha sido compartida como recursos entre poblaciones vecinas.

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico están conduciendo a una demanda creciente por las fuentes de agua, y la demanda de agua se ha más que triplicado en el último medio siglo. Globalmente, el mayor uso de agua dulce es la agricultura, contabilizando alrededor de tres cuartas partes del uso total.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que globalmente 1.100 millones de personas no tienen acceso a fuentes de agua dulce, y otros 2.400 millones carecen de acceso a sistemas sanitarios básicos. 1.000 m³ es la cantidad anual de agua requerida per cápita para dar satisfacción a las necesidades humanas básicas. En 1.995, 166 millones de personas en 18 países ya vivían por debajo de estos niveles. Según las proyecciones, la disponibilidad de agua para el año 2.050 caerá por debajo de estos niveles para 1.700 millones de personas viviendo en 39 países. La carencia de agua es una plaga que afecta en la actualidad a casi todos los países en el Norte de África y en Medio Oriente.

11 The connection: Water and Energy Security, dr. Allan r. Hoffman; Energy Security; Intitute for the análisis the Global security ; 2004.

1.4.3. Cambio climático y efecto invernadero

A lo largo de los años, las fluctuaciones climáticas han sido muy grandes en la Tierra. En algunas épocas el clima ha sido cálido y en otras frío y, a veces, se ha pasado bruscamente de unas situaciones a otras.

1.4.3.1. Efecto invernadero

Se define efecto invernadero como el proceso natural que se produce en la atmósfera, específicamente en la troposfera superior, responsable de que la energía irradiada desde el suelo sólo sea liberada parcialmente al espacio. En la atmósfera están los gases de invernadero, principalmente el anhídrido carbónico y el metano, que tienen la particularidad de dejar pasar los rayos de onda corta del Sol hacia la Tierra, y limitar la salida hacia el espacio de los de onda larga emitidos desde el suelo. El vapor de agua es también un poderoso gas de invernadero

Gases con efecto invernadero

Tabla 1: Acción relativa efecto invernadero.

	Acción relativa	Contribución real
Dióxido de carbono (CO₂)	1 (referencia)	76%
Clorofluorocarbonos (CFCs)	15.000	5%
Metano (CH₄)	25	13%
Oxido nitroso (N₂O)	230	6%

Fuente: Campus tecnológico de la Universidad de Navarra; [en línea] www.tecnun.es

Como se indica en la columna de acción relativa, un gramo de CFC produce un efecto invernadero 15.000 veces mayor que un gramo de CO₂, pero como la cantidad de CO₂ es mucho mayor que la del resto de los gases, la contribución real al efecto invernadero es la que señala la columna de la derecha

1.4.3.2. Cambio climático

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la Tierra. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etcétera. Son debidos a causas naturales y, en los últimos siglos, también a la acción del hombre.

El término suele usarse, de forma poco apropiada, para hacer referencia tan solo a los cambios climáticos que suceden en el presente, utilizándolo como sinónimo de calentamiento global.

Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables¹².

Al producido constantemente por causas naturales lo denomina variabilidad natural del clima. En algunos casos, para referirse al cambio de origen humano se usa también la expresión cambio climático antropogénico.

1.5. Análisis de la situación local

En este momento Chile está a las puertas de un grave problema energético debido a los altos precios del petróleo, la irregularidad en el suministro del gas argentino y el elevado costo que significan las otras alternativas, además de las implicancias políticas que implican opciones como el gas boliviano, por ejemplo. La matriz energética nacional es dependiente de los recursos hídricos y del carbón, siendo conocidos los riesgos que conlleva mantener una matriz poco diversificada.

Mirando hacia el futuro y dada la alta tasa de crecimiento en demanda energética, es necesario tomar medidas ahora para no tener que recurrir al corte del suministros o racionamientos. Si bien Chile cuenta con un gran potencial hidroeléctrico, el desarrollo de plantas

¹² Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; 2004; Artículo 1, párrafo 2.

de este tipo conlleva años desde que se da el vamos hasta que esa nueva planta esté operativa; además, se deben considerar los inconvenientes sociales y políticos con lo que deben lidiar estos proyectos de gran impacto ambiental, como por ejemplo los problemas que tuvo la central Ralco. Estos antecedentes no son alentadores para ningún inversionista. En este panorama, tímidamente se está comenzando a analizar a nivel político la viabilidad de producir otros tipos de energía, como la nuclear.

La energía constituye un insumo vital para el desarrollo del país, sin embargo, su producción, transporte y consumo habitualmente presenta impactos ambientales de diferentes niveles de significancia, cuyos efectos pueden ser de carácter local o global

Por esto, y en sintonía con las políticas mundiales, el país debe ejecutar planes de eficiencia energética, instando con esto a una reducción del consumo energético pero sin dejar de producir los bienes y servicios necesarios.

1.6. Benchmarking

Se puede definir el concepto de benchmarking como el análisis comparativo de los procedimientos empleados en un determinado ámbito realizado de forma dinámica con el objetivo de mejorar la situación de partida. Consiste en analizar las mejores prácticas existentes en la industria o los servicios y usarlas como referencia para la mejora de la propia empresa¹³.

Esto se ha hecho desde siempre de manera intuitiva (preguntando, observando, comparando), lo que cambia es que ahora se trata de hacerlo de forma sistematizada empleando un conjunto de procesos para la recolección de información o la comparación apoyada por herramientas.

El punto de arranque será asegurarse de seleccionar las actividades y mediciones más adecuadas contra las cuales compararse, llevando a cabo una revisión de la mejor inteligencia competitiva que sea posible conseguir.

13 Grupo de Gestión de la tecnología, Universidad politécnica de Madrid; [en línea] www.getec.etsit.upm.es; agosto 2007

Las fases serían las siguientes:

1. Seleccionar las variables significativas sobre las que se va a basar el análisis.
2. Identificar a los mejores de la clase para cada variable.
3. Comparar las prácticas propias con las de éstos.
4. Definir en consecuencia los aspectos mejorables.

1.6.1. Fuentes de datos

La práctica de benchmarking comienza con la disponibilidad de datos fiables sobre los aspectos que se desea analizar. El problema es que no siempre se dispone de datos y cuando se dispone de ellos pueden no estar actualizados o los sistemas de recogida no son homogéneos y es difícil extrapolar las consecuencias.

El benchmarking tecnológico puede obtener información de:

- Las empresas seleccionadas: No es fácil que las empresas proporcionen información fiable sobre aspectos concretos de su tecnología a terceros, porque eso pone en peligro la confidencialidad sobre sus procesos y, salvo que formen parte de un mismo grupo industrial, se utilizan más las fuentes indirectas.
- Fuentes indirectas: Los propios proveedores de la tecnología suelen ser también quienes proporcionan información relativa al uso de las tecnologías que ellos venden mediante análisis de la forma en la que sus clientes han hecho uso de la misma y han mejorado su rendimiento. Muchos de ellos promueven organizaciones de usuarios y recogen sistemáticamente sus experiencias.
- Centros de intercambio de información: Algunas organizaciones públicas o empresariales realizan continuamente actuaciones de recolección de información sobre sus empresas asociadas y elaboran estadísticas con el fin de extraer tendencias.

1.6.2. Tipos de benchmarking

Una vez que se obtenga un sentido claro de lo que debe y puede establecerse como parámetro, el siguiente paso es determinar el tipo más adecuado de estudio de benchmarking que se realizará¹⁴.

1.6.2.1. Según su sujeto

Las investigaciones de benchmarking se pueden clasificar por su sujeto, esto es, contra qué o quién se va a realizar la comparación. Es importante poder comparar funciones genéricas o comunes de las empresas, independiente de la industria a la que pertenezcan, como son los recursos humanos, por ejemplo.

Interno.

En muchas empresas, operaciones de negocios semejantes se realizan en múltiples instalaciones, departamentos o divisiones. Esto es especialmente cierto en las multinacionales, que funcionan a nivel internacional. Por esta razón, muchas compañías inician sus actividades de benchmarking comparando internamente sus prácticas comerciales.

Competitivo.

Consiste en la realización de un intercambio de información con las empresas competidoras. La técnica cooperativa siempre es más sencilla en el ámbito internacional, porque la competencia se percibe como más lejana y menos peligrosa que la nacional.

Funcional (Genérico)

Al igual que el benchmarking competitivo, el benchmarking funcional se orienta hacia los productos, servicios y procesos de trabajo. Sin embargo, las organizaciones comparadas pueden o no ser competidores directos. El objeto del benchmarking funcional es relevar la mejor práctica de una compañía reconocida como líder en un área específica.

¹⁴ Asociación nacional de Pymes, México; [en línea] www.contactopyme.gob.mx; agosto 2007

1.6.2.2. Según sus metas

Clasificar el proceso de benchmarking de esta manera es útil porque permite que cualquier organización construya sus capacidades de benchmarking de manera gradual. Al iniciar con el benchmarking de desempeño, que requiere muy pocos recursos, se familiarizará con el proceso mediante una inversión mínima. Cuando se sienta cómodo recopilando y utilizando la información, le será posible continuar con el establecimiento de sociedades con un conjunto específico de compañías, para entender mejor los aspectos estratégicos. Finalmente, cuando sea capaz y se sienta seguro al adaptar la información del benchmarking, iniciará un programa de capacitación de equipos para que ayuden a los grupos de trabajo a conducir sus propios estudios de benchmarking de procesos.

Desempeño.

Si el propósito de una investigación de benchmarking es identificar quién se desempeña mejor, con base en mediciones de productividad, el benchmarking de desempeño es la forma más sencilla de estudio. Muchas empresas también consideran que la investigación del desempeño es una buena forma de iniciar el benchmarking porque no requiere contacto con las organizaciones estudiadas. Eso, a su vez, significa que no habrá visitas costosas a las plantas. Además, con base en dicha investigación, fácilmente es factible llevar a cabo un estudio ampliado con visitas a los lugares e investigación más profunda.

Estratégico

El benchmarking estratégico va más allá del análisis del liderazgo en el desempeño para examinar a los líderes no industriales en un intento por identificar las tendencias significativas capaces de proporcionar una mayor percepción de las oportunidades de mejoramiento potencial. El benchmarking estratégico, por lo general, se realiza estableciendo alianzas de benchmarking con un número limitado de empresas no competidoras. Además requiere sólo una inversión limitada, generalmente un equipo pequeño de profesionales que cuenta con suficientes recursos financieros y tiempo para establecer una continuidad de largo plazo.

Procesos

El benchmarking de procesos requiere un compromiso más profundo y experiencia. Significa buscar las mejores prácticas a través de estudios personales y observaciones de procesos administrativos estratégicos, sin importar quiénes sean los candidatos para las mejores prácticas. El benchmarking de procesos requiere la participación de expertos en la materia, el propietario de un proceso y el equipo de trabajo de dicho tienen que participar en la investigación. Además de un apoyo dedicado, el benchmarking de procesos requiere una amplia capacitación, visitas a las plantas y viáticos; es probable que también conduzca a cambios considerables en los procesos.

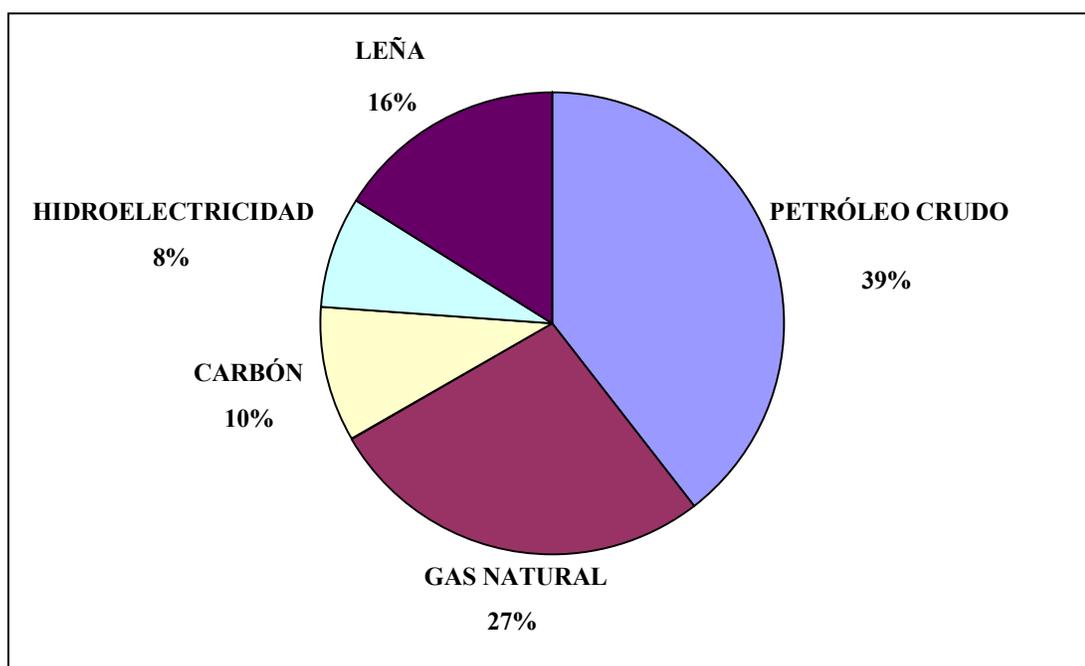
1.7. Indicadores de desempeño en Chile

Los datos presentados a continuación, corresponden al balance energético del año 2005 realizado en Chile por la Comisión Nacional de Energía¹⁵.

1.7.1. Energías primarias

Las principales energías primarias usadas en Chile son el petróleo crudo y el gas natural. Estas no se producen en su mayoría en el país, por lo tanto son importadas; lo que implica una alta dependencia de los mercados extranjeros. Mientras que la leña y la hidroelectricidad es la que más se produce en el país y sumadas corresponden a un cuarto del total de energía primaria. Es importante ver que Chile no es un exportador de energías primarias.

¹⁵ Balance Nacional de Energía; 2005; Comisión Nacional de Energía de Chile.



Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía.

Gráfico 1: Consumo bruto de energía primaria

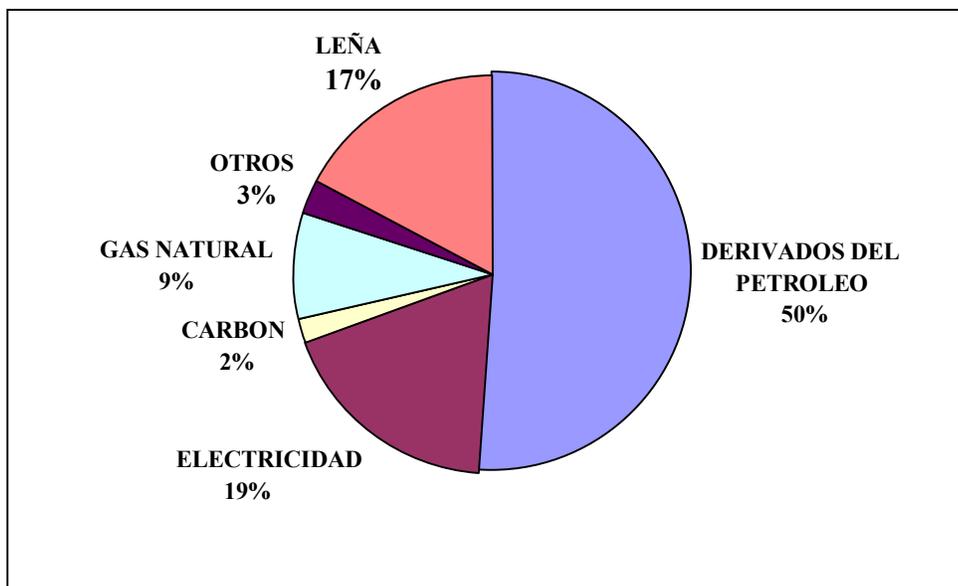
Tabla 2: Consumo bruto de energía primaria

Energía Primaria	Energía (tercalorías)			
	Producción Bruta	Importaciones	Stocks y Perdidas	Consumo Bruto
Petróleo Crudo	1.752	110.974	-277	113.002
Gas Natural	21.428	58.667	1.782	78.313
Carbón	2.838	25.253	515	27.575
Hidroelectricidad	22.924	0	308	22.616
Leña	45.988	0	0	45.988
TOTAL	94.929	194.894	2.329	287.493

Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía.

1.7.2. Energías secundarias

La gran mayoría de las energías secundarias usadas en Chile son producidas en el país, en base a las energías primarias tanto producidas como importadas. Existe una pequeña cantidad que es importada y otra que es exportada. Mientras que en los centros de transformación de energía se producen casi un tercio de éstas. La mitad del consumo de energía secundaria es de los derivados del petróleo y otra parte importante la ocupa la leña, electricidad y el gas natural.



Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía.

Gráfico 2: Consumo final energía secundaria.

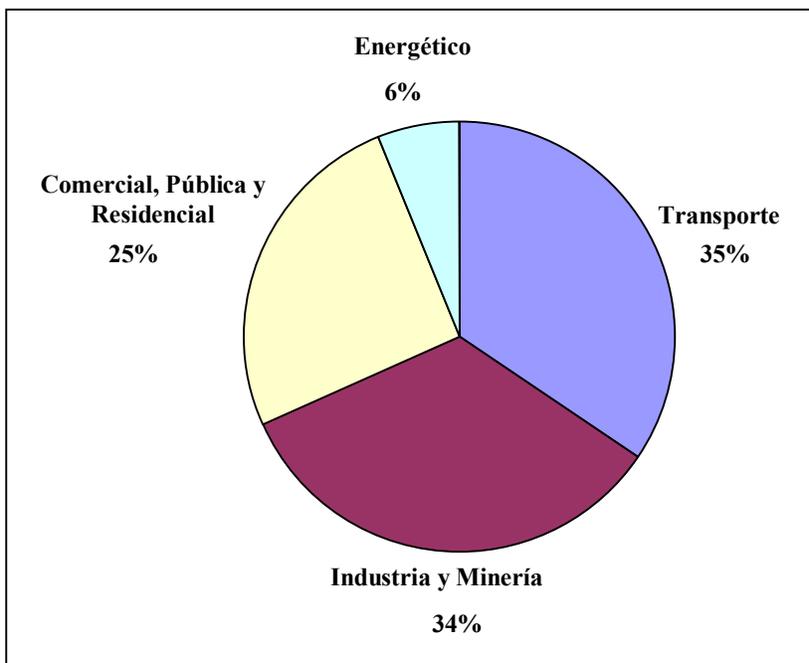
Tabla 3: Consumo final energía secundaria.

Energía Secundaria	Energía (tercalorías)						
	Producción Bruta	Importaciones	Exportaciones	Stocks y Perdidas	Consumo Final	Centros de Transformación	Consumo Total
Derivados del Petróleo	107.183	35.065	18.359	1.613	118.309	3.967	122.275
Electricidad	45.136	1.851	0	3.904	43.083	0	43.083
Carbón	27.575	0	0	0	4.454	23.121	27.575
Gas Natural	77.579	0	0	0	20.049	57.530	77.579
Leña	45.988	0	0	0	40.278	5.710	45.988
Otros	24.584	4.796	15.410	1.060	5.861	7.047	12.909
TOTAL	328.045	41.711	33.769	6.578	232.033	97.375	329.408

Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía.

1.7.3. Energía por sectores

Cuando se analiza el consumo energético sectorial, el transporte y la industria y minería son los más importantes consumidores, con alrededor de un tercio del total para cada uno. Por otro lado el sector comercial, público y residencial consume el cuarto del total.

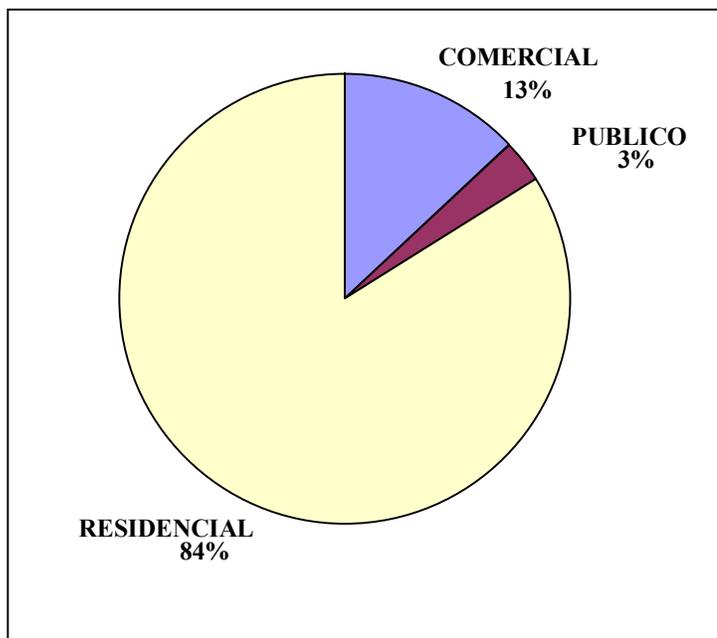


Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía.

Gráfico 3: Consumo secundario sectorial

1.7.3.1. Sector comercial, público y residencial

Dentro de este sector, la gran mayoría de la energía es consumida por el área residencial. Mientras que las áreas comercial y pública, representan el 15% aproximadamente.



Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía.
Gráfico 4: Consumo sector comercial, público y residencial.

Tabla 4: Consumo sector comercial, público y residencial.

Energético	Comercial	Público	Residencial	Total
Total derivados petróleo	2.110	271	9.359	11.739
Electricidad	4.740	1.352	7.124	13.216
Carbón	1	34	7	42
Gas corriente	105	0	107	212
Gas natural	699	159	3.837	4.695
Leña	0	0	29.067	29.067
Total	7.654	1.816	49.502	58.972

Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía.

1.8. Producción de servicios básicos domiciliarios

1.8.1. Electricidad

En Chile la electricidad procede de transformación de la energía potencial del agua en hidroeléctricas o de la energía térmica del carbón, gas natural o petróleo en las termoeléctricas.

1.8.1.1. Generación de CO₂

La emisión de CO₂ producto de la generación de electricidad va a depender del tipo de producción (hidráulica o térmica). Como promedio se puede obtener la siguiente cantidad de emisiones de CO₂:

1 kWh. de electricidad → 0,5 kg. CO₂¹⁶.

1.8.1.2. Generación de energía

Para la energía eléctrica se emplea como unidad de producción el kiloWatts-hora (kWh) definido como el consumo realizado durante una hora por una potencia de 1 kilovatio.

1 kWh = 860 kcal¹⁷

1.8.1.3. Costos en Santiago

El valor de la energía depende del área (comuna), además de otros tipos de recargos por el horario o los meses de invierno. Para el caso de este estudio se considerarán los valores¹⁸:

Energía base = 85 (\$/kWh) con IVA incluido.

Energía adicional de invierno = 135 (\$/kWh) con IVA incluido.

¹⁶ Calefacción y biomasa; centro Nacional de energías renovables; CENER; 1er encuentro sobre energía, municipio y calentamiento global, Madrid; febrero 2007.

¹⁷ Anexo 3

¹⁸ Chilectra S.A. [en línea] www.chilectra.cl; 1 de septiembre 2007.

1.8.2. Gas natural

El gas natural es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire.

1.8.2.1. Producción

El gas natural es una mezcla de gases que se encuentra frecuentemente en yacimientos fósiles, solo o acompañando al petróleo o a los depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se extrae, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 o 95%, y suele contener otros gases como nitrógeno, etano, CO₂, H₂S, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos más pesados.

Puede obtenerse también con procesos de descomposición de restos orgánicos (basuras, vegetales - gas de pantanos) en las plantas de tratamiento de estos restos (depuradoras de aguas residuales urbanas, plantas de procesado de basuras, de alpechines, etc.). El gas obtenido así se llama biogás.

