



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y AGUA SANITARIA EN
EDIFICIOS DE OFICINAS DE SANTIAGO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

FELIPE IGNACIO CABRERA TORRES

**PROFESOR GUÍA:
ROLF SIELFELD CORVALÁN**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA
DAVID CAMPUSANO BROWN**

**SANTIAGO DE CHILE
NOVIEMBRE 2008**

RESUMEN DE LA MEMORIA
 PARA OPTAR AL TÍTULO DE
 INGENIERO CIVIL
 POR: FELIPE CABRERA TORRES
 FECHA: 04/11/2008
 PROF. GUIA: Sr. ROLF SIELFELD C.

“CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y AGUA SANITARIA EN EDIFICIOS DE OFICINAS DE SANTIAGO”

El objetivo general del presente trabajo de título es contribuir al uso eficiente de la energía aplicado a edificios de oficinas. Específicamente mostrar la distribución del consumo energético, aportar con los resultados a la generación de conocimientos para incentivar al sector privado a cambiar las prácticas en uso de energía y al fomento de construcciones que reduzcan los consumos, minimizando las emisiones de CO₂.

Se estudió el desarrollo de políticas y aplicaciones de programas en torno a la eficiencia energética asociados a este tipo de edificios en el extranjero. Se obtuvo una visión del desarrollo en distintos países, se encontraron los indicadores más utilizados, metodologías para auditorías energéticas, recomendaciones de uso eficiente y parámetros de eficiencia.

Se visitaron los edificios que participaron en este trabajo con el fin de obtener, a través de una ficha de benchmarking, sus consumos mensuales de energía y agua sanitaria, y realizar un catastro de los equipos consumidores de energía. Con los datos recopilados se calculó la distribución del consumo de energía y se elaboraron indicadores para cada establecimiento. A través del cálculo de percentiles de la muestra se proponen indicadores de eficiencia para consumos de energía, total y desagregada, y consumo de agua sanitaria. Además se creó un modelo empírico de consumo de climatización con el método de mínimos cuadrados.

En el consumo anual de energía un 40,21% se gasta en climatización, 33,27% en iluminación, 8,63% en computación y 17,90% en otros (ascensores, bombas de agua, sistemas de seguridad, etc.). Los indicadores anuales, tanto promedio como de consumo eficiente, se resumen en la siguiente tabla:

Consumo	Unidad	Indicador promedio	Indicador eficiente		
			Buenas Prácticas	Valor típico	Uso excesivo
ENERGÍA	kWh/m ²	180,77	165,36	185,95	203,07
Climatización	kWh/m ²	80,31	66,22	82,41	93,89
Iluminación	kWh/m ²	40,51	32,92	42,44	47,62
Computación	kWh/m ²	19,76	17,40	20,61	21,92
Otros	kWh/m ²	17,79	14,56	19,79	20,52
AGUA	m ³ /m ²	1,55	1,07	1,48	1,68

Se concluye que:

1. Existen marcadas diferencias en la gestión energética de los edificios.
2. La mayor parte del consumo está asociado a la climatización.
3. El indicador kWh/m² no muestra la relación entre confort y eficiencia.
4. Se deben fijar propios parámetros de eficiencia energética.
5. La etapa de diseño es fundamental para prevenir futuros excesos de consumo.

*A mi familia,
padres y
hermanas.*

*A mi polola y a mi
hijo Lucas.*

AGRADECIMIENTOS

Mis sinceros agradecimientos a quienes contribuyeron en forma directa al trabajo, ya sea colaborando con información ó realizando comentarios para el mejoramiento del mismo.

A Adolfo Ovalle Valdivieso, director división inmobiliaria de la consultora internacional Mackenzie Hill, por facilitar los contactos con empresas administradoras. A Juan Carlos Latorre de inmobiliaria Las Bellotas y Eva Nicul de CB Richard Ellis por su interés y participación en el estudio.

A todos los Jefes de Operaciones de los edificios visitados por su tiempo y disposición en contestar las preguntas relativas al estudio. A Jaime Salazar y Carlos García por su atención e interés en colaborar con información.

A mi profesor guía Rolf Sielfeld por su atención, colaboración, disposición en aclararme las dudas surgidas en el desarrollo del estudio y la corrección del mismo, aportando ideas y observaciones. Al profesor Miguel Bustamante por los aportes y comentarios realizados que ayudaron a mejorar el estudio y al profesor David Campusano por interés constante en ayudar de una forma u otra con el trabajo.