Para uso doméstico, al igual que al butano, se le añade unas trazas de metil-mercaptano, para darle olor y así sea fácil detectar una fuga de gas y evitar su ignición espontánea.

1.8.2.2. Generación de CO₂

La combustión del gas natural, al ser un combustible fósil, produce un aporte neto de CO₂ a la atmósfera. Sin embargo, el gas natural produce mucho menos CO₂ que otros combustibles como los derivados del petróleo, y sobre todo el carbón. El factor de conversión de emisiones de CO₂ es el siguiente:

1 m³ de gas natural → 1,9 kg. de CO₂¹⁹.

¹⁹ Ver anexo 2.

1.8.2.3. Generación de energía

El gas natural es una energía eficaz, por sus precios competitivos y su eficiencia como combustible, y permite alcanzar considerables economías a sus usuarios. Como ventaja añadida es un combustible más versátil, que puede utilizarse en sistemas de generación como el ciclo combinado o la pila de combustible y su obtención es más sencilla en comparación con otros combustibles. Sin embargo, su contenido energético es bajo.

Suponiendo condiciones normales: 15°C de temperatura y 100 kPa de presión. Se tiene la siguiente conversión, para la producción de energía:

$$1 \text{ m}^3 \text{ de gas natural} = 9300 \text{ kcal}^{20}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de gas natural} = 10,8 \text{ kWh}^{21}$$

1.8.2.4. Costos en Santiago

Las tarifas para el gas natural, está a base de tramos. Por lo tanto es un valor compuesto, donde se cobran los excesos.

Tabla 5: Tarificación gas natural.

Tarifas por tramos en m³		
Tramos en m³		Tarifas [\$/m³]
Mayor que	Hasta	C/IVA
0	5	811
5	10	531
10	25	491
25	40	491
40	60	423
60	130	547
130	170	524
170	700	524
700	900	240
900	y más	461

Fuente: Metrogas S.A.;[en línea] www.metrogas.cl; 24 de agosto 2007

20 Metrogas S.A.;[en línea] www.metrogas.cl; 24 de agosto 2007

21 Ver Anexo 3

Por ejemplo, si se consumen 13 metros cúbicos de gas natural. Los primeros 5 m³ corresponden al primer tramo, los siguientes 5 al segundo tramos y por último los otros 3 al tercer tramo. La cuenta sería la siguiente:

$$\text{Total} = 5 * 811 + 5 * 531 + 3 * 491 = \$ 8.183$$

1.8.3. Agua potable

El agua potable es agua dulce que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades.

1.8.3.1. Producción

Al proceso de conversión de agua dulce en agua potable se le denomina potabilización. Suele consistir en un stripping de compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono.

En zonas con pocas precipitaciones y disponibilidad de aguas marinas se puede producir agua potable por desalinación. Este se lleva a cabo a menudo por ósmosis inversa o destilación.

En algunos países se añaden pequeñas cantidades de fluoruro al agua potable para mejorar la salud dental.

1.8.3.2. Costos en Santiago

El valor del agua potable depende de algunos factores como el grupo y zona, además hay algunos tipos de recargos como el caso de ser horarios punta, alcantarillado, grifos y sobre consumo. Para este caso se considerará de:

Agua potable base = 450 (\$/m³) con IVA incluido²².

²² Aguas Andina S.A.; [en línea] www.aguasandinas.cl; septiembre 2007

1.9. Aspectos estadísticos de edificios de oficina

Desde la década de los 50, Chile han experimentado un importante crecimiento de la población, junto a un proceso de urbanización de crecimiento exponencial como resultado de las migraciones desde las zonas rurales hacia la ciudad. En la actualidad, el 86,6% de la población chilena es urbana, el 40% de esta población está concentrada en la ciudad de Santiago, con más de 5 millones de habitantes²³.

La Región Metropolitana de Santiago tiene una superficie de 15.403 kilómetros cuadrados (2,13% del país), de los cuales cerca del 85% corresponden a zonas montañosas y el otro 15% al valle de la cuenca hidrográfica del río Maipo. En la actualidad, el promedio de densidad de Santiago es de 100 habitantes por hectárea, uno de los índices más bajos del mundo en capitales.

En este contexto es que comienzan a tomar vital importancia las edificaciones en altura, y la extensión de la ciudad hacia arriba. Los edificios residenciales, de oficina, comerciales, hoteles y otros, se reparten por la ciudad dependiendo del plano regulador de cada comuna, que regula la altura y características de los edificios.

Pese a lo anterior, no existe información exacta y actualizada sobre cuántos edificios existen en la capital, y cuántos de éstos son de oficina. Al buscar información en las municipalidades, éstas señalan no conocer cuántos edificios hay en sus comunas. Sólo en la página web del departamento de catastro de la municipalidad de Providencia se tiene el dato de que existen 309 edificios en donde existen oficinas y que hay 7024 oficinas, hasta el día 2 de julio del 2002²⁴.

Hay que tener en cuenta que hoy en día existen edificios inscritos en las municipalidades como de oficinas y también se usan edificios inscritos como residenciales antiguos, que son remodelados para oficinas.

23 Censo 2002 Instituto Nacional de Estadísticas, INE; Santiago Chile; Marzo 2003.

24 Departamento de catastro e inspección; dirección de obras Municipalidad de Providencia; [en línea] <http://catastro.providencia.cl>

Otra manera de obtener una mejor aproximación y más reciente de las cantidad de edificios en Santiago es en base a los informes generados por las consultoras internacionales dedicadas al mercado de oficinas. Para ello es necesario definir la clasificación usada por estas consultoras y explicar que las consultoras inmobiliarias entregan informes para el arriendo y venta de oficinas, por lo tanto no incluyen a los edificios corporativos.

Según estándares internacionales los edificios de oficina se clasifican en tres categorías²⁵:

- Categoría A: Esta categoría incluye edificios diseñados y construidos de acuerdo con los más altos estándares de calidad y una adecuada dotación de estacionamientos. Estos estándares tienen relación con la estructura y sistemas mecánicos del edificio, particularmente el tema de seguridad y de climatización, así como ascensores de última tecnología. Los edificios categoría A ofrecen plantas libres que permiten una eficiente lay-out, especialmente a grandes empresas. Es importante, desde luego, la ubicación del edificio, su entorno, accesos, cercanía a sistemas de transporte público, etc.
- Categoría B: Esta categoría incluye algunos edificios de tamaño considerable que presentan una menor tecnología que los de categoría A. La diferencia se ve reflejada en una menor dotación de los sistemas mecánicos, estacionamientos y climatización. Por otra parte, los edificios de categoría B ofrecen espacios más reducidos, tales como privados, que son tomados usualmente por usuarios de tamaño inferior al de las firmas más importantes.
- Categoría C: Esta categoría principalmente incluye los edificios más antiguos del centro de la ciudad y aquellos que corresponden a casas que han sido remodeladas y convertidas en oficinas. Representan en su mayoría espacios ineficientes para oficinas y con sistemas mecánicos, de aire acondicionado y dotación de estacionamientos deficientes.

El último informe de la consultora Mackenzie Hill tiene una base de datos de 111 edificios. Todos estos son de categoría A, de más de 2000 m² y construidos desde 1986 en adelante. Estos pertenecen a las comunas de Santiago, Providencia, Las Condes, Vitacura y

²⁵ Mackenzie Hill; Mercado de oficinas; Santiago Chile; diciembre 2006.

Huechuraba. Las comunas de La Florida, Nuñoa, Maipú y Conchalí no han sido incluidas en este informe por la escasa incidencia con respecto a las principales comunas.

Con respecto a la construcción de edificios se habla del boom entre los años 95 a 99, período en el que —en un panorama económico donde el país crecía a cerca del 7%— se llegó a producciones cercanas de los 300.000 m² anuales, propias de las urbes como Sao Paulo. La producción se consolidó en casi los 100.000 m² en el 2006 y se espera que para este año siga creciendo²⁶.

La participación por comuna durante el 2006 es la siguiente:

Tabla 6: Participación comunal de edificios de oficina.

Comuna	Superficie útil (m ²)	Participación (%)	Nº edificios
Las Condes	763.209	54,1	50
Santiago centro	281.288	19,9	18
Providencia	198.732	14,1	12
Huechuraba	131.606	9,3	28
Vitacura	37.142	2,6	3
TOTAL	1.411.977	100	111

Fuente: Mackenzie Hill; Mercado de oficinas; Santiago Chile; diciembre 2006

Por último, la venta promedio de las propiedades son de 49,3 UF/ m² y el arriendo 0,48 UF/ m² mensual. Ambas cantidades son sin IVA.

El informe de Colliers Internacional obtiene resultados similares, y calcula un precio promedio de arriendo en torno a los 0,52 UF/m² y de venta en 52,42 UF/m².²⁷

Otra consultora importante es CB Richard Ellis, cuyo informe considera los edificios de categoría B y las comunas excluidas del informe de Mackenzie Hill. La base de datos contempla un total de 1.051.123 m² útiles para los edificios de categoría A y 1.016.224 m² útiles para los de categoría B, no especifica la cantidad de edificios.

²⁶ Mackenzie Hill; Mercado de oficinas; Santiago Chile; diciembre 2006.

²⁷ Colliers Internacional ;The Knowledge Report; oficinas, Santiago. primer trimestre 2007

Se calcula el arriendo promedio de 0,44 UF/ m² y están en un rango de 0,30 a 0,65 UF/ m² y para el caso de la venta se estima un promedio de 49 UF/ m² y un rango de 39 a 62 UF/ m².²⁸

Descripción de las zonas

Tabla 7: Participación comunal de edificios de oficina.

Comuna	Superficie útil (m²)	Participación (%)
Las Condes	817.832	40
Providencia	625.101	30
Santiago centro	406.054	20
Vitacura	116.729	6
Huechuraba	60.971	3
La Florida	26.760	1,3
Nuñoa	10.000	0,5
Conchali	4.900	0,2
TOTAL	2.068.347	100

Fuente: Oficinas comerciales; CB Richard Ellis; Santiago de Chile; 2003

²⁸ Oficinas comerciales; CB Richard Ellis; Santiago de Chile; 2003

2. HABITABILIDAD EN UN EDIFICIO DE OFICINA

2.1. Balance energético

La actividad desarrollada en una oficina típica se centra en un trabajo de gestión administrativa, cada vez con más equipos informáticos, y reuniones de distinto índole, dependiendo del tipo de oficina. El consumo de energía en las oficinas depende principalmente de la demanda energética, del rendimiento medio de las instalaciones y de la gestión.

El rendimiento medio de las instalaciones depende de los rendimientos parciales de los equipos (energía útil / energía consumida).

Juega un papel fundamental la gestión del edificio, por lo que es necesario evaluar si el edificio funciona de acuerdo con las condiciones teóricas previstas, o si por el contrario, la realidad de funcionamiento del edificio difiere de lo estipulado. El principal problema es que las personas tienen hábitos de uso de la energía que se deben mejorar, siendo la formación una de las tareas más importantes de la gestión.

Por último, la demanda es la energía necesaria para mantener el confort dentro del edificio de oficina, calculada mediante algún programa computacional o alguna otra forma teórica. Esta generalmente depende de los siguientes factores:

- Ocupación: El número de horas que el edificio está ocupado.
- Clima: Se refiere a la temperatura exterior, la radiación solar, el número de horas de sol, etcétera.
- Funcionamiento: Se refiere al horario de las operaciones de la oficina, su número de ocupantes, la variabilidad de los mismos en el tiempo, hábitos de higiene, las condiciones de confort a mantener en su interior, etcétera.

- Envolvente: Las características térmicas de la capa envolvente del edificio, como son las fachadas, ventanas, cubierta y suelo. Además características como control de humedad, ventilación, iluminación natural y elementos básicos como el color de la pintura (claro u oscuro).
- Entorno: Forma, relación ancho/altura, vegetación, orientación, sombras (edificios vecinos o del mismo edificio).

Luego de contar con todos los factores determinados, se calcula la demanda energética necesaria para edificio. Posteriormente se elige la tecnología a usar para satisfacer esa necesidad. La demanda se puede dividir y analizar en los siguientes cuatro grupos:

- Alumbrado: Esto consiste tanto el alumbrado de las oficinas, generalmente con control manual, mediante pulsadores. Además de la iluminación de zonas comunes como pasillo y halls, mediante sistemas con uso de sensores de presencia o también en algunos casos existe el control de persianas automáticas en función de la cantidad de luz existente.
- Fuerza: Consiste en todos los usos energéticos del servicio común, para el desarrollo del funcionamiento y gestión del edificio. Esto incluye principalmente los ascensores, motores de distintas índoles, de cogeneración o transformadoras de energía, de emergencia. También sistemas de seguridad para el control de acceso, como son lectores de tarjetas con banda magnética/chip, lectores biométricos, cerrojos electrónicos, detectores de movimiento, activación/desactivación de alarmas, los sistemas de video-vigilancia con uso de cámaras, así como los sistemas de detección de fuego, humo, gas, inundación, entre otros dispositivos.
- Computación: Este ítem considera, generalmente, todo lo asociado a lo que se conecta a los enchufes, y que son directamente necesarios para producir los bienes y servicios de la oficina. Estos son los equipos informáticos, como computadores, laptops, impresoras, escáneres, etc.; además de fotocopiadoras, fax, televisores, cámaras de video y otros aparatos. También indirectamente se vincula a las maquinas usadas en catering, como los

refrigeradores, cafeteras, teteras y maquinas expendedoras de bebidas (frías y calientes) o alimentos.

- Climatización: Para analizar la demanda energética para esta categoría, se ven dos casos:

Invierno (calefacción)	Verano (refrigeración)
$\text{Demanda} = \text{perdidas} - \text{ganancias}$	$\text{Demanda} = \text{ganancias} - \text{perdidas}$

Donde las pérdidas dependen de las características de aislamiento e inercia, mientras que las ganancias de la iluminación, aparatos de computación, cantidad de personas, etc.

Esta la categoría la incluyen los sistemas de climatización y aire acondicionado y sistemas de sensores de temperatura, que pueden ser mediante un sistema centralizado o unidades individuales y los sistemas de ventilación y humidificación.

2.2. Estándar de confort en una oficina

Con la finalidad de que el desempeño de un individuo en su trabajo sea lo mejor posible y se convierta en beneficioso para su organización, los factores energéticos que lo rodean, tales como térmicos, acústicos y lumínicos, son muy importantes en el concepto y proceso de habitabilidad, ya que del grado de confort que tenga la persona en su lugar de trabajo influye en su estabilidad física, mental y social.

2.2.1. Confort térmico

El confort térmico se debe entender como el parámetro que indica cuando existe la posibilidad de que los trabajadores se encuentren a gusto con las condiciones ambientales en un lugar determinado. Estas manifestaciones son controladas por los parámetros medioambientales como la temperatura del aire, la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura radiante. Además de estos agentes determinantes en el confort térmico, hay que agregar que la edad, el sexo y factores personales como las respuestas a las sensaciones, las expectativas del lugar, tipo de usuario, tipo de actividad, vestimenta, etnia, constitución corporal, situación geográfica, aclimatación, etc. también influyen.

2.2.1.1. Temperatura del aire (t_a)

Existe una serie de recomendaciones para la temperatura ideal de una oficina en la actualidad, las cuales básicamente se centran en el rango que va de los 22°C para la temperatura de invierno, a los 24°C para el verano. No obstante, algunas veces estos niveles de temperatura pueden sufrir alteraciones provocadas por los sistemas de control utilizados; dicha variación puede oscilar $\pm 2^\circ\text{C}$.

Varios organismos han establecido criterios de diseño de temperatura del aire como, por ejemplo, las especificaciones del British Council of Office 27 (BCO), el cual establece un rango entre 20 y 24°C para el Reino Unido²⁹. Actualmente la norma internacional ISO 7730-1984 determina una temperatura operativa del aire: 22 °C ± 2 °C para invierno y 24,5 °C $\pm 1,5$ °C para verano. Además de una diferencia vertical de temperatura del aire entre 1,1 m y 0,1 metros (cabeza y tobillo) inferior a 3 °C y una temperatura de superficie de suelo entre 19 y 26 °C (29 °C para sistemas de calefacción por suelo).³⁰

Ahora bien, en relación a la normativa española, se toma como referencia el Real Decreto 486/97 que establece una temperatura entre los 17 y los 27°C para trabajos sedentarios, como oficinas y similares³¹.

29 Best Practice in the Specification of Offices;BCO Guide 2000.

30 Mark A. Stenberg et al; Evaluating Thermal confort and Radiant Heat Transfer in a Radiantly Heated Enclosure; 1992

31 Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales;[en línea] www.mtas.es: agosto 2007.

Otra recomendación proviene de Australia, donde la NSW WorkCover Authority establece dos temperaturas para el verano, la óptima y la aceptable, las cuales fluctúan entre 21 y 24°C para el primer tipo y entre 20 y 26°C para el segundo. Así mismo, determinan unos rangos de temperatura invernal, los cuales oscilan entre los 19 y los 22°C como temperaturas óptimas y, entre los 18 y los 24°C como temperatura aceptable³².

Adicionalmente, el estándar 55-1992 del American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) determina varios rangos de temperatura para invierno dependiendo de la Humedad Relativa (HR): entre 20 y 25°C (HR 30%); entre 20 y 24°C (HR 40-50%); entre 20 y 23°C (HR 60%). Mientras que para la temporada estival establece: entre 23 y 27°C (HR 30%); entre 23 y 26°C (HR 40,50 y 60%)³³.

2.2.1.2. Humedad relativa (HR)

Esta característica ambiental se define como la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire con relación al máximo que puede contener a una temperatura determinada. De aquí se deriva que si la humedad específica es constante, a cualquier variación de la temperatura, la humedad relativa (HR) se verá alterada. Se fija, además, que el 0% es para el aire completamente seco y el 100% para el aire saturado y que, a mayor temperatura del aire, éste retendrá más humedad que un aire frío.

Así pues, tanto la humedad alta como la baja pueden ser un problema, ya que tanto el exceso como la escasez de humedad producen situaciones igualmente incómodas para el usuario de oficinas o de cualquier otro recinto. La humedad relativa es un fenómeno difícil de encuadrar dentro de unos estándares, puesto que el confort térmico depende de varios factores, pero si se trata de establecer unos valores aproximados éstos estarían situados entre el 40 y el 80% de saturación para una temperatura del aire entre los 15°C y 30°C.

32 Guidelines for indoor thermal Comfort & Ventilation; The university of Sydney; [en línea], <http://www.usyd.edu.au>; agosto 2007.

33 Thermal Comfort in Offices and Retail Outlets; [en línea], www.labour.gov.sk.ca; agosto 2007.

Un aspecto interesante con respecto a este fenómeno y en relación con la normativa española, que es citada nuevamente por la UGT en uno de sus fascículos de salud laboral, es que da la impresión de haber sido establecida más a un nivel de control electrostático que como un parámetro de confort del usuario. Así se tiene que la HR sin peligro de electricidad estática deberá estar entre 30 y 70%³⁴. Asimismo, la NewSouthWales WorkCover Authority junto con el Federal Department of Employment and Industrial Relations de Australia establece un nivel óptimo de humedad relativa entre el 40 y el 60%, tanto para invierno como para verano³⁵. Adicionalmente, como ya se apuntó en la parte de temperatura del aire, el estándar 55-1992 del ASHRAE determina varios rangos de Humedad Relativa (HR) para invierno y verano dependiendo de la temperatura³⁶.

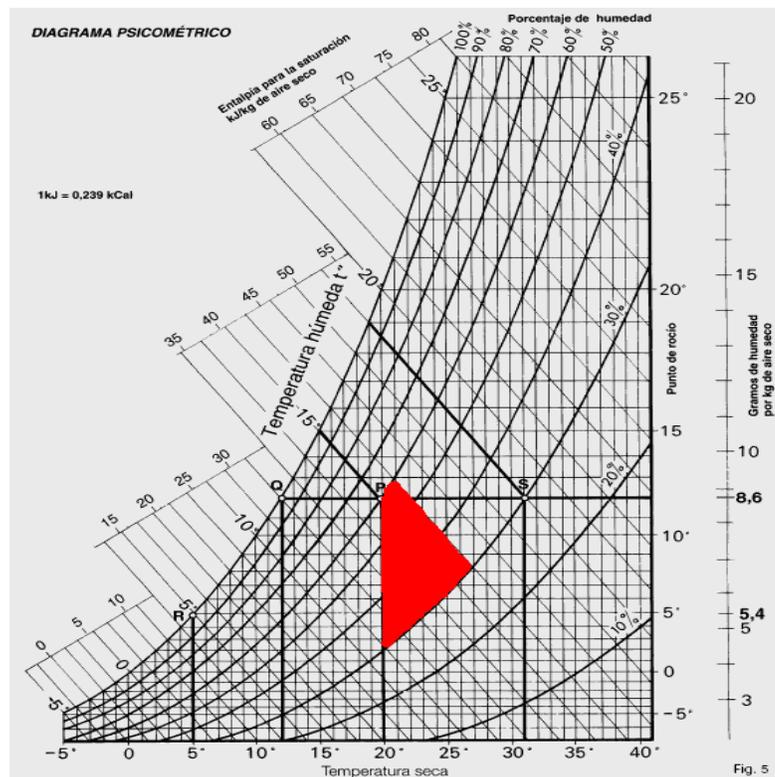


Figura 1: Diagrama psicrométrico y zona de confort (color rojo) con aire quieto.

34 Boletín nº38 2005, Prevención riesgos laborales UGT; [en línea], www.ugt.es; agosto 2007.

35 Guidelines for indoor thermal Comfort & Ventilation; The university of Sydney; [en línea], <http://www.usyd.edu.au>; agosto 2007.

36 Thermal Comfort in Offices and Retail Outlets; [en línea], www.labour.gov.sk.ca; agosto 2007.

2.2.1.3. Movimiento de aire (va)

El efecto del movimiento del aire se deja sentir en la pérdida y ganancia de calor del cuerpo, de manera que en el caso de que la temperatura del aire y la humedad sean elevadas, el roce del movimiento del aire sobre la piel, facilite la cesión de calor y humedad, produciendo sensación de frescura.

La conjunción de estos tres factores, temperatura del aire, humedad y movimiento del aire pueden provocar diferentes reacciones en el usuario. La recomendación de ASHRAE³⁷ establece como máximo en 0,8 m/s, y la norma internacional ISO 7730-1984 una velocidad del aire entre un rango de 0,1 y 0,18 m/s³⁸. Por otro lado, la normativa española regula las condiciones de movimiento de aire, estableciéndolas en el R.D. 486/97 y las diferencia de la siguiente manera³⁹:

Velocidad del aire para exposiciones frecuentes y continuadas expresadas en m/s:

- Trabajos en ambientes no calurosos: < 0,25
- Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: < 0,5
- Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: < 0,75

2.2.1.4. Temperatura radiante (tr)

La temperatura promedio de las superficies que encierran un espacio es lo que se denomina temperatura radiante (tr). Su influencia se determina en dos casos: uno, por el calor perdido por la radiación del cuerpo a las superficies; y dos, el calor perdido por conducción cuando el individuo está en contacto con las mismas.

Estas pérdidas de calor son difíciles de cuantificar porque varían con la posición del individuo en el espacio y por consiguiente con el ángulo entre el individuo y las superficies circundantes.

37 Thermal Comfort in Offices and Retail Outlets; [en línea], www.labour.gov.sk.ca; agosto 2007.

38 Mark A. Stenberg et al; 1992; Evaluating Thermal confort and Radiant Heat Transfer in a Radiantly Heated Enclosure

39 Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; [en línea], www.mtas.es ; agosto 2007.

El cuerpo humano tiene su propio metabolismo que lo ayuda a mantenerse con vida, no obstante, de la energía generada por el trabajador, un porcentaje superior al 70% es energía calórica; dando como resultado que del mismo modo que el cuerpo humano genera calor, también lo pierde. A continuación se detalla su efecto:

- Radiación: Es la transferencia de calor a través de rayos emitidos directamente desde el cuerpo humano a los objetos circundantes. Si por ejemplo, se aproxima una mano a una pared, sentirá una sensación de frío cuando los rayos de calor pasen de su mano a la pared, los objetos fríos atraen el calor de su cuerpo.
- Convección: Es la transferencia de calor por medio del aire circundante. Así por ejemplo, un ventilador provoca frío porque la corriente del aire atrae el calor de su cuerpo.
- Evaporación: Es la transferencia de calor provocado por el agua que seca el mismo.

El criterio más aceptado son el conjunto de normas de confort térmico recomendadas en ISO 7730-1984 que establece que la asimetría de temperatura radiante debida a planos verticales (ventanas, puertas, etc.) inferior a 10 °C y que la asimetría de temperatura radiante debida a planos horizontales (techos) inferior a 5 °C⁴⁰.

2.2.1.5. Calidad del aire

La calidad del aire se entiende como las cantidades mínimas de aire fresco, las que dependen de los niveles de ocupación y del uso del espacio, por ejemplo, respecto de fuentes específicas de contaminación. Sin embargo, su evaluación es una tarea bastante difícil, situación que lleva generalmente a que los problemas de la contaminación interior se limiten a una sola solución, la renovación del aire, cuya valoración se hace como caudal absoluto expresado en m³/h o l/seg y relacionado con la cantidad de personas. El sistema de ventilación por piso entrega aire fresco directamente a la zona de respiración de los ocupantes (según ASHRAE definida desde los 10 cms. hasta los 170 cms.).

40 Byron W. Jones (Ph.D) et. al.; Simplified Method to Factor ; Mean Radiant Temperature (MRT) into Building and HVAC System Design; Department of Mechanical Engineering 302 Durland Hall Kansas State University Manhattan.

Normativas sobre aportes mínimos de aire existen en muchos países, pero varían de unos a otros así como entre zonas de no fumadores y de fumadores (intervalo entre 2,5 - 20 litros por segundo y por persona).

La International Energy Agency (IEA) indica que un aporte de aproximadamente 8 litros por segundo (cerca de 30 m³/h) por persona (actividad sedentaria) será adecuada para extraer los bioefluentes humanos (olores) en áreas de no fumadores. En zona de fumadores el aporte de aire fresco debe ser mayor. Por su parte el estándar ASHRAE 62-1989 propone para obtener una calidad aceptable de aire interior una serie de aportes mínimos de aire fresco⁴¹. Estos valores pretenden mantener el CO₂ y otros contaminantes dentro de un adecuado margen de seguridad en función de una variabilidad en el tipo de espacios interiores, presuponiendo en la mayoría de los casos que la contaminación producida es proporcional al número de personas que los ocupan. Así para una oficina se recomienda un aporte mínimo por persona de 10 l/seg (cerca de 35 m³/h) y para una sala de fumadores este valor debe aumentarse hasta 30 l/seg por persona. Los estándares internacionales de cantidad de aire fresco para las oficinas van entre 7 y 8 litros por segundo por persona, o entre 1 y 2 cambios de aire por hora (CIBSE, BRE, Reino Unido).

Adicionalmente el BCO⁴² sugiere entre los 8 y 12 l/seg/persona. En España, el R.D. 486/97 marca una normativa para la renovación de aire, establecida como de 30 m³/h de aire limpio por trabajador en los casos de trabajo sedentario en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y 50 m³/h en los restantes casos⁴³.

La OMS en una de sus guías para el establecimiento de la calidad del aire recomienda unos valores para proteger la salud pública para 28 sustancias, algunas de las más significativas para la calidad del aire se recogen en las siguientes tablas, que expresan valores de referencia para algunas sustancias no cancerígenas en aire según la OMS. (En esta tabla no aparece el CO₂, ya que la mayoría de autores no consideran como un contaminante dado su origen humano)

41 Thermal Comfort in Offices and Retail Outlets; [en línea], www.labour.gov.sk.ca; agosto 2007.

42 Best Practice in the Specification of Offices;BCO Guide 2000

43 Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; [en línea], www.mtas.es.; agosto 2007.

Tabla 8: Compuestos inorgánicos

Compuesto	Valor de referencia	Periodo de tiempo
Cadmio	1 – 5 ng/m ³	1 año (áreas rurales)
	10 – 20 ng/m ³	1 año (áreas urbanas)
Dióxido de azufre	500 µg/m ³	10 minutos
	350 µg/m ³	1 hora
Dióxido de nitrógeno	400 µg/m ³	1 hora
	150 µg/m ³	24 horas
Monóxido de carbono	100 mg/m ³	15 minutos
	60 mg/m ³	30 minutos
	30 mg/m ³	1 hora
	10 mg/m ³	8 horas
Ozono	150 µg/m ³	1 hora
	100 – 120 µg/m ³	8 horas
Plomo	0,5 - 1,0 µg/m ³	1 año

Fuente: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; [en línea], www.mtas.es.

Tabla 9: Compuestos orgánicos

Compuesto	Valor de referencia	Periodo de tiempo
Cloruro de metileno	3 mg/m ³	24 horas
Estireno	800 µg/m ³	24 horas
Formaldehído	100 g/m ³	30 minutos
Sulfuro de carbono	100 g/m ³	24 horas
Tetracloroetileno	5 mg/m ³	24 horas
Tolueno	8 mg/m ³	24 horas
Tricloroetileno	1 mg/m ³	24 horas

Fuente: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales; [en línea], www.mtas.es.

2.2.2. Confort de iluminación

La iluminación no sólo entra a la retina para permitir observar el mundo exterior, sino que por medio de ella el cuerpo se regula, afectando algunos de los procesos metabólicos, los llamados efectos no visuales de la luz. Así pues el confort de iluminación radica en la calidad con que los ojos captan la información que viene de su entorno. Para ello es necesario definir la iluminancia.

Iluminancia (E): Razón entre el flujo luminoso recibido por un elemento de superficie que contiene el punto y el área de este elemento. Unidad de medida: lux (lx) igual a lumen/m².⁴⁴

La cantidad de 500 lux está establecida como nivel mínimo para espacios con exigencias visuales altas, según el Real Decreto 486/1997⁴⁵, citado por la UGT en su fascículo 22 de Salud Laboral, donde además se señalan 3 zonas de exigencias adicionales, siendo la moderada con 200 lux, la que también se ajustaría a las oficinas. Adicionalmente, el BCO⁴⁶ recomienda para un espacio abierto de oficinas entre 300 y 500 lx, señalando además que la norma alemana establece un nivel de iluminancia entre 400 y 500 lx, mientras que en EE.UU. es de 500 lx. Los mismos valores de 500 lx son establecidos por el código británico de iluminación interior⁴⁷. Asimismo, el valor de 500 lx es mencionado como un nivel aceptable en la norma francesa. No obstante hay quienes señalan niveles mucho más altos, como las recomendaciones internacionales establecidas en el CIE, el cual es de 750 lx para oficinas generales extensas, aunque para las oficinas normales, mecanografiado y sala de proceso de datos señala 550 lx., según informe de la Comisión Internacional de la Iluminación⁴⁸.

Mientras, en Chile la norma establece iluminancias de servicios para diversas tareas. La iluminancia de servicios es la iluminancia media que se alcanza a través del ciclo de mantenimiento de la instalación promediada sobre el área pertinente. Ella se refiere al espacio interior total, o zonas de un espacio interior, y generalmente en el plano horizontal de trabajo a

44 NCH 2698 of 2002; Ergonomía – Principios aplicados a la interacción visual – la iluminación en sistemas de trabajo interior

45 Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales;[en línea] www.mtas.es ; agosto 2007.

46 BCO Guide 2000 “Best Practice in the Specification of Offices” presented by Tim Battle.

47 The Chartered Institution of Building Services Engineers;CIBSE (2001);CIBSE Society of Light and Lighting; [en línea] www.cibse.org; agosto 2007.

48 Enciclopedia OIT; Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo; volumen II, parte VI, cap. 46; Juan Guasch Farras; Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001

una altura de 0,85 m sobre le piso. Cuando el área de trabajo está en diferente posición, la iluminancia recomendada se refiere a esta posición.

Los valores están relacionados con los requisitos visuales de la tarea, experiencia práctica y el uso eficiente de la energía. Ellos ayudan a proveer un rendimiento visual satisfactorio y contribuyen a la comodidad del usuario.

Tabla 10: Rango de iluminancia para el espacio interior de edificios en Chile.

tipo	Rango de iluminancia (lux)
Edificio en general	
- áreas de circulación, corredoras	50-150
- escaleras y escaleras mecánicas	100-200
- guardarropas y lavatorios	100-200
- almacenes y depósitos	100-200
Oficinas	
- oficinas generales, salas de digitacion, salas de computación	300-750
- oficinas generales de planificación detallada	500-1000
- oficinas de dibujo	500-1000
- salas de conferencia	300-750

Fuente: NCH 2698 of 2002; Ergonomía – Principios aplicados a la interacción visual – la iluminación en sistemas de trabajo interior

2.2.3. Confort acústico

Se puede establecer una diferenciación de los fenómenos relacionados con el entorno acústico de los espacios. Dos elementos delimitan el confort acústico en un ambiente: el sonido y el ruido. El sonido es aquel que favorece la realización del trabajo o el que los usuarios disfrutan; mientras que el sonido que distrae o molesta es simplemente ruido.

Existe un sistema que define el nivel de presión acústica sobre la sensibilidad del oído en función a su frecuencia, llamado decibelio dB, cuya medida está basada en las curvas de Fletcher y Munson⁴⁹. El oído humano no es igual de sensible a todas las frecuencias que pueden acompañar a un sonido, por lo que si éste se presenta con la misma presión sonora aunque con

⁴⁹ Norma básica de la edificación nbe-ca-88, sobre condiciones acústicas en los edificios, ISOVER

diferente frecuencia, no será perceptible para el oído humano de la misma forma. Por consiguiente, el definirlo sólo en dB resulta incompleto si se habla de su audición.

Así pues, la presión de sonido o nivel de intensidad es medido en decibelios (dB), siendo ésta una escala logarítmica, no lineal, es decir, el aumento en 10 dB, equivale a multiplicar la intensidad por diez, por ejemplo, 90 dB son diez veces más intensos que 80 dB.

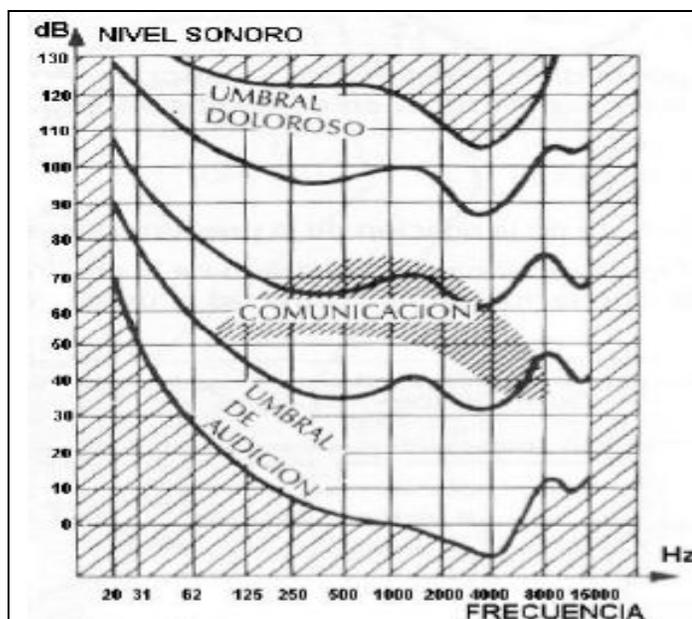


Figura 2: Curvas de Fletcher y Munson.

En cuanto a las recomendaciones para niveles sonoros en una oficina se recomienda⁵⁰, para una oficina ejecutiva, 35 dB, para una oficina privada o semi privada, 43 dB, para una oficina estándar, 48 dB, indicando finalmente que 65 dB es un nivel insatisfactorio. En tanto que el BCO⁵¹, recomienda un nivel continuo equivalente de presión acústica (LAeq) para la oficina abierta entre 45 y 50 dB, y para una oficina celular entre 40 y 45 dB. También se habla sobre las condiciones acústicas en los edificios administrativos y de oficinas, establece tres niveles máximos de inmisión de ruido aéreo, recomendando no sobrepasar dichos niveles durante el día, establecidos de la siguiente forma: despachos profesionales 40 dB, oficinas 45 dB y zonas comunes 50 dB⁵².

50 Frank A. Lewis; "Noise Levels in the Office" ;región III del Federal Employee Occupational Health, (FEOH).

51 BCO Guide 2000 "Best Practice in the Specification of. Offices" presented by Tim Battle

52 Norma básica de la edificación nbe-ca-88, sobre condiciones acústicas en los edificios, ISOVER;

Mientras, en Chile la norma establece que sólo se deben considerar los niveles de presión acústica en el rango de frecuencias que corresponde al rango de bandas de octava de frecuencias centrales estandarizadas comprendidas entre 125 y 4000 Hz⁵³. Además los siguientes niveles sonoros del ambiente:

Tabla 11: Nivel sonoro aceptable del ambiente

Tipo ambiente	Decibeles (dB)
Muy tranquilo	30 o menos
Tranquilo	30 a 40
Moderadamente tranquilo	40 a 50
Ruidoso	50 a 60
Muy ruidoso	60 a 70
Insoportable	70 a 80
inadmisible	Mas de 80

Fuente: NCH 352 of 61; Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios.

También define una forma distinta de medición, la cual se define de la siguiente manera. Nivel de intensidad (subjetiva) de un sonido: (o nivel de intensidad sonora), es igual al nivel de presión de un sonido de onda sinusoidal plana de frecuencia de 1000 c/s cuya intensidad es subjetivamente idéntica a la del sonido considerado. La unidad de intensidad sonora es el fon.

Tabla 12: Nivel de intensidad de los sonidos

Reacción de los auditores	Fon
No hay reclamos	0 a 20
No hay motivo fundado para reclamos	20 a 30
Probables reclamos con motivo fundado	30 a 40
Reclamos perfectamente justificados	40 o mas

Fuente: NCH 352 of 61; Condiciones acústicas que deben cumplir los edificios.

Y con este sistema de medición, la norma chilena establece un nivel sonoro ambiente aceptable de 30 a 40 fon, para salas de estar y oficinas privadas y de 40 a 50 fon para oficinas con acceso al grueso público.

⁵³ NCH 2803 of 2003; Acústica – verificación de la calidad de la acústica de las construcciones

2.2.4. Factores de confort

Los factores de confort son aquellas condiciones propias de los usuarios que determinan su respuesta al ambiente, son independientes de las condiciones exteriores y mas bien se relacionan con las características biológicas, fisiológicas, sociológicas o psicológicas de los individuos. Se pueden clasificar del modo siguiente:

PERSONALES:

- Metabolismo: actividad, alimentación y ropa.
- Edad, sexo y constitución corporal.
- Color de la piel.
- Historial térmico.
- Tiempo de permanencia / aclimatación.

SOCIO CULTURALES:

- Expectativas de confort para el momento y lugar considerados.

2.3. Síndrome del edificio enfermo

2.3.1. Definiciones

La calidad del aire interior recibe mucha atención últimamente y con razón. Cada vez existen más pruebas de que la calidad del ambiente interior puede tener efectos profundos en la salud de los ocupantes de los edificios. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que hasta el 30% de los edificios de oficina mundialmente pueden tener problemas significativos, y que entre el 10 y el 30% de los ocupantes de los edificios sufren efectos de salud que están, o se percibe que están, relacionados con una calidad de aire interior deficiente.

La Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) ha realizado estudios que no solo revelan la presencia de aire interior contaminado, como ya se tenía conocimiento, sino que además revelan que los niveles de contaminación podrían ser de 2 a 5 veces y, en ocasiones, más de cien veces mayor que los niveles exteriores.

Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) es el nombre que se da al conjunto de síntomas diversos que presentan los individuos en estos edificios y que no van en general acompañados de ninguna lesión orgánica o signo físico, diagnosticándose, a menudo, por exclusión. La OMS lo ha definido como un conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en estos espacios cerrados.

La OMS diferencia entre dos tipos distintos de edificio enfermo. El que presentan los edificios temporalmente enfermos, en el que se incluyen edificios nuevos o de reciente remodelación en los que los síntomas disminuyen y desaparecen con el tiempo, aproximadamente medio año, y el que presentan los edificios permanentemente enfermos cuando los síntomas persisten, a menudo durante años, a pesar de haberse tomado medidas para solucionar los problemas.

2.3.2. Características comunes a los edificios enfermos

Normalmente para ningún edificio debe considerarse como evidente su pertenencia a la categoría de edificio permanentemente enfermo. Sin embargo, en la práctica, estos edificios tienen, según la OMS, una serie de características comunes:

- Casi siempre tienen un sistema de ventilación forzada que generalmente es común a todo el edificio o a amplios sectores y existe recirculación parcial del aire. Algunos edificios tienen la localización de las tomas de renovación de aire en lugares inadecuados mientras que otros usan intercambiadores de calor que transfieren los contaminantes desde el aire de retorno al aire de suministro.
- Con frecuencia son de construcción ligera y poco costosa.
- Las superficies interiores están en gran parte recubiertas con material textil, incluyendo paredes, suelos y otros elementos de diseño interior, lo cual favorece una elevada relación entre superficie interior y volumen.
- Practican el ahorro energético y se mantienen relativamente calientes con un ambiente térmico homogéneo.
- Se caracterizan por ser edificios herméticos en los que, por ejemplo, las ventanas no pueden abrirse.

2.3.3. Síntomas y diagnóstico

Una definición en la cual coinciden el Instituto Nacional de Salud Ocupacional de EE.UU. (NIOSH) y la OMS sostiene que el edificio es sospechoso de padecer el Síndrome del Edificio Enfermo cuando por lo menos el 20 % de los ocupantes presentan quejas de múltiples problemas crónicos de salud. Otro de los factores claves es si los síntomas desaparecen cuando la persona sale del edificio y reaparecen cuando vuelve y permanece en el lugar.

La sintomatología a observar para poder diagnosticar un edificio enfermo es muy variada, pudiendo llegar a ser compleja, ya que suele ser el resultado de la combinación de distintos efectos. Los síntomas más significativos incluyen:

- Irritaciones de ojos, nariz y garganta.
- Sensación de sequedad en membranas mucosas y piel.
- Ronquera.
- Respiración dificultosa.
- Eritemas (Erupciones cutáneas).
- Comezón.
- Hipersensibilidades inespecíficas.
- Náuseas, mareos y vértigos.
- Dolor de cabeza.
- Fatiga mental.
- Elevada incidencia de infecciones respiratorias y resfriados.

En ciertos edificios estos síntomas pueden estar además potenciados por algunas enfermedades comunes del individuo, tales como la sinusitis y algunos tipos de eczemas.

Otras características son que los síntomas son más frecuentes por la tarde que por la mañana, el personal de oficina es más propenso que el directivo a experimentar molestias, éstas son más frecuentes en el sector público que en el privado y las quejas son más abundantes cuanto menos control tiene la gente sobre su entorno.

Casos más graves recuerdan episodios como "la fiebre del deshumidificador", "la fiebre de Pontiac", o "la enfermedad del legionario" de graves consecuencias, causando inclusive la muerte de muchos de los afectados.

2.3.4. Posibles factores de riesgo

Los contaminantes pueden tener su origen en una variedad de factores. Para ello se diferencian los siguientes tipos:

Factores físicos o de confort: Como malas condiciones internas de higiene, falta de medios filtrantes, filtros en mal estado, mala ventilación, cambios bruscos de temperatura, humedad relativa, velocidad media del aire, falta de mantenimiento a los sistemas de acondicionamiento del aire.

Factores químicos: Altas concentraciones de dióxido de carbono indican que no existe suficiente aire de renovación, lo que permite la acumulación de otros contaminantes tales como el monóxido de carbono, dióxidos de azufre y óxidos de nitrógeno. Además, pueden llegar a ser factores las fotocopiadoras (emiten ozono que pueden causar fatiga, vértigo y dolores de cabeza) y las computadoras personales (el síndrome es más común entre los usuarios de computadoras que entre los que no trabajan con ellas, aunque se encuentren dentro del mismo edificio).

Factores microbiológicos: Dentro de éstos se encuentran los más peligrosos, tales como hongos, altas concentraciones de polen, esporas de moho y muy principalmente la bacteria Legionella.

Factores psicosociales: Pueden desempeñar un papel importante aumentando el estrés del personal. La organización del trabajo, la insatisfacción en general, el tiempo de trabajo, el contenido de la tarea, la comunicación y relación, etc. pueden afectar haciendo a la gente más influenciado por los factores ambientales.

Las fuentes que contribuyen al síndrome se relacionan al diseño del ambiente construido. Estas pueden venir desde dentro del edificio o de su exterior e incluir combinaciones de algunos o todas las siguientes causas:

- Perfumes artificiales, humo de tabaco, polvo, materiales de limpieza, los pesticidas y cosméticos.
- Pobre o inapropiada iluminación, contraste insuficiente, brillos excesivos y destellos.
- Mala acústica, ruidos superiores a los recomendados, infrasonidos, ruidos de baja frecuencia y tonos puros.
- Mantenimiento deficiente de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado o sistemas mal calculados.
- Desechos metabólicos de los ocupantes (respiración y transpiración);
- Agua estancada o materiales húmedos.
- Pobre separación de las zonas de calidad de aire especial, como salas de combustión, salas de máquinas, baños y cocinas, zona fumadores sin ventilación independiente.
- Cambios bruscos de la cantidad de personas o de características de la oficina.
- Materiales de construcción y decoración del edificio pueden ser la causa de compuestos tales como formaldehído, vapores orgánicos, polvos y fibras (asbestos, vidrio, textiles). Además compuestos orgánicos volátiles (COV) en pinturas y barnices.
- Contaminantes proceden del exterior del edificio como pueden ser los humos de escape de automóviles, el dióxido de azufre o el radón.
- Las vibraciones producidas en las cercanías de un edificio o debidas a máquinas instaladas en el mismo también pueden afectar.

2.3.5. Costos económicos

Los efectos de un “edificio enfermo” inciden en la salud y bienestar de los ocupantes, producen daños a la propiedad, reducen la productividad, aumentan el ausentismo laboral y producen alta rotación de los empleados. Desde el punto de vista económico, muchos de los costos derivados de estos daños son tangibles y fáciles de cuantificar y valorizar, mientras que otros son costos indirectos muy difíciles de identificar.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

3.1. Estrategia de análisis

3.1.1. Exposición de problema e hipótesis

Desde hace algún tiempo que los diarios y los noticiarios dedican varias páginas y minutos para explicar la crisis energética por la que pasa el país. Altos precios del petróleo, altos impuestos a los derivados del crudo, el corte del gas argentino, las presiones de Bolivia para el cambio de mar por gas, pocas lluvias y embalses secos, así como los polémicos proyectos para construir hidroeléctricas han sido temas recurrentes en la agenda noticiosa. Algunos enfoques que comúnmente se destacan son que existe una escasez energética, que se necesita comprar más o tal vez que se deba diversificar más la matriz energética.