A Williams Arévalo por su colaboración logística y a Carlos Ramírez por sus conocimientos estadísticos.

También quisiera agradecer a quienes participaron en forma indirecta. A mis amigos y compañeros de la universidad por pasar estos 6 años de mi vida llenos de momentos de estudio y ocio los cuales nunca olvidaré. Gracias por ser mis confidentes, consejeros, hermanos de rock n roll, compañeros de ocio, etc.

A mis padres, Nilda y Pedro, por su constante esfuerzo y sacrificio en entregarme una buena educación, comprenderme en los momentos difíciles y respaldarme en todas las decisiones que he tomado; gracias por ser la persona que soy, no me cabe duda que sin su apoyo no hubiese dado los pequeños pasos para ser una persona íntegra. A mis hermanas Alejandra y Carolina por su eterno apoyo y comprensión.

Finalmente a mi polola Pamela por vivir este periodo conmigo, comprenderme en aquellos momentos que no estuve a su lado por trabajar en este estudio, por apoyarme en todas las instancias y regalarme esas palabras y sonrisas que me levantaban el ánimo en los momentos difíciles.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
<u>1.1.- ALCANCE.....</u>	<u>2</u>
<u>1.2.- OBJETIVOS.....</u>	<u>3</u>
<u>1.2.1.- Objetivo general.....</u>	<u>3</u>
<u>1.2.2.- Objetivos específicos.....</u>	<u>3</u>
<u>1.3.- ANTECEDENTES.....</u>	<u>3</u>
CAPÍTULO 2.....	5
ASPECTOS TEÓRICOS.....	5
<u>2.1.- EFICIENCIA ENERGÉTICA.....</u>	<u>5</u>
<u>2.1.1.- Concepto de eficiencia energética.....</u>	<u>5</u>
<u>2.1.2.- Reducciones de energía debido a esta política.....</u>	<u>6</u>
<u>2.1.3.- Eficiencia energética en el mundo.....</u>	<u>8</u>
<u>2.1.4.- Realidad local.....</u>	<u>11</u>
<u>2.1.4.1.- Medidas adoptadas.....</u>	<u>13</u>
<u>2.2.- BENCHMARKING.....</u>	<u>15</u>
<u>2.2.1.- Definición de benchmarking.....</u>	<u>15</u>
<u>2.2.2.- Aspectos y categorías del benchmarking.....</u>	<u>16</u>
<u>2.2.3.- Metodología de benchmarking.....</u>	<u>18</u>
CAPÍTULO 3.....	21
METODOLOGÍA.....	21
<u>3.1.- MERCADO DE OFICINAS DE SANTIAGO.....</u>	<u>21</u>
<u>3.1.1.- Informe Mercado de Oficinas.....</u>	<u>21</u>
<u>3.1.1.1.- Producciones anuales, absorción y tasas de vacancias.....</u>	<u>23</u>
<u>3.2.- PROSPECCIÓN DE METODOLOGÍAS E INDICADORES DE DESEMPEÑO PARA CARACTERIZACIÓN DE LOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DE EDIFICIOS DE OFICINA APLICADA EN EL EXTRANJERO.....</u>	<u>27</u>
<u>3.2.1.- Políticas e indicadores de eficiencia energética en el mundo.....</u>	<u>27</u>
<u>3.2.2.- Metodologías.....</u>	<u>37</u>
<u>3.3.- DISEÑO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO.....</u>	<u>39</u>
<u>3.3.1.- Levantamiento de datos.....</u>	<u>39</u>
<u>3.3.1.1.- Estrategia para la obtención de datos.....</u>	<u>39</u>
<u>3.3.1.2.- Desarrollo de la ficha de benchmarking o encuesta.....</u>	<u>40</u>
<u>3.3.1.3.- Espacio muestral: tamaño, identificación y características de la muestra.....</u>	<u>41</u>
<u>3.3.1.4.- Proceso de encuestado.....</u>	<u>43</u>
<u>3.3.1.5.- Procedimiento de cálculo para la estimación de consumos desagregados.....</u>	<u>43</u>
<u>3.3.2.- Análisis de datos.....</u>	<u>48</u>
<u>3.3.2.1.- Consumo de energía.....</u>	<u>48</u>
<u>3.3.2.2.- Consumo de agua sanitaria.....</u>	<u>49</u>
<u>3.3.2.3.- Costos.....</u>	<u>49</u>
<u>3.3.3.- Desarrollo y análisis de sensibilidad de indicadores.....</u>	<u>49</u>
<u>3.3.4.- Desarrollo de un sistema de benchmarking.....</u>	<u>50</u>
<u>3.3.5.- Modelación empírica de consumos.....</u>	<u>50</u>
CAPÍTULO 4.....	51
CONSUMOS Y COSTOS DE ENERGÍA Y AGUA SANITARIA.....	51
<u>4.1.- CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA DE EDIFICIOS.....</u>	<u>51</u>