Pero la seguridad energética de una nación y sus políticas deberían ser también la utilización inteligente y eficiente de ésta. Fomentar a que se bajen los consumos energéticos y los costos, pero sin descuidar el confort de los usuarios ni la producción de bienes y servicios.

Al analizar los consumos energéticos sectoriales, se puede ver que un cuarto del total corresponde al sector comercial, público y residencial. Es en este grupo donde los usuarios juegan un rol fundamental, ya que son éstos lo que pueden tomar medidas muy pequeñas y sin un gran costo para reducir significativamente los consumos.

Los consumos energéticos de un edificio se van a definir durante su ciclo de vida. En las primeras etapas (materiales, diseño y construcción) es cuando las decisiones toman mayor importancia y se pueden tener mejores resultados. Luego está la etapa de la operación del edificio, es la más larga y es el punto donde los administradores y usuarios toman un papel fundamental.

Se ha detectado además interés por parte de instituciones profesionales y empresariales respecto al etiquetado en niveles de calidad edilicia, considerándose que existe un campo potencialmente favorable al desarrollo de métodos de evaluación.

Por lo anteriormente mencionado es que parte la inquietud de analizar el consumo energético en edificios. En estos días los costos asociados a energía son muy altos, llegando a ser un porcentaje importante del costo o arriendo de una oficina; considerando además que deberá ser costeadada por toda la vida útil del edificio. A la hora de tomar la decisión del arriendo o compra de una propiedad, el usuario tendrá que responder las siguientes tres preguntas:

- ¿La propiedad satisface las necesidades?
- ¿Se está dispuesto a pagar el arriendo o compra del inmueble?
- Y por último ¿Se está dispuesto a pagar los costos de energía y agua mensualmente, para estar en condiciones de confort?

Los datos o información necesaria para responder las primeras dos preguntas están a la mano del usuario. Pero para la última, éste no contará con ninguna información.

Para poder cuantificar los consumos se considera como primer paso la construcción de una unidad patrón o un estándar de medición con sus respectivos indicadores.

La hipótesis a utilizar es que en los edificios de oficina de Santiago, el principal consumo energético es en base a electricidad y gas natural, los que puedan ser cuantificables y medibles tanto física como monetariamente. Esto se puede asumir también para el consumo de agua potable. Además se asume que los edificios adquieren estos servicios de las empresas distribuidoras respectivas.

3.1.2. Objetivos generales y específicos

El objetivo general de la investigación es analizar el comportamiento energético e hídrico de algunas edificaciones, el que permita establecer un estándar o línea de base del desempeño energético y así poder contar con índices que puedan ser comparables entre un edificio y otro; de éstos se podrá desprender un análisis dependiendo del uso y lugar de ubicación del edificio. Además será posible conocer la relación que existe entre confort y gasto energético.

En general los estudios de eficiencia energética tienen como objetivo la evaluación de las condiciones de consumo energético y de agua del edificio. El fin de esto es poder formular una serie de propuestas de actuación y planes de gestión que permitan la reducción de los costos asociados al uso de éste. Como lo muestra Figura 3 .

Los objetivos específicos son:

- Sistematización de la información disponible referida a sistemas de evaluación de lo ya construido.
- Que la construcción de criterios e indicadores de consumo sean compatibilizando los tradicionales con aquellos propuestos desde ámbitos internacionales de investigación, surgidos en las últimas décadas.
- Aplicación del método con el fin de elaborar conclusiones pertinentes en términos de políticas urbanas.
- Crear conciencia en los usuarios y en los administradores de los edificios de que la buena operación es responsabilidad de ellos, desde el momento de decidir qué edificio usar y cómo.
- Fomentar el uso y compra de los edificios que tengan mejores índices de desempeño y sea un parámetro importante a la hora de la decisión.
- Mostrar cuáles son los principales usos hídricos y energéticos de un edificio de oficinas y la dinámica del sistema dentro de éstos. Además del análisis de los costos asociados.

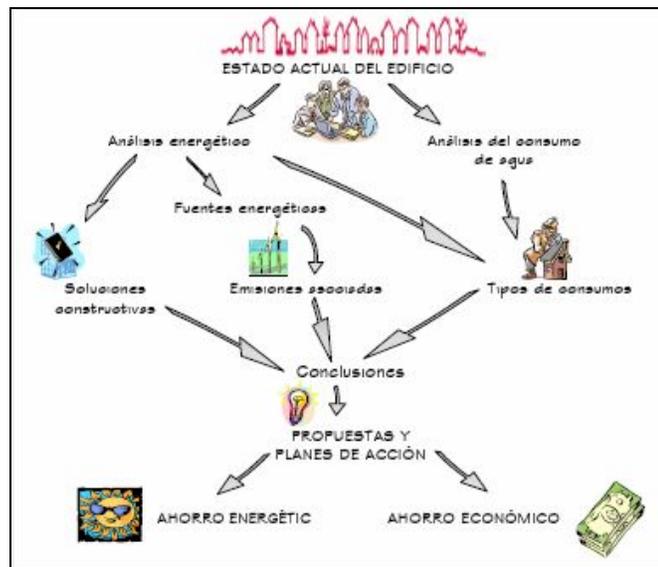


Figura 3: Evaluación de las condiciones de consumo energético y de agua del edificio.

Es importante destacar que este informe no pretende dar soluciones energéticas, ni entregar una guía de eficiencia energética para cada edificio, sólo realiza un análisis en términos globales.

3.2. Levantamiento de datos.

Para la realización del presente estudio se definieron primero los edificios de oficina como el elemento a analizar. Luego la ciudad de Santiago, con zona térmica 3, como el lugar geográfico de análisis. El estudio corresponde a la evaluación de los consumos energéticos e hídricos de los edificios, pero sólo de la suministrada por terceros, no a la posiblemente generada en el edificio o de alguna otra naturaleza. Es necesario aclarar que el presente estudio se realiza con los consumos reales de energía y no con los consumos proyectados, ya que ambos pueden diferir mucho, por algún cambio de las condiciones iniciales o un uso incorrecto por parte de los usuarios y administradores del edificio.

Para ello se usará la herramienta llamada benchmarking, con un análisis de clasificación según sus metas. Esto debido a que se realiza de una manera gradual, considerando que este informe es sólo un primer paso. Por lo tanto se usará el benchmarking de desempeño para

identificar los consumos, con respecto a las mediciones realizadas. Es importante recalcar que este tipo de estudio se debe ir actualizando cada cierto tiempo, debido a que las condiciones de confort y necesidades energéticas e hídricas van cambiando en el tiempo.

La recopilación de datos se realiza mediante los proveedores de suministros y algunos centros de información como son las municipalidades, ya que no es fácil que los administradores de edificios proporcionen dicha información.

Los edificios de oficina se abastecen de distintas energías como el petróleo, gas natural, gas licuado, gas ciudad, electricidad, parafina, entre otros, para su funcionamiento. Para este estudio se analizarán los consumos de electricidad y gas natural, ya que los consumos se encuentran registrados por las empresas proveedoras. La información es entregada por estas empresas, las que son Chilectra S.A. y Metrogas S.A. respectivamente. Además se estudiarán los consumos de agua potable, con la entrega de información por parte de Aguas Andinas S.A.. Los consumos corresponden a los facturados en los doce meses del año 2006 (enero – diciembre).

Los edificios seleccionados para el estudio son de las comunas con mayor cantidad de edificios de oficinas⁵⁴. La información técnica (características) de cada edificio, se obtendrá de la Dirección de Obras de cada municipalidad respectivamente, específicamente de los Departamentos de Catastro y Archivo. Los edificios corresponden a construcciones entre los años 1981 al 2004, con el fin que ya estén en un estado permanente de uso. Por último, todos los edificios tienen al menos tres pisos.

Después de contar con la información, la metodología de trabajo será la siguiente:

- Clasificar y cuantificar los edificios de oficina según su tamaño: superficie total y cantidad de pisos.
- Determinar estructura de abastecimiento energético
 - Alumbrado
 - Fuerza
 - Computación
 - Climatización

⁵⁴ Mackenzie Hill ; Mercado de oficinas; Santiago de Chile; diciembre del 2006

- Determinar indicadores energéticos e hídricos y su medición.
- Determinar costos asociados a energía y agua potable, con respecto a costos por concepto de arriendo o compra de oficinas.
- Determinar la cantidad de emisiones de CO₂

3.3. Espacio muestral

Santiago es la capital y principal núcleo urbano de Chile. El área metropolitana que forma es denominada también como Gran Santiago y corresponde también a la capital de la Región Metropolitana. Aunque generalmente es considerado por sus habitantes como la única gran ciudad, Santiago de Chile es una ciudad que incluye a 26 comunas de manera íntegra y a 11 comunas en forma parcial. La mayor parte de la metrópolis se encuentra dentro de la Provincia de Santiago, con algunos sectores periféricos dentro de las provincias del Maipo, Cordillera y Talagante.

Santiago está situado en los 33° 27` de latitud sur, 70° 42` de longitud oeste a una altura media de 567 metros de altitud⁵⁵. En el año 2002, se extendía sobre una superficie de 641,4 km² y tenía una población de 5.428.590 habitantes, cifra que a 2006 alcanzaría a los 6.269.629 habitantes, lo que equivale a cerca del 40% de la población total del país⁵⁶. De acuerdo a dichas cifras, Santiago además es la séptima ciudad más habitada de América Latina y una de las 50 áreas metropolitanas más grandes del mundo.

Por considerarse este un estudio de los consumos energéticos e hídricos, los que se ven afectados por la zona en donde se encuentren los edificios, el informe sólo se realizará en el área del gran Santiago que pertenezca a la misma zona térmica⁵⁷.

55 Dirección General de Aeronáutica Civil DGAC; Chile; [en línea] www.dgac.cl; agosto 2007.

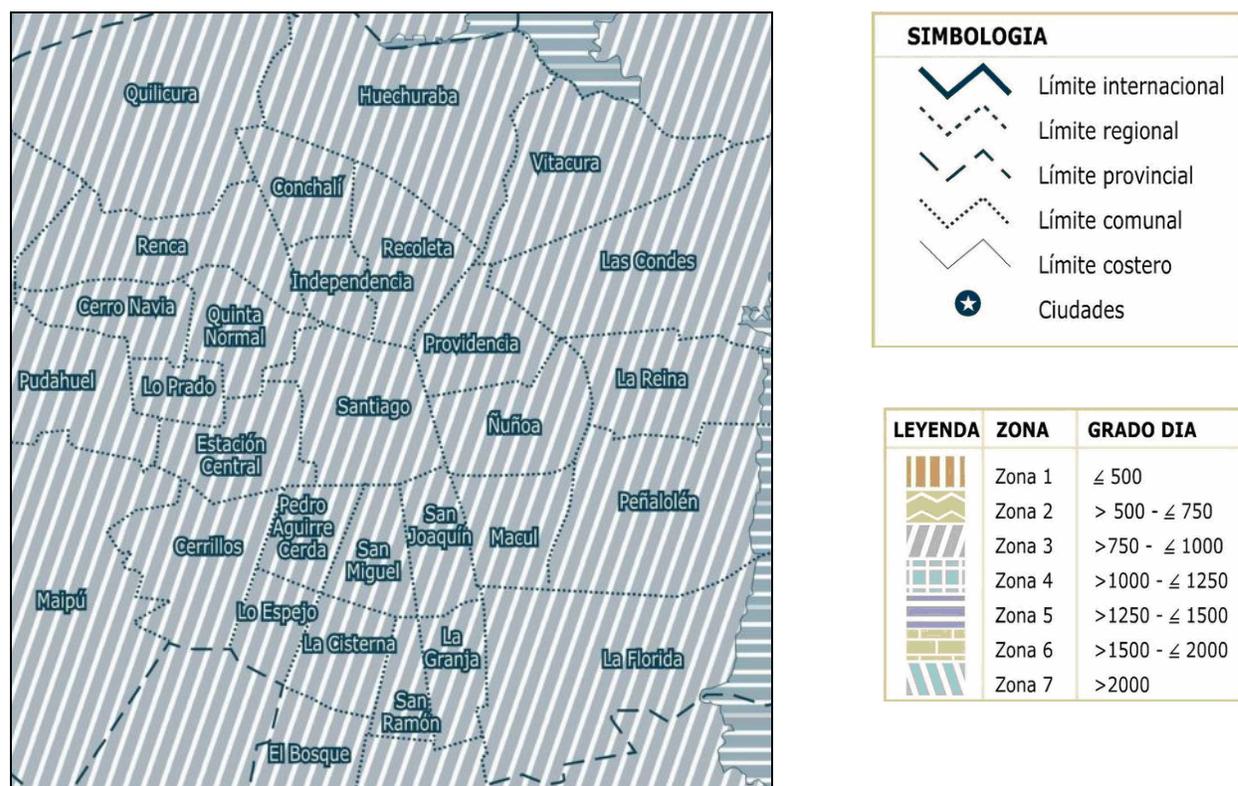
56 Censo 2002 Instituto Nacional de Estadísticas, INE; Santiago Chile; Marzo 2003.

57 Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica; Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU; 1999

La división de las zonas se realiza por la cantidad de grados días de calefacción que se necesita. Para ello se define el siguiente termino:

Grados/día: En un periodo 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 periodo de tiempo utilizado, se puede hablar de grados/día, grados/hora, grados/año, etc.⁵⁸

El reglamento considera la temperatura base en 15°C (no confundir con la temperatura de confort que esta considerada en 20°C). A continuación se muestra el plano de zonificación térmica correspondiente a la Región Metropolitana de Santiago. En este se puede ver que la gran mayoría de las comunas y superficie pertenecen a la zona 3, correspondiente al intervalo de 750 a 1000 grados día. También se puede observar que hay una relación entre las zonas térmicas y la altura, por lo tanto están en un mismo rango de altitud.



Fuente: Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica, Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU.

Figura 4: Plano zonificación térmica Santiago

58 Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica; Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU; 1999

El análisis del espacio muestral, se basó en los informes del mercado de oficinas de las consultoras internacionales⁵⁹. Se considera que una buena aproximación es estimar que existen en 500 edificios de oficina, con una superficie total de 3.000.000 de metros cuadrados. Estos números serán usados a lo largo de este informe como el total de edificaciones.

Según el informe de Mackenzie Hill, las comunas con mayor cantidad de edificios de oficinas son Santiago, Providencia, Las Condes, Vitacura y Huechuraba. Mientras que las comunas de La Florida, Nuñoa, Maipú y Conchalí son excluidas por la escasa competencia respecto del resto⁶⁰. Esto lo reafirma el estudio de CB Richard Ellis que incluye a estas comunas, además de los edificios categoría B⁶¹. En la tabla n° 6, se pueden apreciar las cinco comunas más importantes, en este ámbito, y tienen un 98% de participación. Es por esto que se toman las comunas de Santiago, Providencia, Las Condes, Vitacura y Huechuraba, para el análisis. Para cada comuna en particular se eligió el área con mayor densidad de edificios de oficina, sectores o avenidas principales, los que se detallan a continuación.

3.4.1 Por comunas

3.4.1.1 Las Condes

En esta comuna está situado el corredor o hall de Las Condes, denominado así por la gran cantidad de edificios de altos estándares. El sector de estudio en esta comuna comprende a los edificios construidos cercanos al eje vial de avenida Apoquindo, incluyendo dos cuadras al norte y al sur de esta. Además acotado por la avenida Tobalaba por el oeste y la avenida Américo Vespuccio por el este.

59 mencionados en el capítulo 1 de este trabajo

60 Mackenzie Hill ; Mercado de oficinas; Santiago de Chile; diciembre del 2006

61 CB Richard Ellis; Oficinas comerciales; Santiago de Chile

Esto se ve representado, en el gráfico a continuación, por el área encerrada por el rectángulo de color azul. De este sector se eligieron un total de 26 edificios al azar.



Figura 5: Ubicación edificios Las Condes.

3.4.1.2 Providencia

Para esta comuna se realizó un análisis parecido al anterior. Se seleccionó el sector de los edificios construidos cercanos al eje vial de avenida Providencia / 11 de Septiembre, incluyendo un par de cuadras al norte y al sur de esta, respectivamente, pero a través de toda la comuna. Por lo tanto queda restringido por la Plaza Italia por oeste y avenida Tobalaba por el este.

Esto se ve representado por la superficie encerrada por la línea de color azul. De este sector se eligieron un total de 33 edificios al azar.

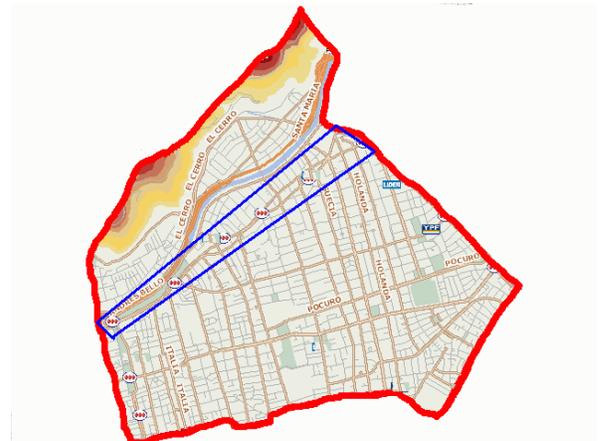


Figura 6: Ubicación edificios Providencia.

3.4.1.3 Santiago

En este caso se analizó la zona llamada centro de Santiago, acotado por la calle Tarapacá por el sur y por el río Mapocho por el norte. Mientras que la Panamericana (Ruta 5 norte/sur) está por el oeste y la calle Portugal y su continuación por el este.

Lo explicado anteriormente, queda representado por la superficie encerrada por la línea de color azul, en el gráfico de la comuna. De aquí se obtiene una cantidad de 42 edificios, elegidos al azar.



Figura 7: Ubicación edificios Santiago.

3.4.1.4 Vitacura

En esta comuna el sector se eligió por los edificios comprendidos en el eje vial avenida Américo Vespucio Norte, incluyendo un par de cuadras para cada lado de este.

Lo que se ve representado en el área encerrada por el rectángulo azul en el mapa. De este sector se eligieron un total de 9 edificios al azar.



Figura 8: Ubicación edificios Vitacura.

3.4.1.5 Huechuraba

Los edificios que son citados en los informes del mercado de oficinas de esta comuna, quedan solamente ubicados en el sector llamado “Ciudad empresarial”.

Por ende, es este sector el cual se ha estudiado y esto se ve encerrado en un círculo azul en el mapa a continuación. De aquí se obtienen un total de 17 edificios al azar.

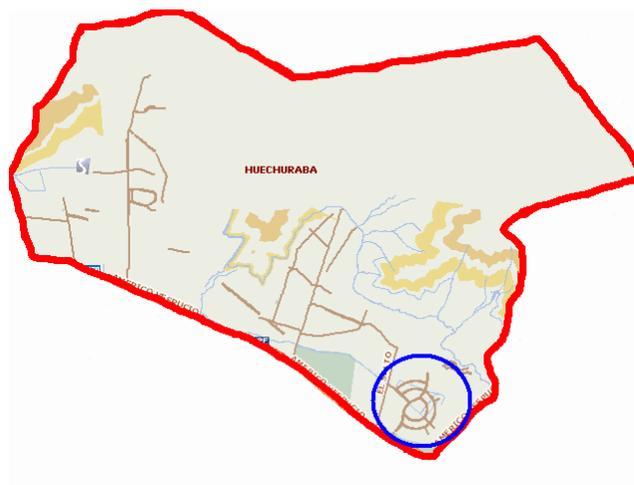


Figura 9: Ubicación edificios Huechuraba.

En resumen, el área de estudio es el gran Santiago con zona térmica 3. Se supone un universo de 500 edificios de oficina, con una superficie total de 3.000.000 metros cuadrados. A continuación se muestra una tabla con la cantidad de edificios y área total del espacio muestral por comuna.

Tabla 13: Espacio muestral de edificios de oficina.

Comuna	Superficie total (m²)	Participación (%)	Nº edificios
Las Condes	601.831	33,1	26
Santiago centro	577.037	31,8	42
Providencia	419.643	23,1	33
Huechuraba	113.856	6,2	17
Vitacura	104.922	5,8	9
TOTAL	1.817.289	100	130

3.5 Análisis de datos

3.5.1 Clasificación de los edificios de oficina

La principal idea del presente estudio se basa en ser un referente para futuras políticas y regulaciones de eficiencia energética en Santiago. Por lo tanto, el interés de este informe es que sea un requisito que los consumos energéticos e hídricos no sean mayores a un cierto límite (indicador), cumpliendo las condiciones de confort dentro del inmueble. Luego el constructor podrá tomar las decisiones correctas para cumplir las restricciones de consumo y dimensión del edificio, eligiendo los materiales adecuados, orientación, etc.

Por lo anteriormente mencionado, es que la clasificación de los edificios sea con respecto a su tamaño, en las siguientes categorías:

- Gran Altura: 16 pisos o más
- Mediana Altura: 6 a 15 pisos
- Baja Altura: 1 a 5 pisos

El dato de la cantidad de pisos se obtiene de la recepción final de los edificios y/o permiso de edificación, entregada por la municipalidad correspondiente.

3.5.2 Determinar estructura de abastecimiento energético

Es importante, sin lugar a dudas, saber como se distribuyen los consumos energéticos dentro de un edificio. Ya que al tener conocimiento como se gasta la energía y en que porcentajes, se puede saber dónde poner los esfuerzos para reducir los consumos y también los costos incurridos en ésta.

Como las empresas solo se dedican a suministrar la energía y no saben en que porcentajes se gasta ésta en los diferentes ítems. Es por eso que para este cálculo se procede de una forma

indirecta, mediante el anexo n°1 del SEC, pedido por las municipalidades. Este documento especifica la instalación de potencia eléctrica al interior del edificio y generalmente la separa en las siguientes cuatro partes:

- Alumbrado
- Fuerza
- Computación
- Climatización

3.5.3 Determinación de indicadores energéticos e hídricos y su medición.

Para calcular los indicadores se dividirá el consumo (mensual y anual) por la superficie total del edificio. El consumo es el total del edificio, por lo tanto, involucra el de las oficinas, servicio común, estacionamiento, subterráneo, bodegas, etc. Y la superficie total es la expresada en el certificado de recepción final, más las posteriores ampliaciones del inmueble. Las unidades de medidas para los indicadores es la siguiente:

- Electricidad : kWh/m²
- Gas Natural : kWh/m²
- Agua Potable: m³/ m²

Primero se graficará los consumos versus la superficie y el indicador versus la superficie, diferenciado por categorías, además se expondrá la pendiente de la línea de tendencia. Por último, se graficará las frecuencias del total y de cada categoría de edificio (gran, mediana y baja altura), junto con la línea de tendencia polinomial de grado 4 y se expondrán los cálculos del promedio, de la desviación típica y la clase modal de las muestras (rango de moda)⁶². Para los períodos de un año (anual) y de cada mes (enero-diciembre).

⁶² Ver anexo 1

3.5.4 Determinación costos asociados a energía y agua potable, con respecto a costos por concepto de arriendo o compra de oficinas.

Ahora se analizan los costos de la energía y agua consumida, con el indicador anteriormente calculado. Para ello se usarán los valores expresados en el capítulo 1, que son los siguientes:

- Electricidad = 85 (\$/kwh) con IVA incluido⁶³.
- Gas Natural = calcular con la tabla n°5, capítulo 1⁶⁴.
- Agua potable = 450 (\$/m³) con IVA incluido⁶⁵.

Además se tienen los precios promedio de ventas y arriendo de oficinas, según las distintas consultoras internacionales y sus informes del mercado de oficinas en Santiago. Y se usan los siguientes valores referenciales:

- Venta : 50 UF/ m²
- Arriendo : 0,5 UF/ m² mensual

Como el análisis se realizará en la misma unidad de medida (\$/m²), se usará arbitrariamente el valor de la UF del día 31 de agosto del 2007.

$$UF = \$18.972^{66}$$

También es importante tener presente el precio del petróleo y el dólar en la misma fecha, 31 de agosto del 2007⁶⁷.

Barril = 72,5 dólares aprox.

Dólar = \$ 524 pesos

Luego se calcula el porcentaje de los costos por metro cuadrado, de los consumos energéticos e hídricos con respecto a costos por concepto de arriendo o compra de oficinas.

63 Chilectra S.A. [en línea] www.chilectra.cl; 1 de septiembre 2007

64 Metrogas S.A.;[en línea] www.metrogas.cl; 24 de agosto 2007

65 Aguas andinas s.a.; [en línea] www.aguasandinas.cl.

66 Banco Central; [en línea]; www.bancocentral.cl; 3 de septiembre 2007

67 Banco Central; [en línea]; www.bancocentral.cl; 3 de septiembre 2007

3.5.5 Determinación de emisiones de CO₂

La producción de las distintas energías tiene asociado una cantidad de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Como fueron especificadas en el capítulo 1, estos son las siguientes, dependiendo de la energía:

- 1 kWh. de electricidad → 0,5 kg. de CO₂ ⁶⁸
- 1 m³ de gas natural → 1,9 kg. de CO₂ ⁶⁹

Con el indicador se puede calcular la cantidad de emisiones de CO₂ producidas por metro cuadrado, debido a los consumos energéticos, para el periodo de un año.

3.6 Evaluación

Para realizar el procesamiento de los datos es necesario clasificar y ordenar la información obtenida, para su posterior análisis. En el caso de los datos estadísticos que caracterizan al edificio y sus sistemas, se han establecido una serie de índices que permiten, bajo unas mismas unidades definidas, compararlos y valorarlos.

Además para el análisis dinámico del indicador se graficará el comportamiento del índice en el transcurso de un año, separado por meses. Por último, se realizará un resumen donde se exponga los distintos indicadores, para las diferentes categorías.

⁶⁸ Calefacción y biomasa; Centro Nacional de energía renovables de España CENER; 2007

⁶⁹ Ver anexo 2

4 CÁLCULOS

4.1 Gas natural

La realización de estos cálculos se hacen en base a la información entregada por Metrogas S.A. Para esto se obtienen los datos de los consumos de los años 2005 y 2006, separados por meses. De un total de 14 edificios separados por comunas de la siguiente manera: 1 de Huechuraba, 2 de Las Condes, 1 de Providencia, 3 de Vitacura y 7 de Santiago. Para estos edificios se obtienen los siguientes consumos e indicadores.

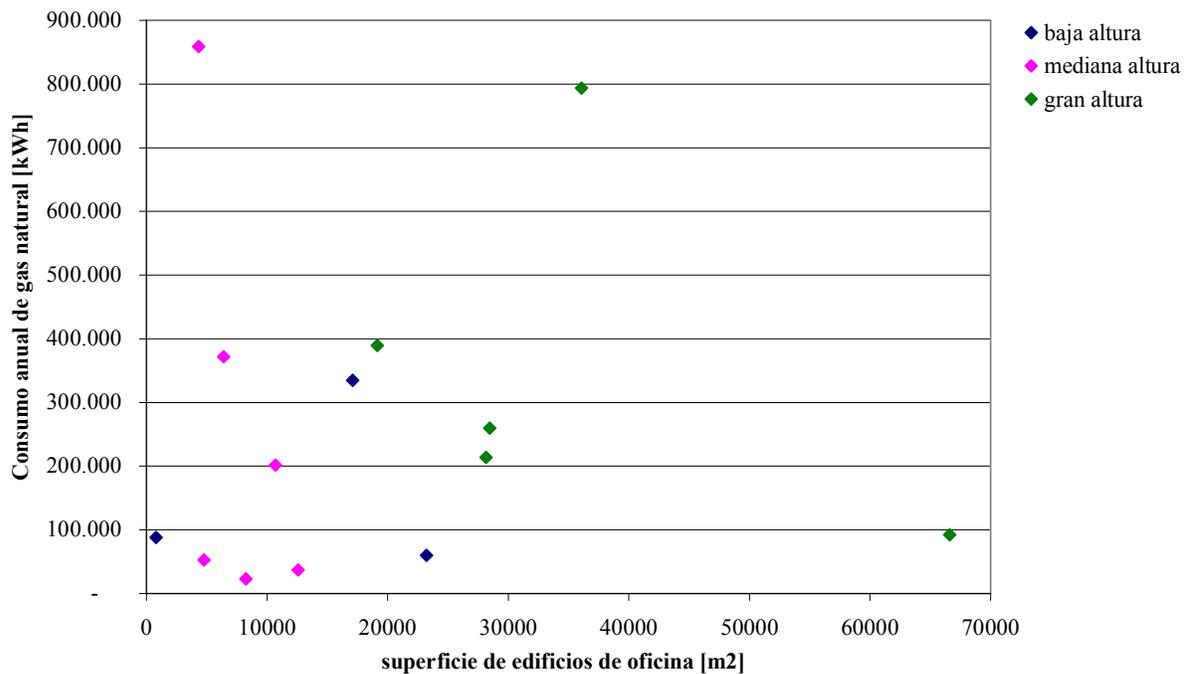


Gráfico 5: Consumo anual de gas con respecto a la superficie de edificios de oficinas

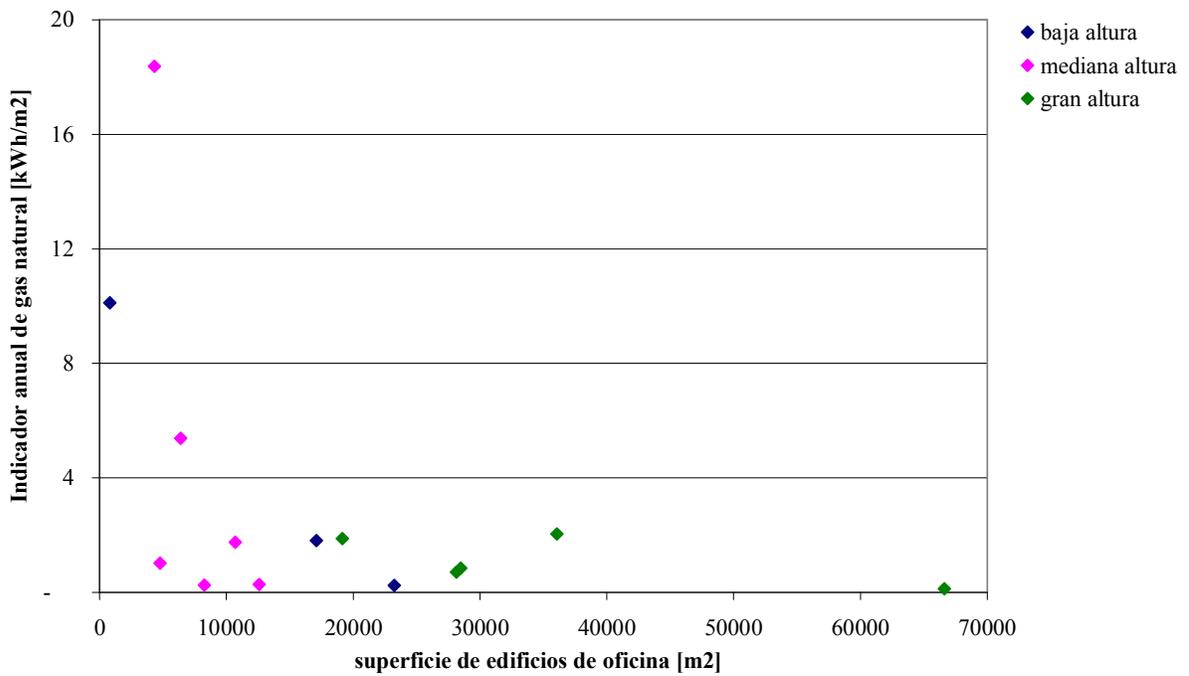


Gráfico 6: Indicador anual de gas con respecto a la superficie de edificios de oficina

Con respecto a cómo se distribuye el indicador con respecto a la frecuencia de datos y en los meses del año, se tienen los siguientes gráficos:

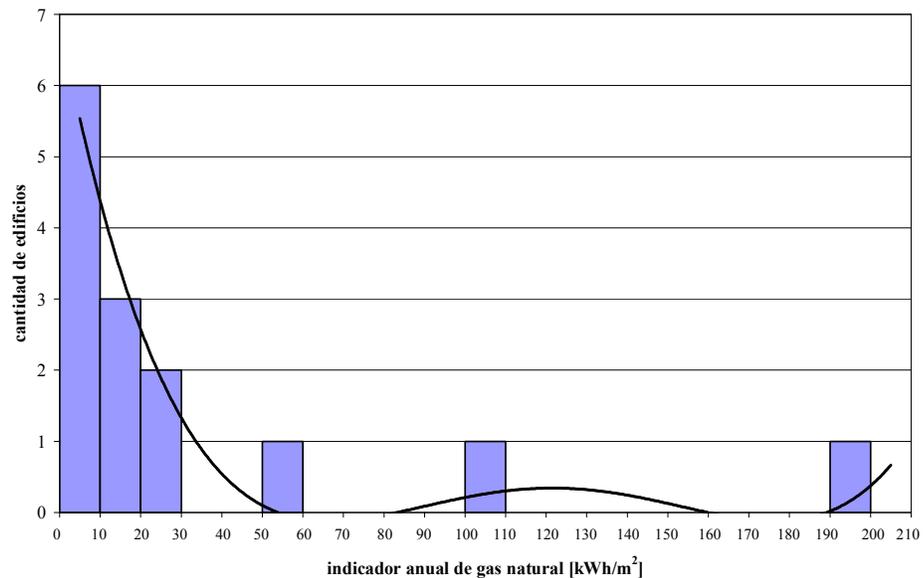


Gráfico 7: Distribución indicador anual de gas natural.

Como promedio del indicador anual se obtiene un valor de 34,6 kWh/m² y una desviación típica de 53,4 kWh/m², mientras que la clase modal es el rango [0 ; 10], con una frecuencia de 6.

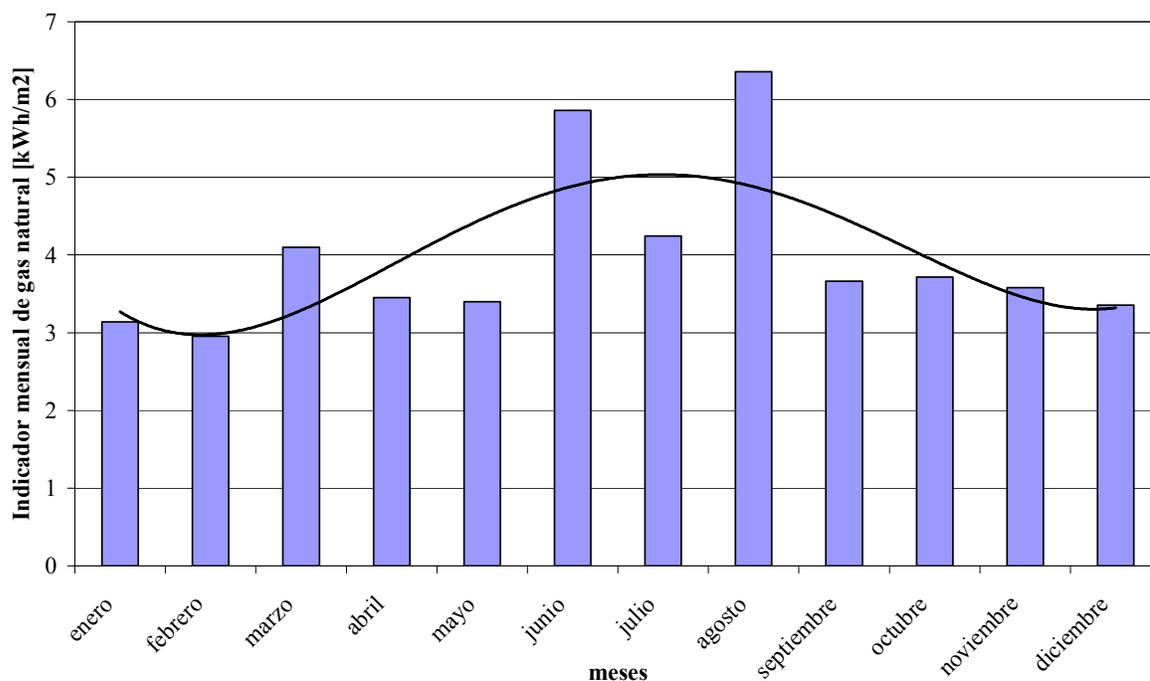


Gráfico 8: Distribución indicador mensual de gas natural

El promedio del indicador mensual es 3,99 kWh/m² y tiene una desviación típica de 1,02 kWh/m², además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.2 Agua potable

La realización de estos cálculos se hacen en base a la información entregada por Aguas Andinas S.A. Para esto se obtienen los datos de los consumos del año 2006, separados por meses. De un total de 91 edificios separados por comunas de la siguiente manera: 16 de Huechuraba, 25 de Las Condes, 19 de Providencia, 6 de Vitacura y 25 de Santiago. Para estos edificios obtienen los siguientes consumos e indicadores:

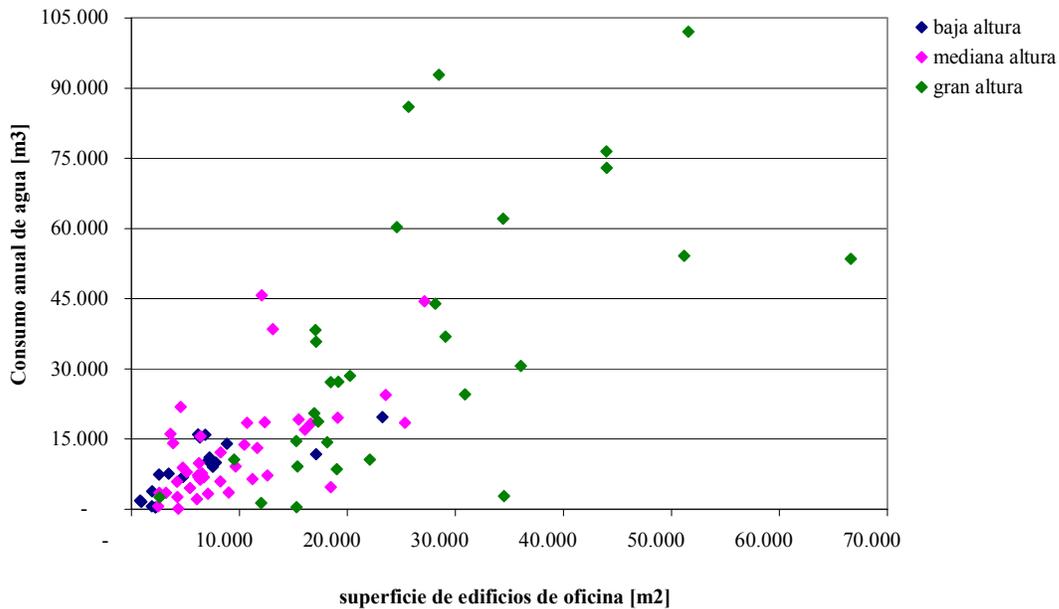


Gráfico 9: Consumo anual de agua con respecto a la superficie de edificios de oficina

Del gráfico del consumo se calculan las pendientes de las líneas de tendencia para las distintas categorías de altura de edificios, todas centradas en cero. Para la categoría de baja altura la pendiente es $1,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$, para mediana altura es $1,22 \text{ m}^3/\text{m}^2$, y para gran altura es $1,35 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Estas pendientes son una aproximación al indicador promedio.

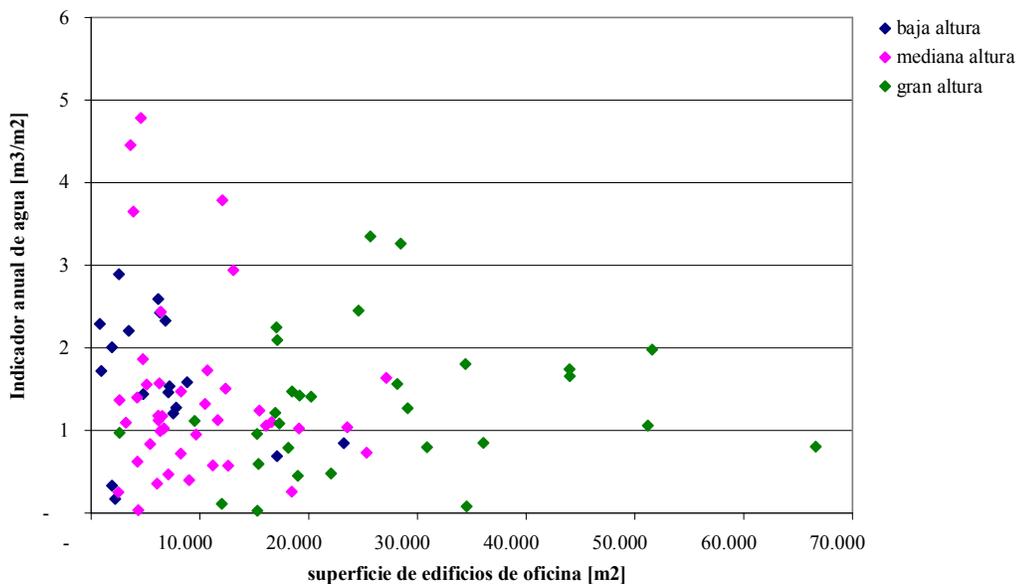


Gráfico 10: Indicador anual de agua con respecto a la superficie de edificios de oficina

Con respecto a cómo se distribuye el indicador con respecto a la frecuencia de datos y en los meses del año, se obtienen los siguientes gráficos:

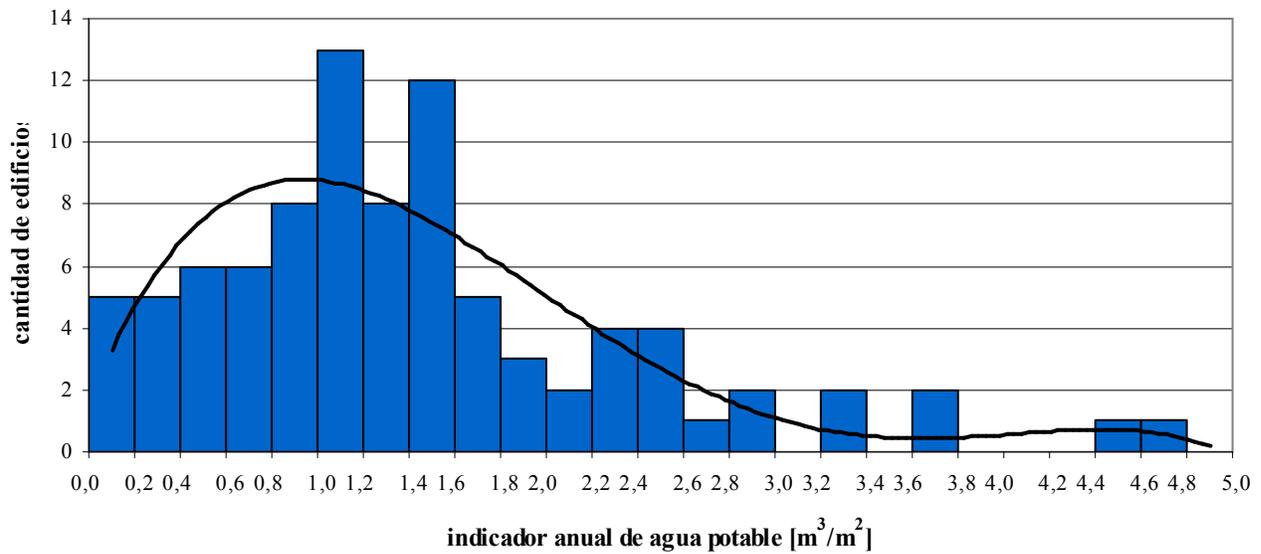


Gráfico 11: Consumo anual de agua potable.

El promedio del indicador anual es de $1,43 \text{ m}^3/\text{m}^2$, con una desviación típica de $0,95 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y con una clase modal de rango $[1,0; 1,2]$ de frecuencia 13. Fuera de rango quedó un edificio de la comuna de Santiago con un indicador anual de $13,67 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

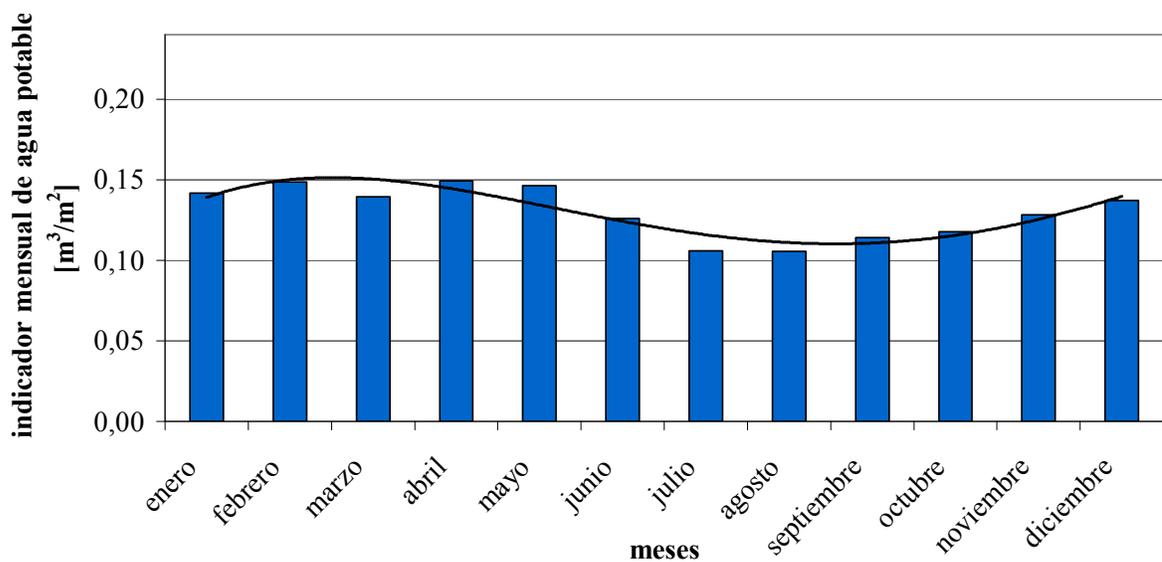


Gráfico 12: Indicador mensual de agua potable.

El promedio del indicador mensual es $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y tiene una desviación típica de $0,015 \text{ m}^3/\text{m}^2$, además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.2.1 Categoría por pisos

4.2.1.1 Baja altura

Para esta categoría hay una cantidad de 19 de los 91 edificios en total, de las distintas comunas.