4.1.1.- Tamaño de la muestra.....	51
4.1.2.- Ficha técnica.....	52
4.1.3.- Participación por comuna.....	53
4.2.- DETALLE DE CONSUMOS MENSUALES DE ENERGÍA.....	54
4.2.1.- Caracterización del consumo.....	54
4.2.2.- Consumos mensuales.....	56
4.2.3.- Estudio de posibles indicadores y su correlación con el consumo.....	59
4.2.3.1.- Superficie del establecimiento.....	59
4.2.3.2.- Clima.....	60
4.2.4.- Comparación entre establecimientos.....	66
4.3.- DETALLE DE CONSUMOS MENSUALES DE AGUA SANITARIA.....	68
4.3.1.- Consumos mensuales.....	68
4.3.2.- Estudio de posibles indicadores y su correlación con el consumo.....	70
4.3.2.1.- Superficie del establecimiento.....	70
4.3.2.2.- Clima.....	71
4.3.3.- Comparación entre establecimientos.....	73
4.4.- COSTOS DE ENERGÍA Y AGUA SANITARIA.....	75
4.4.1.- Costos mensuales.....	75
4.4.2.- Comparación entre establecimientos.....	77
4.4.3.- Análisis del efecto de variación de precios unitarios.....	78
4.5.- EVALUACIÓN DE INDICADORES.....	82
4.5.1.- Evaluación y clasificación de indicadores de energía.....	82
4.5.2.- Evaluación y clasificación de indicadores de agua.....	86
4.6.- CONSTRUCCIÓN DE PARÁMETROS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	88
4.6.1.- Parámetros consumo de energía.....	88
4.6.2.- Parámetros consumo de agua.....	93
4.7.- MODELACIÓN EMPÍRICA DE CONSUMOS.....	93
4.7.1.- Modelo de refrigeración.....	94
4.7.2.- Modelo de calefacción.....	96
4.7.3.- Comparación entre consumos reales y estimados.....	97
4.8.- CONSUMOS Y CARACTERIZACIÓN EDIFICIOS FALTANTES.....	102
4.8.1.- Caracterización del consumo.....	102
4.8.2.- Relación entre el consumo de energía y consumo de agua sanitaria.....	105

RECOMENDACIONES Y APLICACIONES PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE OFICINA.....107

5.1.- ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO.....	107
5.1.1.- Ubicación y orientación.....	108
5.1.2.- Envoltente del edificio.....	108
5.1.2.1.- Materiales aislantes.....	109
5.1.2.2.- Puentes térmicos.....	110
5.1.2.3.- Muros.....	111
5.1.2.4.- Puertas, acristalamientos y tipo de carpintería.....	115
5.1.3.- Climatización.....	117
5.1.3.1.- Calefacción.....	118
5.1.3.2.- Refrigeración.....	121
5.1.4.- Recomendaciones de uso eficiente.....	122
5.1.4.1.- Recomendaciones de carácter general.....	122
5.1.4.2.- Climatización.....	123
5.2.- ILUMINACIÓN.....	124
5.2.1.- Tipos de lámparas.....	125
5.2.1.1.- Ejemplo práctico.....	127
5.2.2.- Sistemas de iluminación.....	128
5.2.3.- Control de iluminación.....	129
5.2.3.1.- Sistemas control relacionados con el grado de ocupación.....	129
5.2.3.2.- Sistemas control relacionados con la luz del día.....	130
5.2.3.3.- Sistemas de gestión de la iluminación.....	131