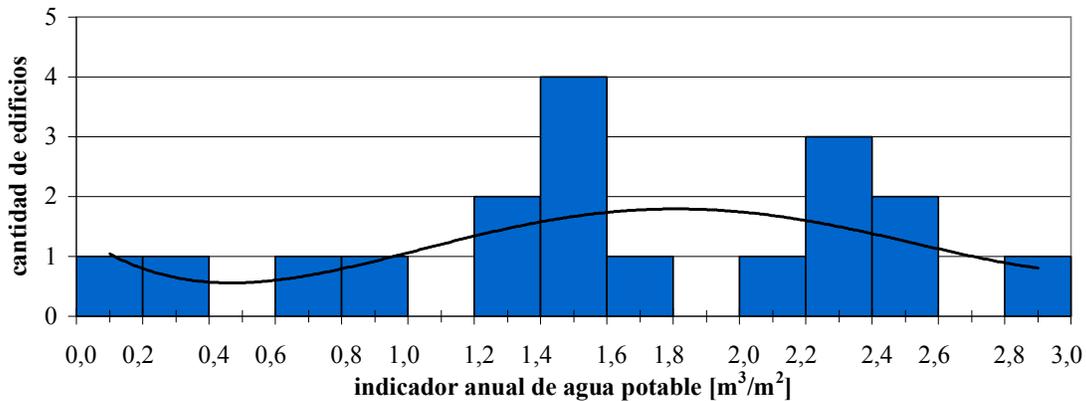


Gráfico 13: Indicador anual de agua potable, baja altura

El promedio del indicador anual es de $1,61 \text{ m}^3/\text{m}^2$, con una desviación típica de $0,73 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y con una clase modal de rango $[1,4 ; 1,6]$ de frecuencia 4. Fuera de rango quedó un edificio de la comuna de Santiago con un indicador anual de $13,67 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

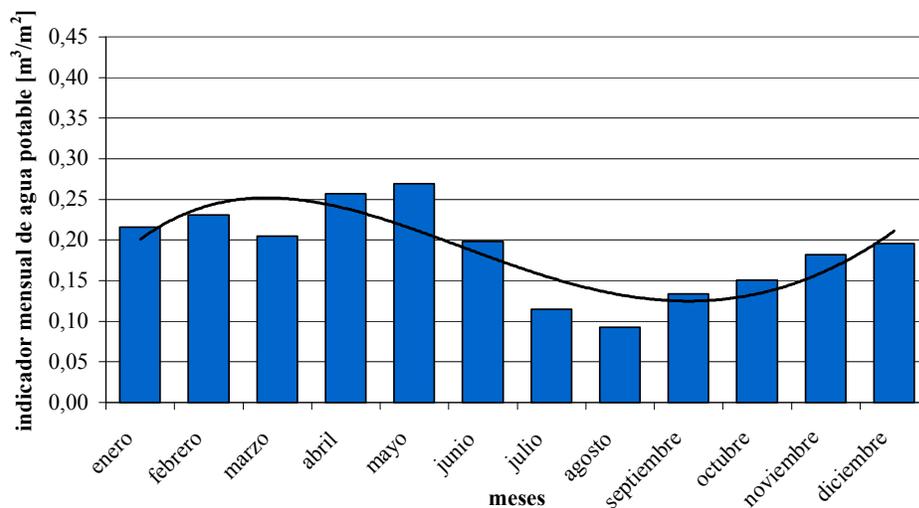


Gráfico 14: Indicador mensual de agua potable, baja altura

El promedio del indicador mensual es $0,19 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y tiene una desviación típica de $0,053 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.2.1.2 Mediana altura

Para esta categoría hay una cantidad de 41 de los 91 edificios en total, de las distintas comunas.

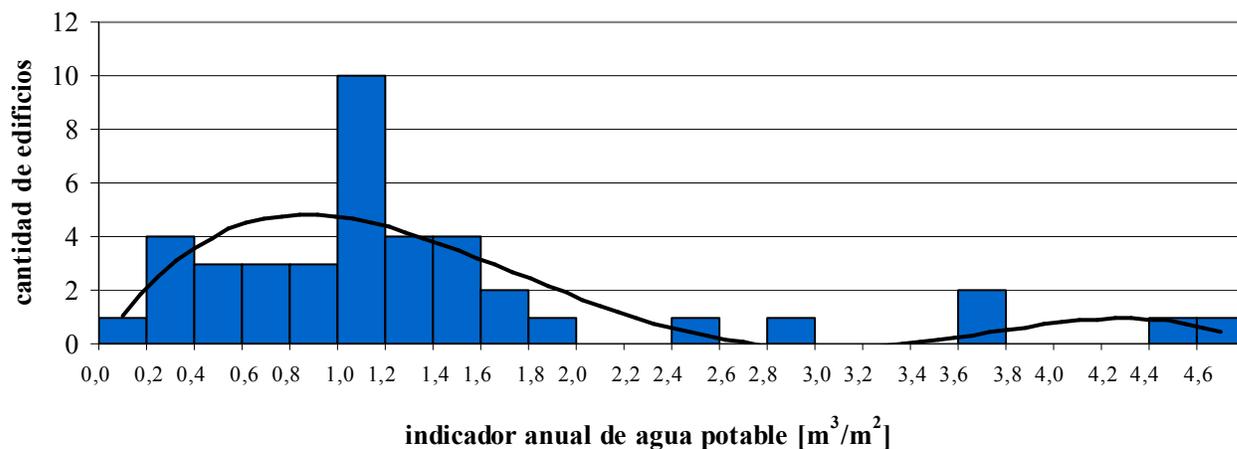


Gráfico 15: Indicador anual de agua potable, mediana altura

El promedio del indicador anual es de $1,4 \text{ m}^3/\text{m}^2$, con una desviación típica de $1,08 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y con una clase modal de rango $[1,0; 1,2]$ de frecuencia 10.

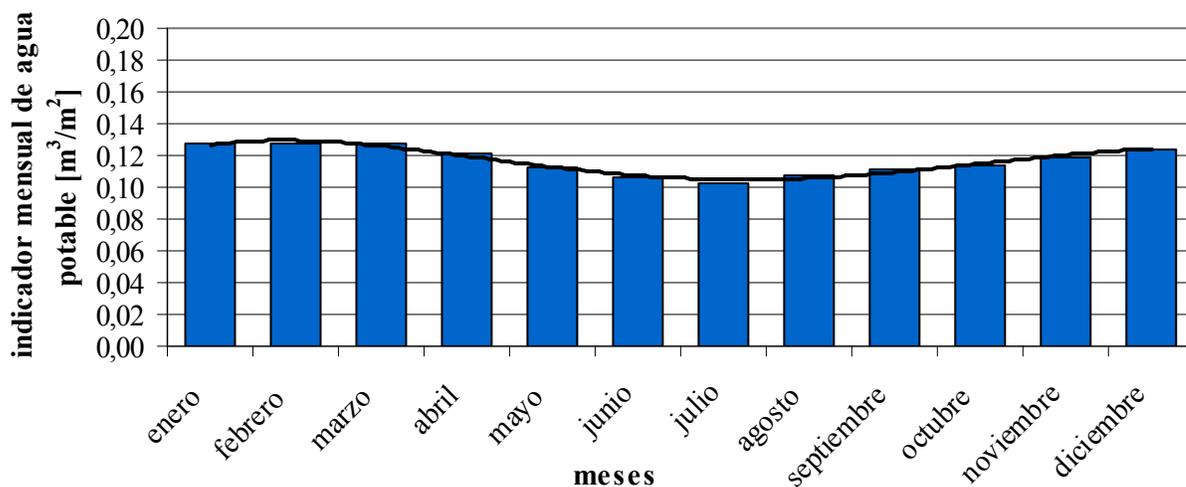


Gráfico 16: Indicador mensual de agua potable, mediana altura

El promedio del indicador mensual es $0,12 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y tiene una desviación típica de $0,008 \text{ m}^3/\text{m}^2$, además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.2.1.3 Gran altura

Para esta categoría hay una cantidad de 31 de los 91 edificios en total, de las distintas comunas.

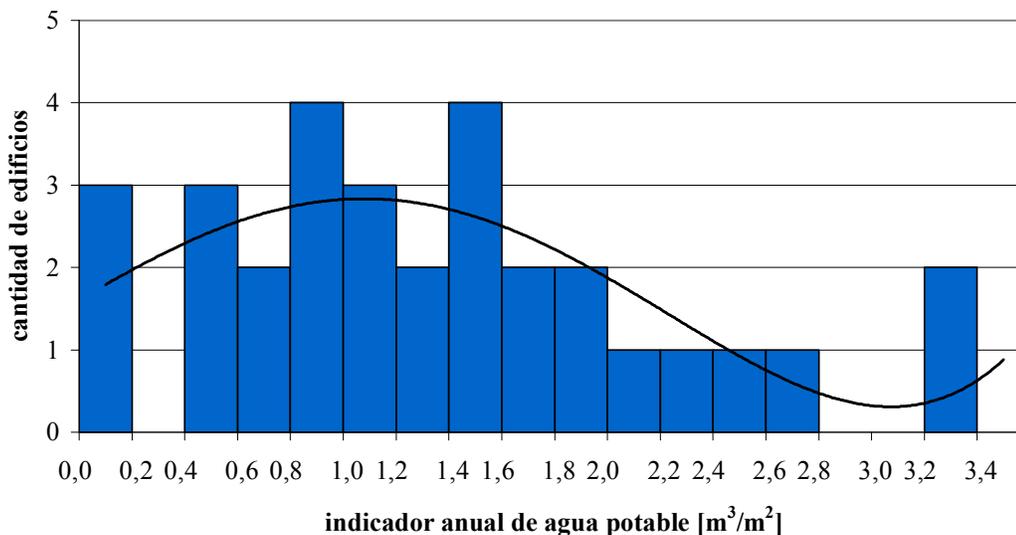


Gráfico 17: Indicador anual agua potable, gran altura.

El promedio del indicador anual es de $1,3 \text{ m}^3/\text{m}^2$, con una desviación típica de $0,84 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y con una clase modal de rango $[0,8; 1,0]$ y $[1,4; 1,6]$, ambos de frecuencia 4.

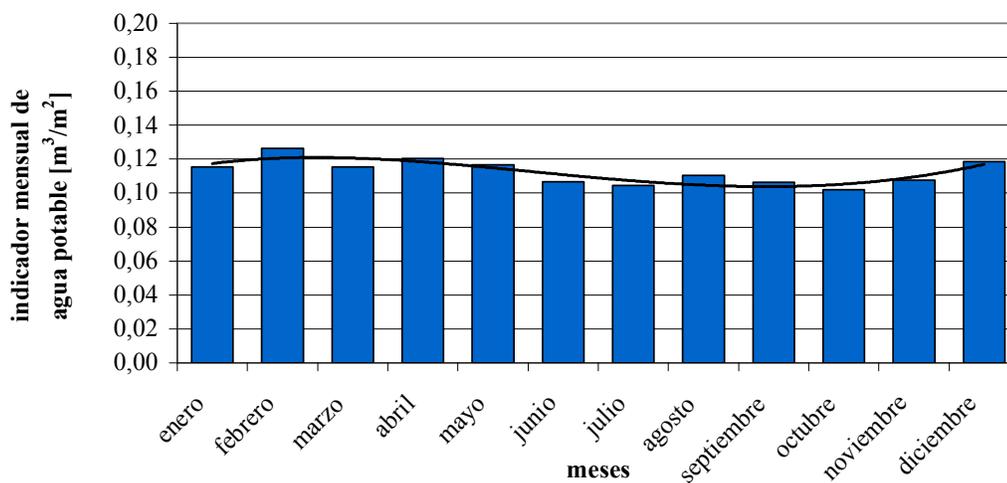


Gráfico 18: Indicador mensual agua potable, gran altura

El promedio del indicador mensual es $0,11 \text{ m}^3/\text{m}^2$ y tiene una desviación típica de $0,007 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.3 Electricidad

La realización de estos cálculos se hacen en base a la información entregada por Chilectra S.A. Para esto se obtienen los datos de los consumos del año 2006, separados por meses. De un total de 86 edificios separados por comunas de la siguiente manera: 9 de Huechuraba, 20 de Las Condes, 32 de Providencia, 5 de Vitacura y 20 de Santiago. Para estos edificios se obtienen los siguientes consumos e indicadores.

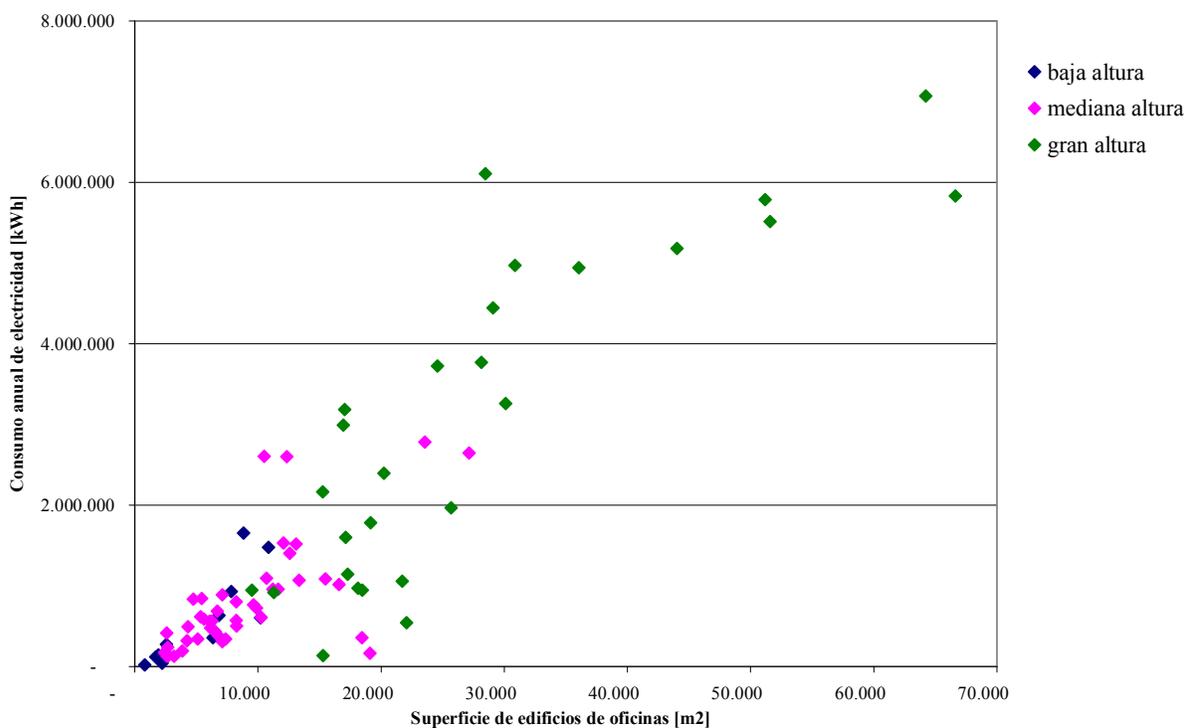


Gráfico 19: Consumo anual de electricidad con respecto a la superficie de edificios de oficina

Del gráfico del consumo se calculan las pendientes de las líneas de tendencia para las distintas categorías de altura de edificios, todas centradas en cero. Para la categoría de baja altura la pendiente es $111,35 \text{ kWh/ m}^2$, para mediana altura es $88,1 \text{ kWh/ m}^2$, y para gran altura es $111,17 \text{ kWh/ m}^2$. Estas pendientes son una aproximación al indicador promedio.

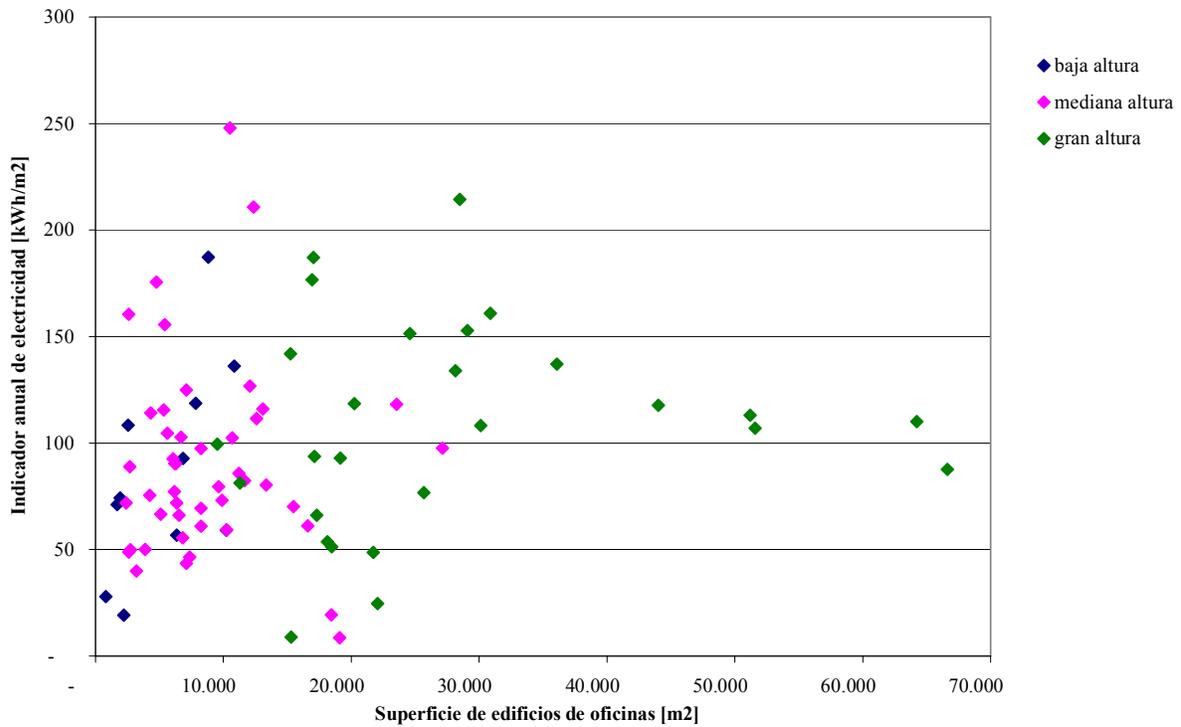


Gráfico 20: Indicador anual de electricidad con respecto a la superficie de edificios de oficina

Con respecto a cómo se distribuye el indicador con respecto a la frecuencia de datos y en los meses del año se tienen los siguientes gráficos.

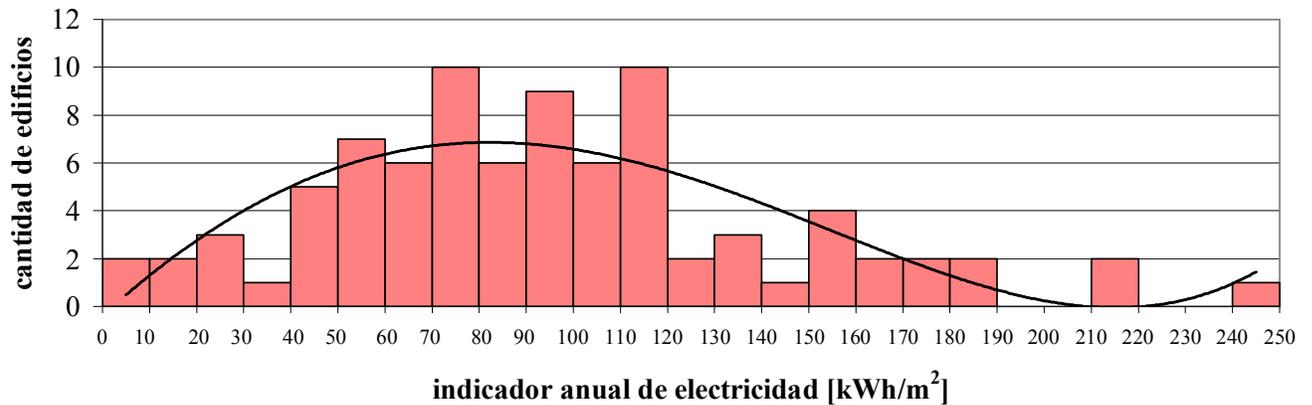


Gráfico 21: Indicador anual de electricidad

El promedio del indicador anual es de 95,4 kWh/m², con una desviación típica de 47,7 kWh/m² y con una clase modal de rango [70, 80] y [110, 120] de frecuencia 10.

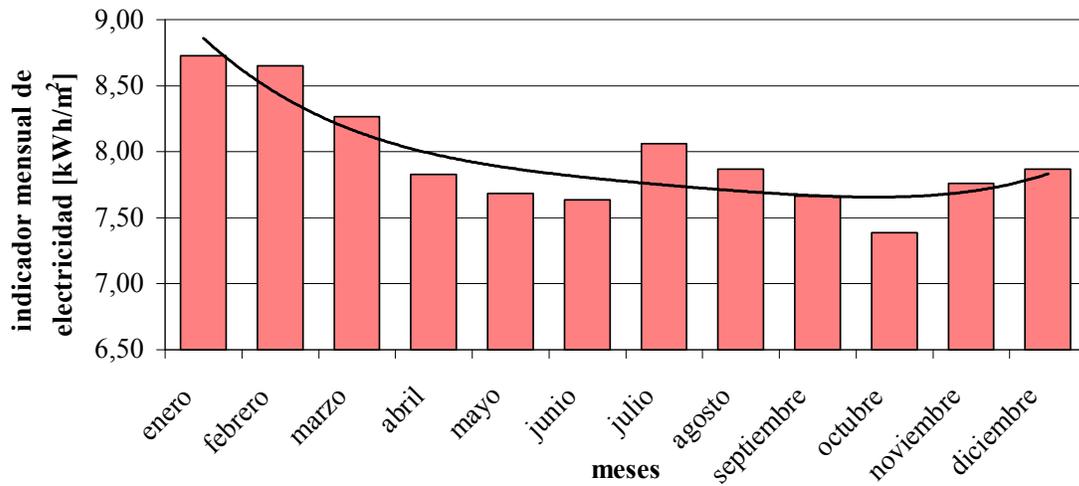


Gráfico 22: Indicador mensual de electricidad

El promedio del indicador mensual es 8 kWh/m² y tiene una desviación típica de 0,4 kWh/m², además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.3.1 Baja altura

Para esta categoría hay una cantidad de 11 de los 85 edificios en total, de las distintas comunas.

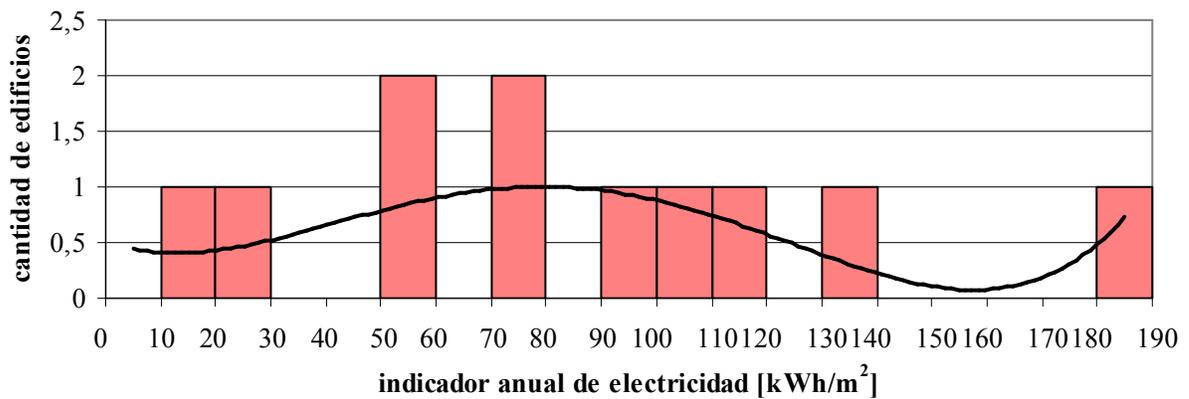


Gráfico 23: Indicador anual de electricidad, baja altura

El promedio del indicador anual es de 86,5 kWh/m², con una desviación típica de 46,9 kWh/m² y con una clase modal de rango [50, 60] y [70, 80], ambos de frecuencia 2.