5.3.- EQUIPOS DE COMPUTACIÓN.....	132
5.3.1.- Configuración de equipos en modo de ahorro.....	132
5.4.- AGUA SANITARIA.....	136
5.4.1.- Acciones y consideraciones para ahorrar agua.....	136
5.4.2.- Equipos para ahorrar agua.....	138
5.4.2.1.- Griferías de lavamanos.....	138
5.4.2.2.- Inodoros (WC).....	140
5.4.2.3.- Técnicas sin agua.....	141
5.4.3.- Consejos generales para economizar agua.....	142
CAPÍTULO 6.....	144
COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.....	144
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152
BIBLIOGRAFÍA.....	154
ANEXO 1: ENCUESTA DE BENCHMARKING.....	156
ANEXO 2: FÓRMULAS DE CÁLCULOS DE CONSUMOS ENERGÉTICOS.....	166
ANEXO 3: ESTADÍSTICA.....	167
3.1.- MEDIDAS DE POSICIÓN.....	167
3.2.- PRUEBA DE HIPÓTESIS ESTADÍSTICAS.....	170
3.3.- MÉTODO MÍNIMOS CUADRADOS.....	172
3.3.1.- Test de hipótesis sobre el modelo de mínimos cuadrados.....	174
3.3.1.1.- Corrección debido a la autocorrelación.....	176
3.3.1.2.- Límites de la estadística de Durbin-Watson.....	178

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: BENCHMARKS PROMEDIOS ANUALES DE ENERGÍA SEGÚN EMSD.....	31
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE OFICINAS DE ACUERDO AL CONSUMO ANUAL SEGÚN BRESCU.....	33
TABLA 3: CLASIFICACIÓN DE OFICINAS DE ACUERDO AL COSTO ANUAL SEGÚN BRESCU.....	33
TABLA 4: INDICADORES PARA CONSUMO DE AGUA SEGÚN CIRIA.....	33
TABLA 5: VALORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN EXERGY.....	34
TABLA 6: CLASIFICACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA NORMALIZADO SEGÚN EXERGY.....	35
TABLA 7: FORMATO FICHA TÉCNICA DE LA MUESTRA.....	42
TABLA 8: DISTINTOS MODELOS DE FANCOILS.....	47
TABLA 9: RESUMEN TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	52
TABLA 10: FICHA TÉCNICA PARA LA MUESTRA.....	52
TABLA 11: PARTICIPACIÓN POR COMUNA.....	53
TABLA 12: CONSUMOS ANUALES CARACTERIZADOS (KWH).....	54
TABLA 13: CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL Y SUPERFICIE NETA DEL EDIFICIO..	59
TABLA 14: FACTORES DE UTILIZACIÓN PARA CHILLER.....	61
TABLA 15: CONSUMO DE AGUA ANUAL Y SUPERFICIE NETA DEL EDIFICIO.....	70
TABLA 16: BENCHMARKS PROMEDIOS ANUALES DE ENERGÍA SEGÚN EMSD.....	82
TABLA 17: CLASIFICACIÓN SEGÚN EMSD.....	82
TABLA 18: CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS SEGÚN EMSD.....	83
TABLA 19: CLASIFICACIÓN DE OFICINAS DE ACUERDO AL CONSUMO ANUAL SEGÚN BRESCU.....	83
TABLA 20: CLASIFICACIÓN DE OFICINAS DE ACUERDO AL COSTO ANUAL SEGÚN BRESCU.....	83
TABLA 21: CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS DE ACUERDO A ENERGÍA SEGÚN BRESCU.....	84
TABLA 22: CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS DE ACUERDO A COSTOS SEGÚN BRESCU.....	84
TABLA 23: VALORES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SEGÚN EXERGY.....	84
TABLA 24: CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS SEGÚN EXERGY.....	84
TABLA 25: RANKING DE EDIFICIOS SEGÚN ENERGY STAR.....	85
TABLA 26: RESUMEN CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS PARA EL CONSUMO DE ENERGÍA SEGÚN EL CRITERIO OCUPADO.....	86

TABLA 27: INDICADORES PARA EL CONSUMO DE AGUA SEGÚN CIRIA.....	86
TABLA 28: CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS SEGÚN CIRIA.....	87
TABLA 29: CLASIFICACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA NORMALIZADO SEGÚN EXERGY.....	87
TABLA 30: CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS SEGÚN EXERGY.....	87
TABLA 31: RESUMEN CLASIFICACIÓN DE EDIFICIOS PARA CONSUMO DE AGUA SEGÚN CRITERIO OCUPADO.....	88
TABLA 32: PARÁMETROS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA.....	92
TABLA 33: PARÁMETROS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EL CONSUMO ANUAL DE AGUA.....	93
TABLA 34: RESUMEN DE REGRESIONES PARA EL CONSUMO MENSUAL DE REFRIGERACIÓN.....	95
TABLA 35: RESUMEN DE REGRESIONES PARA EL CONSUMO MENSUAL DE REFRIGERACIÓN LUEGO DE LA CORRECCIÓN DEBIDO A LA AUTOCORRELACIÓN.....	95
TABLA 36: RESUMEN DE REGRESIONES PARA EL CONSUMO MENSUAL DE CALEFACCIÓN.....	96
TABLA 37: DIFERENCIAS PORCENTUALES ENTRE CONSUMO REAL Y ESTIMADO DE REFRIGERACIÓN.....	98
TABLA 38: DIFERENCIAS PORCENTUALES ENTRE CONSUMO REAL Y ESTIMADO DE CALEFACCIÓN.....	101
TABLA 39: CARACTERIZACIÓN PARA LOS EDIFICIOS RESTANTES.....	103
TABLA 40: CONSUMOS ANUALES ESTIMADOS DE ENERGÍA Y AGUA SANITARIA.....	106
TABLA 41: MATERIALES ASILANTES.....	109
TABLA 42: VENTAJAS Y LIMITACIONES DE ASILAMIENTO POR EL INTERIOR Y EXTERIOR.....	111
TABLA 43: VALORES “K” PARA DISTINTOS TIPOS DE VENTANA.....	116
TABLA 44: TIPOS DE PROTECCIONES SOLARES.....	117
TABLA 45: TIPOS DE ACUMULADORES.....	119
TABLA 46: POTENCIAS DE ACUMULADORES.....	119
TABLA 47: INCREMENTO DE EFICIENCIA KW/KW.....	121
TABLA 48: RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE DISTINTOS TIPOS DE LUMINARIAS.....	125
TABLA 49: CUADRO COMPARATIVO.....	126
TABLA 50: CARACTERÍSTICAS DE LÁMPARAS.....	127
TABLA 51: DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE DISTINTOS TIPOS DE GRIFERÍAS PARA LAVAMANOS.....	138

TABLA 52: INDICADORES DE ENERGÍA PARA LA MUESTRA EN KWH/M2.....	147
TABLA 53: PARÁMETROS DE EFICIENCIA.....	149
TABLA 54: PARÁMETROS DE EFICIENCIA PARA CONSUMOS CARACTERIZADOS.	
.....	149

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: RELACIÓN DEL PIB Y CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA.....	12
GRÁFICO 2: PROYECCIÓN CONSUMO ENERGÍA PRIMARIA.....	13
GRÁFICO 3: PRODUCCIONES ANUALES DE OFICINAS.....	23
GRÁFICO 4: PRODUCCIONES ANUALES DE OFICINAS ÚLTIMOS 5 AÑOS.....	24
GRÁFICO 5: PROYECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE OFICINAS.....	24
GRÁFICO 6: TASAS DE VACANCIAS, PRODUCCIÓN Y ABSORCIÓN ANUALES DE OFICINAS.....	25
GRÁFICO 7: NIVELES DE PARTICIPACIÓN DE OFICINAS POR COMUNA.....	26
GRÁFICO 8: PROYECCIÓN NIVELES DE PARTICIPACIÓN DE OFICINAS.....	27
GRÁFICO 9: PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN ANUAL POR ESTABLECIMIENTO.	55
GRÁFICO 10: PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN PARA EL PROMEDIO ANUAL DE LA MUESTRA.....	55
GRÁFICO 11: DIVISIÓN DE LA CLIMATIZACIÓN PARA EL PROMEDIO ANUAL DE LA MUESTRA.....	56
GRÁFICO 12: CONSUMO TOTAL ANUAL DE ENERGÍA.....	56
GRÁFICO 13: CONSUMO PROMEDIO ANUAL DE ENERGÍA.....	57
GRÁFICO 14: EMISIONES TOTALES ANUALES DE CO2.....	58
GRÁFICO 15: EMISIONES PROMEDIAS ANUALES CO2.....	58
GRÁFICO 16: CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL V/S SUPERFICIE NETA.....	60
GRÁFICO 17: CLIMOGRAMA DE SANTIAGO.....	61
GRÁFICO 18: COMPARACIÓN CONSUMO PROMEDIO DE REFRIGERACIÓN V/S TEMPERATURA MEDIA.....	62
GRÁFICO 19: REGRESIÓN CONSUMO PROMEDIO MENSUAL V/S TEMPERATURA MEDIA.....	62
GRÁFICO 20: REGRESIÓN INDICADOR PROMEDIO DE REFRIGERACIÓN V/S TEMPERATURA MEDIA.....	63
GRÁFICO 21: COMPARACIÓN CONSUMO PROMEDIO DE CALEFACCIÓN V/S TEMPERATURA MEDIA.....	64
GRÁFICO 22: COMPARACIÓN CONSUMO PROMEDIO DE CALEFACCIÓN V/S INVERSA DE TEMPERATURA MEDIA.....	64
GRÁFICO 23: REGRESIÓN CONSUMO PROMEDIO DE CALEFACCIÓN V/S TEMPERATURA MEDIA.....	65
GRÁFICO 24: REGRESIÓN INDICADOR PROMEDIO DE CALEFACCIÓN V/S TEMPERATURA MEDIA.....	65