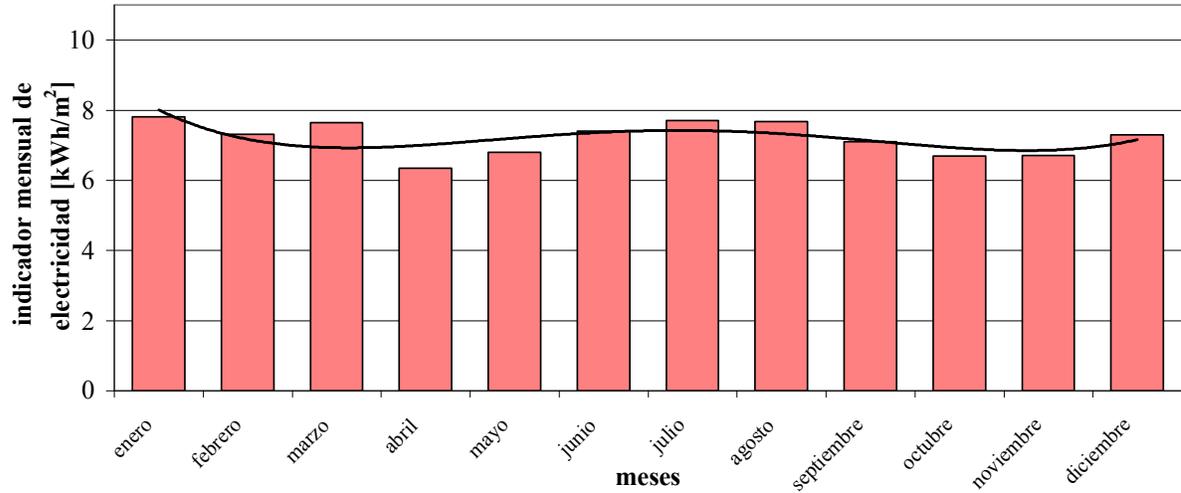


Gráfico 24: Indicador mensual de electricidad, baja altura

El promedio del indicador mensual es $7,2 \text{ kWh/m}^2$ y tiene una desviación típica de $0,46 \text{ kWh/m}^2$, además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.3.2 Mediana altura

Para esta categoría hay una cantidad de 46 de los 85 edificios en total, de las distintas comunas.

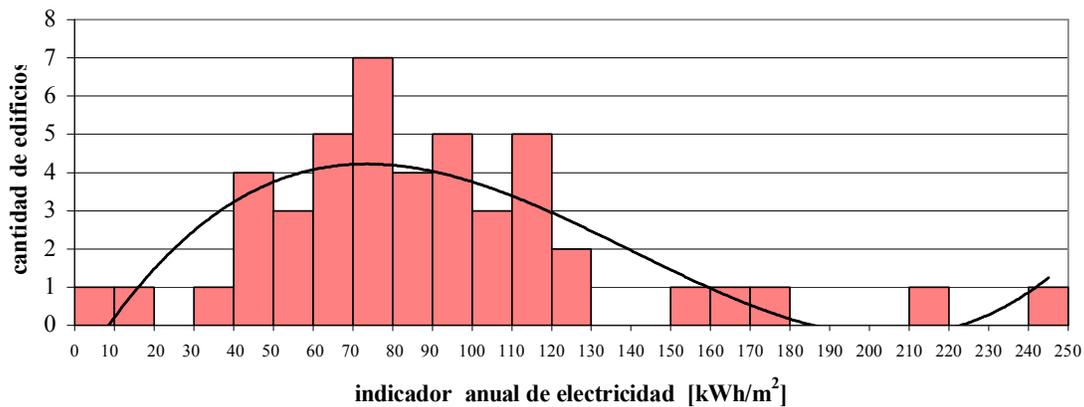


Gráfico 25: Consumo anual de electricidad, mediana altura

El promedio del indicador anual es de $90,4 \text{ kWh/m}^2$, con una desviación típica de $44,9 \text{ kWh/m}^2$ y con una clase modal de rango $[70, 80]$ de frecuencia 7.

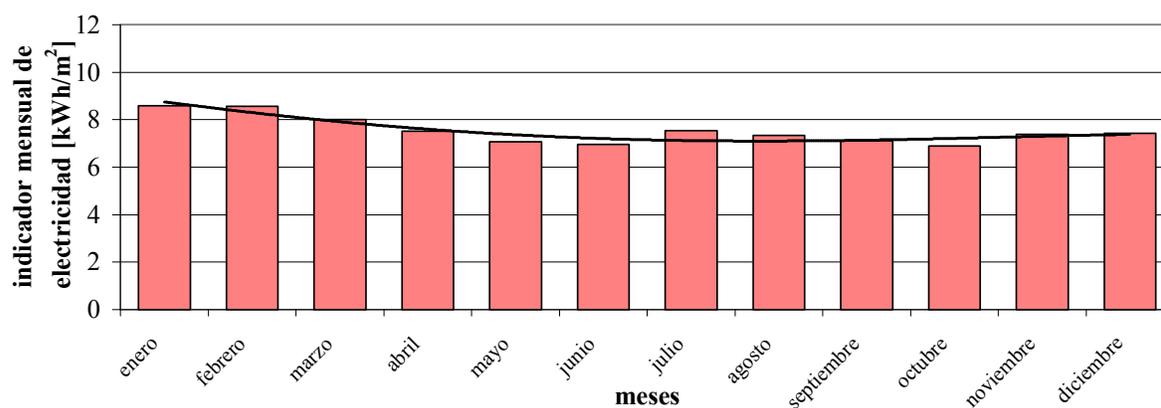


Gráfico 26: Indicador mensual de electricidad, mediana altura

El promedio del indicador mensual es $7,5 \text{ kWh/m}^2$ y tiene una desviación típica de $0,55 \text{ kWh/m}^2$, además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.3.3 Gran altura

Para esta categoría hay una cantidad de 28 de los 85 edificios en total, de las distintas comunas.

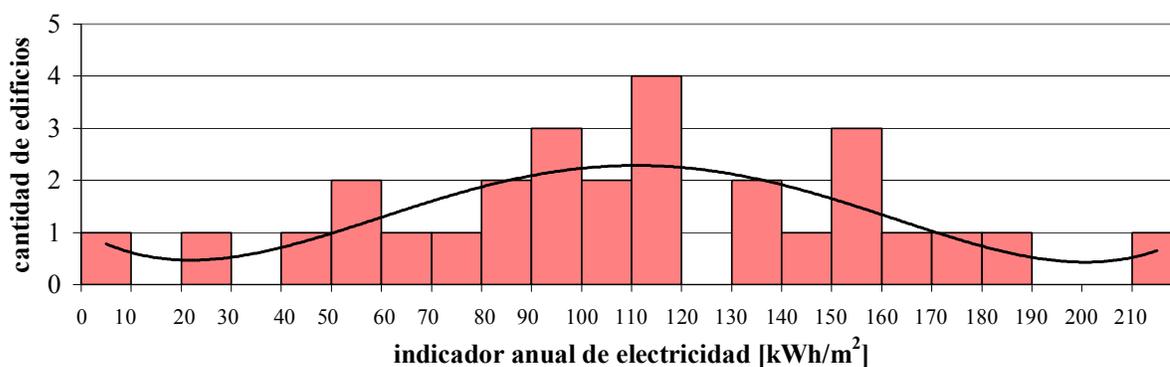


Gráfico 27: Indicador anual de electricidad, gran altura

El promedio del indicador anual es de $109,8 \text{ kWh/m}^2$, con una desviación típica de $48,3 \text{ kWh/m}^2$ y con una clase modal de rango $[110, 120]$ de frecuencia 4.

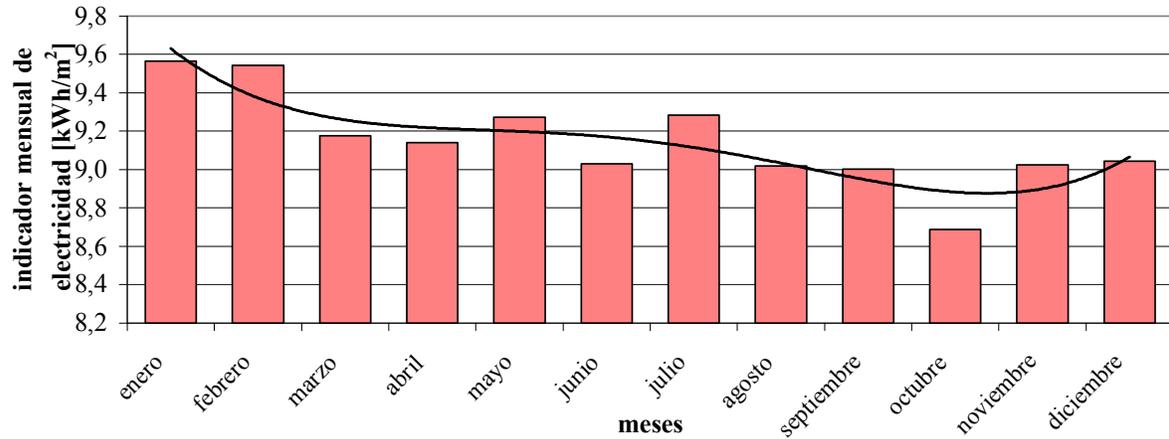


Gráfico 28: Indicador mensual de electricidad, gran altura

El promedio del indicador mensual es $9,2 \text{ kWh/m}^2$ y tiene una desviación típica de $0,23 \text{ kWh/m}^2$, además se puede apreciar en el gráfico la línea de tendencia del indicador a través del año.

4.4 Emisiones de CO₂

Los consumos de energía están asociados a emisiones de CO₂ a la atmósfera. Hay que ver la diferencia en las emisiones de CO₂ debido al gas natural que se producen dentro de las oficinas y las debido a la electricidad en los centros de conversión de energía. El indicador de emisiones se obtiene de los indicadores de consumos promedio y del factor de ponderación correspondiente. Este indicador se grafica a continuación.

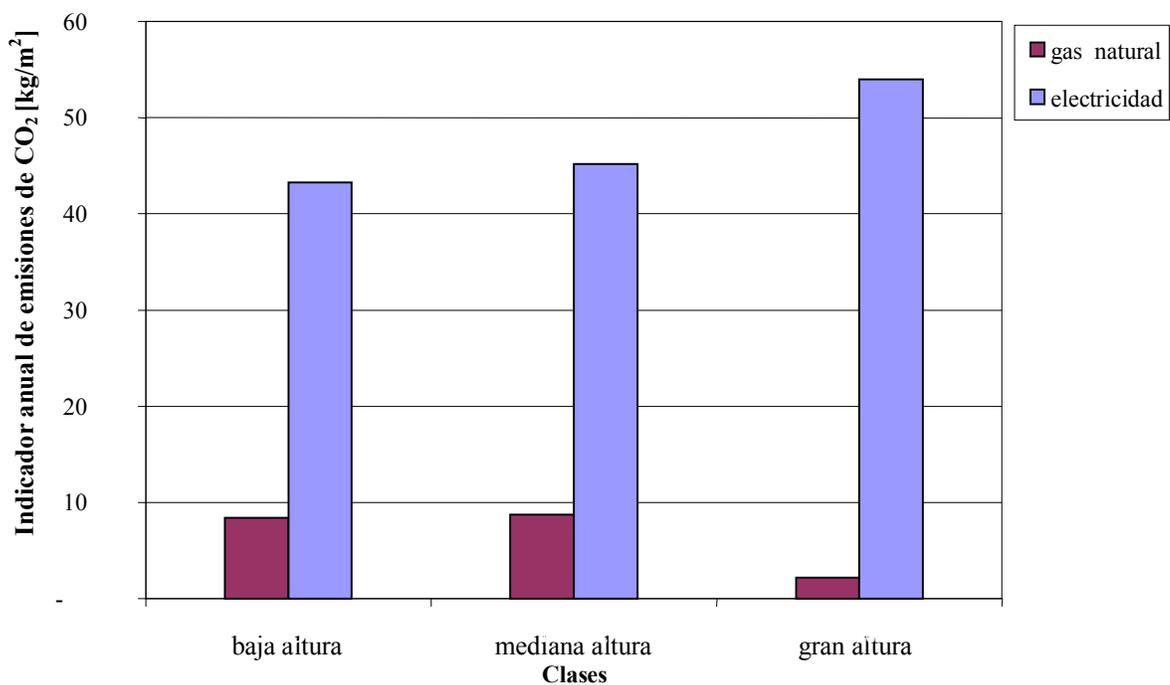


Gráfico 29: Indicador de emisiones de CO₂ promedio según las clases de edificios.

De aquí se obtiene que anualmente se emitan un total de más de 50 kg de CO₂ por metro cuadrado de oficinas por consumo de energías. Como se mencionó anteriormente, estas emisiones no sólo se realizan en las oficinas.

4.5 Distribución

Al analizar los consumos eléctricos, según a quien son asignados o quien los paga, generalmente se ven tres grandes grupos: el comercio, el servicio común y las oficinas. En los edificios de oficina, las primeras plantas o pisos suelen usarse como negocios o comercio; éstos tienen un 10 % en promedio de los consumos eléctricos, entendiendo que este porcentaje depende del tamaño del edificio y del tipo de comercio que se lleve a cabo. También está el consumo, propiamente tal, en las oficinas para la producción de sus bienes y servicios, los que son asignados directamente al dueño de la oficina. Por último, están los consumos de los sectores en común como pasillos, ascensores, etc., que son asignados por el administrador del edificio en una forma indirecta a los dueños de las oficinas, generalmente en alguna formula proporcional previamente conocida por los propietarios.

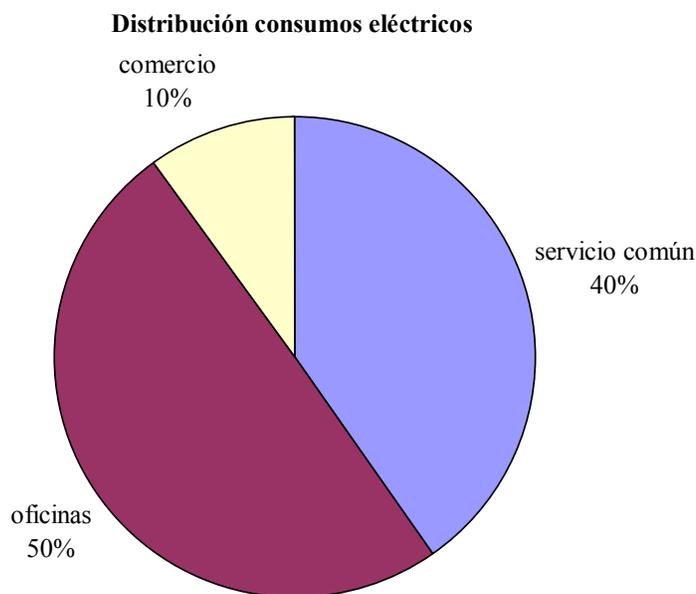


Gráfico 30: Distribución consumos eléctricos

En la construcción de los edificios se realizan estudios de los consumos energéticos mediante programas computacionales, y se obtiene el llamado consumo proyectado. Éste es necesario para la demanda de electricidad en el edificio y la instalación de todo el sistema interconectado. Junto con ello se calculan las potencias necesarias para alimentar el sistema, las que son informadas a la superintendencia de electricidad y combustible (SEC) mediante el anexo n°1. De este informe se calculan los porcentajes de potencia eléctrica instalada en los edificios.

Debido que existe una directa relación entre consumos y potencia, se puede llevar a un análisis de los porcentajes de consumo de electricidad en dichos inmuebles.

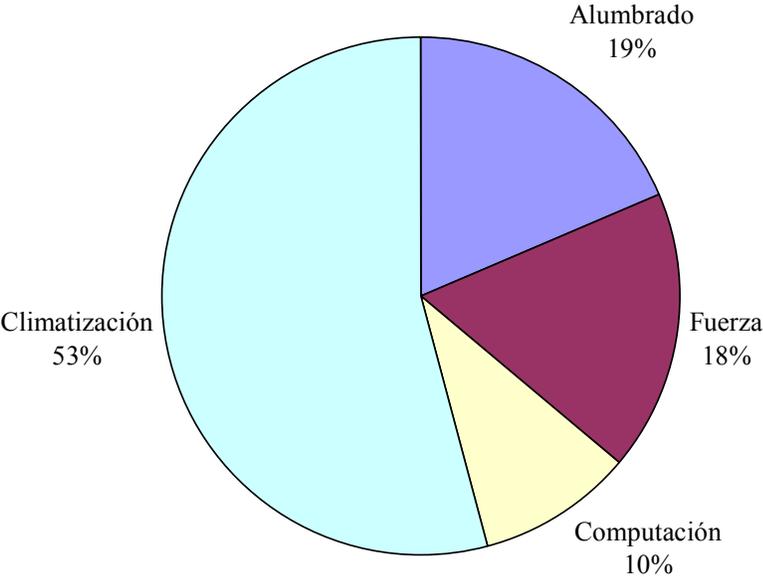


Gráfico 31: Distribución potencia eléctrica

Ahora bien, si se analiza el indicador anual de consumo promedio de electricidad por cada categoría y la distribución de esta energía según la potencia instalada en los edificios de oficina, se tiene que la distribución de consumos anual por metro cuadrado es la siguiente.

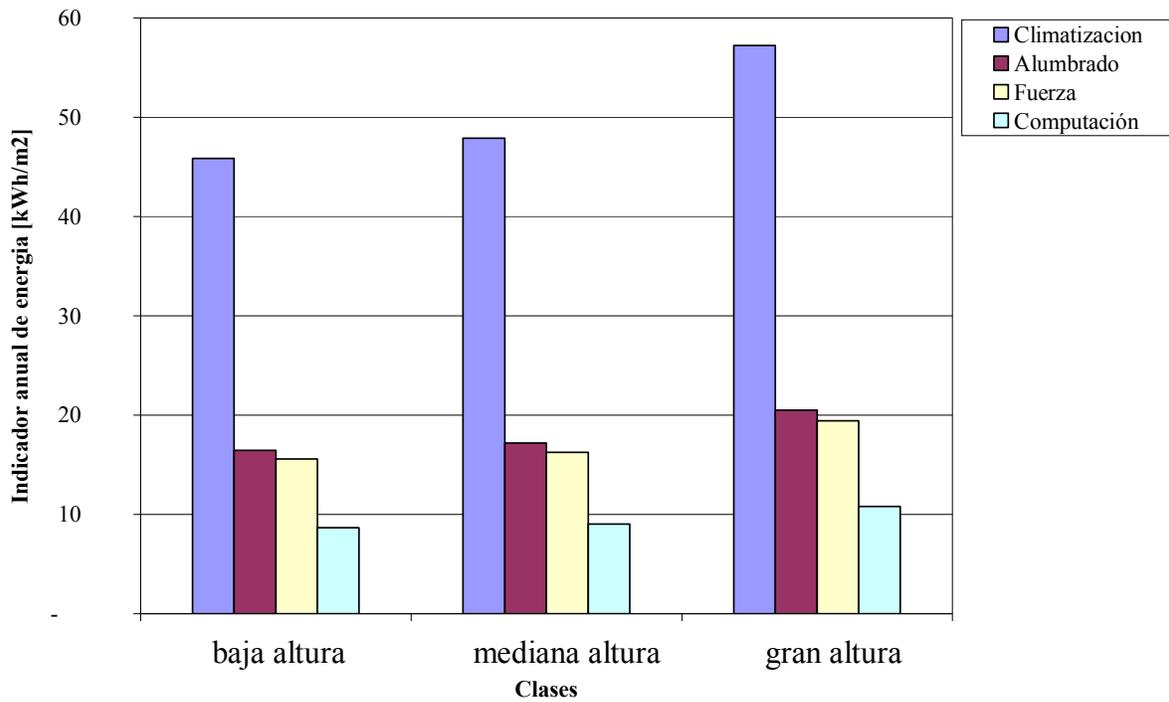


Gráfico 32: Indicador anual de energía con respecto a las clases de edificios

4.6 Costos

Otro de los análisis importantes es de los costos que se incurre en energía y agua potable para el correcto funcionamiento de los edificios de oficina. Este indicador anual de los costos es con respecto a la superficie, para ser coherente con los anteriores, además de comparar con los valores referenciales de precios de arriendos mensuales de oficinas por superficie.

Se tiene el siguiente valor referencial de arriendo anual de una oficina por superficie:

$$\text{Arriendo mensual} = 0,5 \text{ UF/m}^2 = 9.486 \text{ \$/m}^2 \rightarrow \text{arriendo anual} = 113.832 \text{ \$/m}^2$$

El indicador anual de costos por las distintas clases se detalla a continuación.

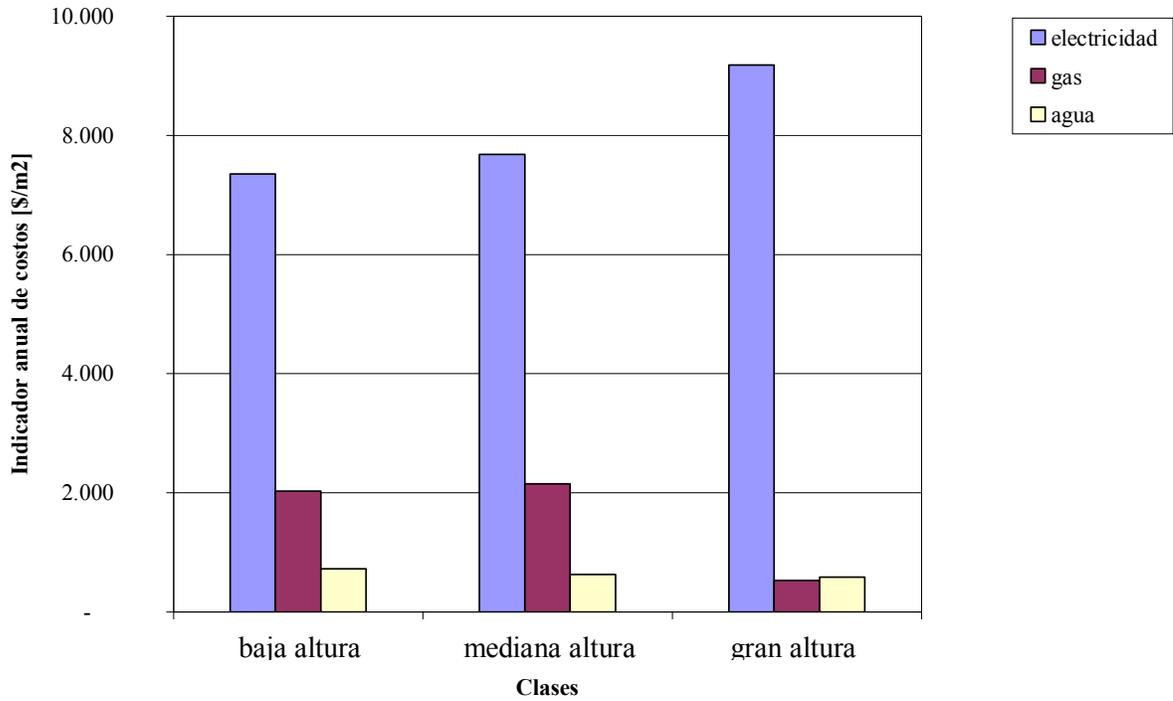


Gráfico 33: Indicador anual de energía y agua con respecto a las clases de edificios

De aquí se obtiene que en energía se gastan aproximadamente 9500 \$/m² y en agua potable 650 \$/m². Por lo tanto, el 9% del valor del arriendo de la oficina aproximadamente es igual a los costos en energía y agua.

4.7 Resumen

De los cálculos se obtienen los principales indicadores a los que apunta este estudio, los que son de consumo de energía y agua potable en edificios de oficina, según las distintas categorías utilizadas.

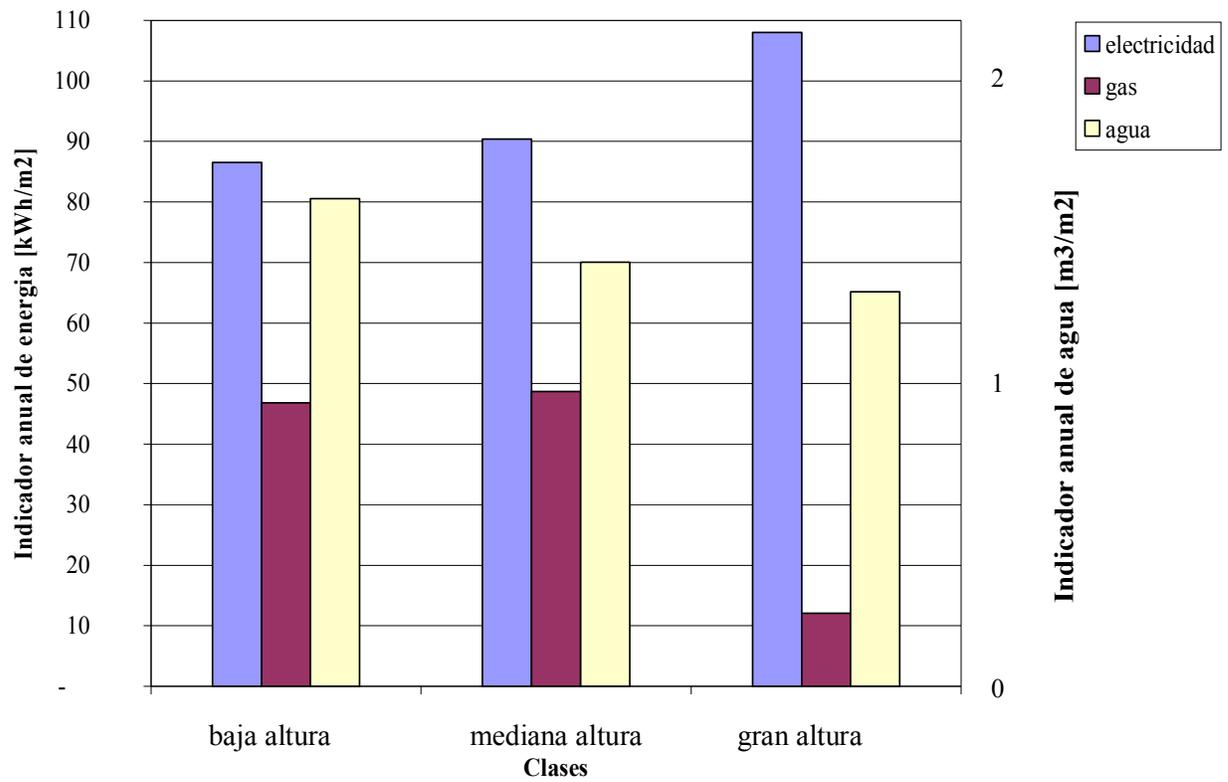


Gráfico 34: Indicador anual de energía y agua con respecto a las clases de edificios

Además, se obtienen algunos indicadores secundarios como los consumos mensuales, las emisiones de CO₂ y los costos, que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14: Resumen de cálculos de indicadores.

suministro	categoría	consumo promedio	unidad	periodo	emisiones CO ₂ (kg/m ²)	costo (\$/m ²)
gas natural	total	34,6	kWh/m ²	anual	6,23	1570
		3,99		mensual	0,7	130
agua	total	1,43	m ³ /m ²	anual	-----	647
		0,13		mensual	-----	54
	baja altura	1,61		anual	-----	725
		0,19		mensual	-----	60
	mediana altura	1,40		anual	-----	630
		0,12		mensual	-----	53
	gran altura	1,3		anual	-----	587
		0,11		mensual	-----	49
electricidad	total	95,4	kWh/m ²	anual	47,7	8072
		8		mensual	4	673
	baja altura	86,5		anual	43,25	7354
		7,2		mensual	3,6	613
	mediana altura	90,4		anual	45,2	7683
		7,5		mensual	3,75	640
	gran altura	109,8		anual	54,9	9178
		9,2		mensual	4,6	765

5 CONCLUSIONES Y DISCUSIONES

La muestra consistió en 130 edificios, con un total de 1,8 millones de metros cuadrados, de las 5 comunas que concentran la mayor cantidad de edificios de oficina: Las Condes, Santiago, Providencia, Huechuraba y Vitacura. De éstos se obtuvo la información de 14 edificios para gas natural, 91 para agua potable y 86 para electricidad. La información obtenida fue de calidad y específica para este estudio, con la cual se pudo realizar todos los cálculos esperados y obtener los resultados necesarios para el análisis de la situación de los edificios de oficina en Santiago.

El **gas natural** generalmente es de poco consumo en este tipo de edificios, siendo sus usos más comunes para la climatización o en cocinas. Hoy en día, este tipo de combustible está teniendo un crecimiento en el mercado para otros usos. El indicador anual es de 34,6 kWh/m² y la distribución durante el año muestra un mayor uso en los meses de junio y agosto, que son los meses de invierno, mientras que en los meses de verano los consumos son menores.

En el caso del **agua potable**, sus usos son principalmente en baños y cocinas (catering). Se puede observar que los indicadores anuales de la gran mayoría de los edificios en estudio se encuentran concentrados en el rango [0,48 ; 2,38], bastante cercanos al promedio de 1,43 m³/m². Al analizar su comportamiento durante el año, los índices más bajos están en los meses julio-septiembre, siendo prácticamente constantes en el resto de los meses. Con respecto a las categorías por pisos, el mayor índice se encuentra en los de baja altura, mientras que en los de gran y mediana altura éste es similar.

La **electricidad** es el recurso energético más usado en este tipo de edificios, tiene diferentes usos y es aquí donde se puede notar la situación energética de las oficinas. Para el caso de todos los edificios se calculó un promedio del indicador anual de 95,4 kWh/m², donde la gran mayoría de los índices de los edificios caen en el rango de [47,7 ; 143,1]. Referente al comportamiento del indicador durante el año, se aprecia una mayor diferencia entre los meses con respecto a los otros energéticos. Los meses con mayor consumo por metro cuadrado corresponden al periodo de verano, lo que se explica ya que las edificaciones, según el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), se construyen en base al invierno y además que en climatización se gasta más energía en reducir un grado centígrado dentro del inmueble que en

aumentar un grado (calefacción). En las distintas categorías de edificios —gran altura, mediana altura y baja altura— se puede observar que los de baja altura tienen un índice promedio anual menor y los de gran altura uno mayor. Esto último se debe principalmente al uso de ascensores o a las condiciones de borde. Con respecto al análisis mensual se sigue apreciando los peak de mayores índices de consumo en las épocas de verano e invierno y menores índices en otoño y primavera.

Considerando los **índices de emisiones**, se obtiene un total de más de 50 kg. de emisiones de CO₂ al año por metro cuadrado. Hay que observar que las emisiones debido al gas natural son preferentemente dentro de las oficinas, mientras que las emisiones debido a la electricidad son en los centros de conversión de energía (termoeléctricas). Este valor aumenta si se consideran los energéticos no analizados en este estudio, que son comúnmente usados en las oficinas, como el gas licuado en estufas o el petróleo.

Además, se realizó un análisis de la distribución de los consumos dentro de los edificios, obteniendo que el 50% del total corresponden a gastos directamente en las oficinas, o sea que se pueden asociar directamente a un dueño, y el 40% a servicios comunes, que son asociados de forma indirecta a los propietarios.

Al comparar los costos de energía (electricidad y gas natural) y agua potable, se obtiene que éstos corresponden a aproximadamente el 9% del arriendo por metros cuadrados de oficinas. Hay que incluir además los costos de energías por autogeneración o de otros tipos energéticos no estudiados. Siguiendo con el análisis, se debe agregar a este valor el porcentaje usado por los suministros por concepto del servicio común, llegando fácilmente entre el 14% a 15% del valor del arriendo, sin considerar por supuesto que los gastos comunes de un edificio no sólo involucran los costos de servicios básicos, sino además el sueldo de operarios y administrativos, entre otros. Considerando todo lo anterior, el coste de servicio común (incluyendo energía y agua potable) puede llegar fácilmente al 25% del arriendo de la oficina.

En el caso que se trate de una compra de oficina, hay que consignar que el valor mensual que se paga por dividendo es en un período más corto comparado con el servicio común, que se debe pagar por toda la vida útil del edificio. Muchas veces, la larga vida útil de los edificios hace

que sus aparatos, como la calefacción central, queden rápidamente obsoletos, aumentando por lo tanto los costos.

Otro tipo de distribución eléctrica que se realizó fue en base a la **potencia instalada**, la cual muestra lo calculado en los estudios de la etapa del proyecto del edificio. La mayor potencia (indirectamente el consumo eléctrico) es para la climatización, con el 53%; luego siguen el alumbrado y la fuerza, con un porcentaje cercano al 18%; y por último la computación, con el 10%. Generalmente, los consumos en los ámbitos de computación y fuerza dependen de los aparatos elegidos para ser usados y del comportamiento de los usuarios. En cambio, en la climatización y el alumbrado, aparte de tener estas variables asociadas al consumo, están las que fueron definidas en las etapas del proyecto y construcción de edificios, como la orientación de éstos y sus materiales. Aquí es cuando pequeñas decisiones e inversiones pueden significar grandes variaciones en los consumos y gastos energéticos.

El desarrollo de este trabajo de investigación ha permitido ver con claridad algunos aspectos que se considera deben seguir investigándose, pues se cree, que con ello se puede llegar a plantear nuevas soluciones a una serie de problemas que afectan hoy en día a este tipo de edificios. Hay que recordar que este tipo de estudio, realizado en función del benchmarking de desempeño, es un primer paso, es un análisis global de la situación actual de este tipo de edificios en una zona geográfica determinada. Por lo tanto, se debe seguir investigando tanto en mayor profundidad como en un análisis dinámico en el tiempo, para posteriormente poder utilizar esta información en el diseño de edificios de oficina.

El primer punto que se debe profundizar en este estudio –benchmarking estratégico o de procesos– corresponde a la realización de auditorías energéticas a alguno de los edificios que ya fueron estudiados, para así conocer sus instalaciones (tecnología, mantenimiento, etc.), calcular su rendimiento promedio (energía utilizada/ energía útil), y consignar la cantidad de trabajadores u otras variables importantes. Además se debe calcular, mediante algún programa computacional, la demanda proyectada del edificio para ser comparada con el consumo real. Y por último, analizar cuantitativamente cómo inciden los usuarios y administradores de los edificios en el consumo real.

Es importante poder aplicar un estudio similar a edificios de oficinas en otras zonas térmicas o geográficas del país, lo que permitirá tener una visión mas concreta del comportamiento de esta tipología. Además es recomendable realizar un estudio de distintos tipos de edificios, como hospitales, residenciales, hoteles, banco, etcétera.

Por último, insistir que los usuarios y administradores de los edificios son los responsables de la buena operación de éstos y el uso racional de la energía. Desde el momento de decidir qué edificio usar y cómo.

6 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

6.1 Referencias

Best Practice in the Specification of. Offices;BCO Guide 2000.

Departamento de catastro e inspección; dirección de obras Municipalidad de Providencia; [en línea] <http://catastro.providencia.cl>

Statistical Review of World Energy ; BP Energy Companies; 2007.

Aguas Andina S.A.; [en línea] www.aguasandinas.cl

Asociación nacional de Pymes, México; [en línea] www.contactopyme.gob.mx

Balance Nacional de Energía; 2005; Comisión Nacional de Energía de Chile.

Banco Central; [en línea]; www.bancocentral.cl

BCO Guide 2000 “Best Practice in the Specification of. Offices” presented by Tim Battle

Boletín nº38 2005, Prevención riesgos laborales UGT; [en línea], www..ugt.es

Byron W. Jones (Ph.D) et. al.; Simplified Method to Factor ; Mean Radiant Temperature (MRT) into Building and HVAC System Design; Departament of Mechanical Engineering 302 Durland Hall Kansas State University Manhattan.

Calefacción y biomasa; centro Nacional de energías renovables; CENER; 1er encuentro sobre energía, municipio y calentamiento global, Madrid.

CB Richard Ellis; Oficinas comerciales; Santiago de Chile

Censo 2002 Instituto Nacional de Estadísticas, INE; Santiago Chile; Marzo 2003.

Chilectra S.A. [en línea] www.chilectra.cl

Colliers Internacional ;The Knowledge Report; oficinas, Santiago. primer trimestre 2007

Comisión Nacional de Energía; [en línea] www.cne.cl

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático; 2004

Dirección General de Aeronáutica Civil DGAC; Chile; [en línea] www.dgac.cl

Dr. Allan r. Hoffman; The connection: Water and Energy Security, Energy Security; Intitute for the análisis the Global security ; 2004.

Enciclopedia OIT; Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo; volumen II, parte VI, cap. 46; Juan Guasch Farras; Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 2001

Estado de la Población Mundial United Nations Population Fund; UNFPA.

Frank A. Lewis; “Noise Levels in the Office” ;región III del Federal Employee Occupational Health, (FEOH).

Grupo de Gestion de la tecnología, Universidad politecnica de Madrid; [en línea] www.getec.etsit.upm.es

Guidelines for indoor thermal Comfort & Ventilation; The university of Sydney; [en línea], <http://www.usyd.edu.au>

M. King Hubbert; Nuclear Energy and the Fósil fuels; Princeton University Press; 2001

Mackenzie Hill ; Mercado de oficinas; Santiago de Chile; diciembre del 2006

Maiztegui y Sabato; Introducción a la física; séptima edición, Pág. 346; 1958.

Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica; Ministerio de Vivienda y Urbanismo MINVU; 1999

Mark A. Stenberg et al; Evaluating Thermal confort and Radiant Heat Transfer in a Radiantly Heated Enclosure; 1992

Metrogas S.A.;[en línea] www.metrogas .cl

Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales;[en línea] www.mtas.es.

NCH 2803 of 2003; Acústica – verificación de la calidad de la acústica de las construcciones

Norma básica de la edificación nbe-ca-88, sobre condiciones acústicas en los edificios, ISOVER;

Oficinas comerciales; CB Richard Ellis; Santiago de Chile; 2003

Programa país eficiencia energética de Chile; [en línea] www.ppee.cl

Statistical Review of World Energy ; BP Energy Companies; 2007

The Chartered Institution of Building Services Engineers; CIBSE (2001); CIBSE Society of Light and Lighting; [en línea] www.cibse.org

Thermal Comfort in Offices and Retail Outlets; [en línea], www.labour.gov.sk.ca

6.2 Bibliografía

Advanced Building News; International Initiative for a Sustainable Built Environment; IISBE; 2005 y 2006.

Approved consolidated baseline methodology ACM0002 – CDM Executive Board

Apuntes estadística; Nancy Lacourly; Universidad de Chile; 2002.

ENERGY STAR is a joint program of the U.S; Environmental Protection Agency and the U.S.; Department of Energy; <http://www.energystar.gov>

Filippin C.; Comportamiento energético de dos topologías de edificios escolares en distintas localizaciones geográficas y diferentes entornos; Santa Rosa, La Pampa.

Fundación Empresa Universidad de Granada; Guía de buenas prácticas ambientales de oficina; 2006.

García Dodero Vicente; Sanchez Albavera Fernando; Fundamento y anteproyecto de ley para promover la eficiencia energética en Venezuela; División de recursos naturales e infraestructura;

Proyecto CEPAL/ Comisión Europea “Promoción del uso eficiente de la energía en América Latina”; 2001.

Gonzalo Guillermo E.; Ledesma Sara L.; Evaluación de las condiciones físicas, ambientales y de consumo energético de viviendas unifamiliares; Instituto de acondicionamiento Ambiental – Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Tucumán, Argentina.

Gonzalo Guillermo E.; Nota Viviana M.; Determinación de zonas bioambientales para la provincia de Tucumán; Instituto de acondicionamiento Ambiental – Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Tucumán, Argentina.

Gonzalo Guillermo E.; Nota Viviana M.; Determinación de índices de consumo de energía para distintas funciones edilicias en el área de San Miguel de Tucumán; Instituto de acondicionamiento Ambiental – Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Tucumán, Argentina.

Guía sobre el ahorro energético en oficinas; Departamento de Medio Ambiente de CC.OO. de Aragón; Barcelona España.

Henze Gregor P; Building Energy Management as a Continuous Quality Control Process; University of Nebraska; Lincoln Architectural Engineering; Nebraska, USA.

Molina Felix, José; Alvares Domínguez Servando; Requisitos para la Limitación de Demanda Energética de los Edificios; Escuela Superior de Ingenieros; Universidad de Sevilla.

Plan energético de Andalucía 2003 – 2006; Consejería de empleo y desarrollo tecnológico; 2003.
Revista Índice; Petróleo y consumo energético mundial; varias posturas ante una misma realidad
Shrestha Ram M; Sudhir Sharma; Baseline Methodologies for clean development Mechanism Projects; UNEP; 2005.

TBE Chile, Gestión Inteligente de Energía; Auditoria Energética para Edificio Institucional de Teatinos 120; Santiago de Chile; 2006.

7 ANEXOS

7.1 Anexo 1: Estadística

7.1.1 Población y muestra

La población representa el conjunto de individuos o elementos que se desea estudiar y generalmente suele ser inaccesibles. Es, en definitiva, un colectivo homogéneo que reúne las características determinadas. La muestra es el conjunto menor de individuos (subconjunto de la población, sobre la cual se realizaran las mediciones o experimento, con la idea de obtener conclusiones generales de la población). La muestra debe ser representativa de la población y con ello se quiere decir que cada individuo tenga una equiprobabilidad de ser elegido. El individuo es cada uno de los componentes de la población o muestra.

7.1.2 Medidas de tendencia central

Dan un centro de la distribución de frecuencias, es un valor que se puede tomar como representativo de todos los datos. Hay diferentes modos para definir el "centro" de las observaciones en un conjunto de datos. Por orden de importancia, son:

Media: (media aritmética o simplemente media). es el promedio aritmético de las observaciones, es decir, el cociente entre la suma de todos los datos y el número de ellos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Moda o Clase modal: es el valor o el intervalo que se repite más veces en una variable. Dicho de otra manera es aquel valor o categoría de la variable que presenta la mayor frecuencia en una distribución. Sirve como descripción de la variable en el sentido de ser el dato o clase más representativo por ser el más frecuente. Como puede existir más de una clase o dato con la máxima frecuencia, la moda no es necesariamente única.

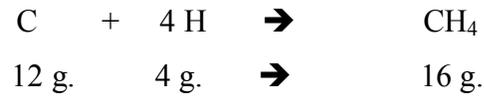
7.1.3 Medidas de dispersión

Desviación típica (S o σ): La varianza viene dada por las mismas unidades que la variable pero al cuadrado, para evitar este problema se puede usar como medida de dispersión la desviación típica que se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza. La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos del valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto de la media aritmética. Una desviación estándar grande indica que los puntos están lejos de la media, y una desviación pequeña indica que los datos están agrupados cerca de la media. El término *desviación estándar* fue incorporado a la estadística por Karl Pearson en 1894.

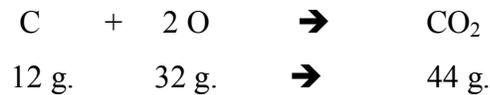
$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

7.2 Anexo 2: Cálculo emisiones de CO₂ del gas natural

El gas natural está compuesto casi en un 95% por metano, por lo tanto su composición química y peso son los siguientes:



Por otro lado se tiene la composición química y peso del dióxido de carbono.



Y la reacción de combustión del gas natural y a su vez, producción de dióxido de carbono es la siguiente.



Por lo tanto, 16 g. de gas natural (metano) producen 44 g. de dióxido de carbono y conociendo la densidad del gas natural de 0,7 kg/m³, se tiene la siguiente proporción.



$$X = 1925 \text{ g. CO}_2$$

Entonces 1 m³ de gas natural producen 1,93 kg de dióxido de carbono (CO₂)

7.3 Anexo 3: Densidades y poderes caloríficos

Tabla 15: Densidades y poderes caloríferos

producto	densidad [ton/m ³]	Poder calorífico [kcal/kg]	
petróleo crudo nacional	0,825	10.963	(*)
petróleo crudo importado	0,855	10.860	
petróleo combustible 5	0,927	10.500	
petróleo combustible IFO 180	0,936	10.500	
petróleo combustible 6	0,945	10.500	
Nafta	0,700	11.500	
gas licuado	0,550	12.100	(**)
gasolina automoviles	0,730	11.200	
gasolina aviación	0,700	11.400	
kerosene aviación	0,810	11.100	
kerosene	0,810	11.100	
Diesel	0,840	10.900	
gas natural procesado	-	9.341	(**)
Leña	-	3.500	
Carbón	-	7.000	(***)
Biogas	-	4.000	
Gas de refinería	-	4.260	
Electricidad	-	860	(***)

Fuente: Balance nacional de energía 2005; Comisión Nacional de Energía

(*) Promedio Isla, Continente y Costa Afuera

(**) KCal/m³

(***) KCal/KWh (Equivelente Calórico Teórico Internacional)

ÍNDICE ALFABÉTICO

Agua potable	33
Análisis de datos	69
Análisis de la situación local	20
Análisis de la situación mundial	15
Anexos	106
Antecedentes generales y teóricos	9
Aspectos estadísticos de edificios de oficina	34
Balance energético	38
Benchmarking	21
Beneficios de la eficiencia energética	15
Bibliografía	102
Cálculos	73
Calidad del aire	45
Cambio climático y efecto invernadero	19
Cambio climático	20
Características comunes a los edificios enfermos	53
Clasificación de los edificios de oficina	69
Conclusiones y discusiones	94
Confort acústico	49
Confort de iluminación	48
Confort térmico	41
Costos económicos	56
Crisis energética	16
Definición de energía	10
Determinación costos asociados a energía y agua potable, con respecto a costos por concepto de arriendo o compra de oficinas	71
Determinación de emisiones de CO ₂	72
Determinación de indicadores energéticos e hídricos y su medición	70
Determinar estructura de abastecimiento energético	69
Efecto invernadero	19
Eficiencia energética	14

El rol del agua	13
Energía por sectores	28
Energía y tipos de energía	10
Energías primarias	25
Energías secundarias	27
Espacio muestral por comunas	65
Espacio muestral	63
Estándar de confort en una oficina	40
Estrategia de análisis	58
Evaluación	72
Exposición de problema e hipótesis	58
Factores de confort	52
Fuentes de energía	10
Gas natural	31
Habitabilidad en un edificio de oficina	38
Humedad relativa (HR)	42
Indicadores de desempeño en Chile	25
Introducción	9
La guerra del agua	17
Levantamiento de datos.	61
Metodología de trabajo	58
Movimiento de aire (va)	44
Objetivos generales y específicos	59
Peak del petróleo	16
Posibles factores de riesgo	55
Producción de servicios básicos domiciliarios	30
Referencias y bibliografía	99
Referencias	99
Resumen cálculos	92
Sector comercial, público y residencial	28
Síndrome del edificio enfermo	52
Síntomas y diagnóstico	54
Temperatura del aire (ta)	41

Temperatura radiante (tr)	44
Tipos de benchmarking	23
Tipos de energía	11