GRÁFICO 25: CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA POR SUPERFICIE.....	66
GRÁFICO 26: COMPARACIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN DE CONSUMOS ANUALES DE ENERGÍA.....	67
GRÁFICO 27: COMPARACIÓN DE EMISIONES ANUALES DE CO2.....	68
GRÁFICO 28: CONSUMOS TOTAL ANUAL DE AGUA.....	69
GRÁFICO 29: CONSUMO PROMEDIO ANUAL DE AGUA.....	69
GRÁFICO 30: CONSUMO DE AGUA ANUAL V/S SUPERFICIE NETA.....	70
GRÁFICO 31: COMPARACIÓN CONSUMO PROMEDIO DE AGUA V/S TEMPERATURA MEDIA.....	71
GRÁFICO 32: COMPARACIÓN INDICADOR PROMEDIO DE AGUA V/S TEMPERATURA MEDIA.....	72
GRÁFICO 33: REGRESIÓN CONSUMO PROMEDIO DE AGUA V/S TEMPERATURA MEDIA.....	72
GRÁFICO 34: REGRESIÓN INDICADOR PROMEDIO DE AGUA V/S TEMPERATURA MEDIA.....	73
GRÁFICO 35: CONSUMO ANUAL DE AGUA POR SUPERFICIE.....	74
GRÁFICO 36: COSTO TOTAL ANUAL DE ENERGÍA.....	75
GRÁFICO 37: COSTO PROMEDIO ANUAL DE ENERGÍA.....	76
GRÁFICO 38: COSTO TOTAL ANUAL DE AGUA.....	76
GRÁFICO 39: COSTO PROMEDIO ANUAL DE AGUA.....	77
GRÁFICO 40: COSTO ANUAL DE ENERGÍA POR SUPERFICIE.....	77
GRÁFICO 41: COSTO ANUAL DE AGUA POR SUPERFICIE.....	78
GRÁFICO 42: CONTRASTE ENTRE CONSUMO PROMEDIO Y PRECIO UNITARIO PROMEDIO DE ENERGÍA.....	79
GRÁFICO 43: CONTRASTE ENTRE CONSUMO PROMEDIO Y PRECIO UNITARIO PROMEDIO DE AGUA.....	79
GRÁFICO 44: COSTOS POR SUPERFICIE ANUALES DE ENERGÍA POR ESTABLECIMIENTO.....	80
GRÁFICO 45: DIFERENCIA ENTRE PU PROMEDIO – PU DIFERENCIADO ENERGÍA.....	80
GRÁFICO 46: COSTOS POR SUPERFICIE ANUALES DE AGUA POR ESTABLECIMIENTO.....	81
GRÁFICO 47: DIFERENCIA ENTRE PU PROMEDIO – PU DIFERENCIADO AGUA....	81
GRÁFICO 48: CURVA PARA EL CONSUMO ANUAL TOTAL DE ENERGÍA.....	89
GRÁFICO 49: CURVA PARA EL CONSUMO TOTAL ANUAL DE REFRIGERACIÓN..	89
GRÁFICO 50: CURVA PARA EL CONSUMO TOTAL ANUAL DE CALEFACCIÓN.....	90
GRÁFICO 51: CURVA PARA EL CONSUMO TOTAL ANUAL DE CLIMATIZACIÓN.....	90
GRÁFICO 52: CURVA PARA EL CONSUMO TOTAL ANUAL DE ILUMINACIÓN.....	91

GRÁFICO 53: CURVA PARA EL CONSUMO TOTAL ANUAL DE COMPUTACIÓN.....	91
GRÁFICO 54: CURVA PARA EL CONSUMO TOTAL ANUAL PARA OTROS.....	92
GRÁFICO 55: CURVA PARA EL CONSUMO TOTAL ANUAL PARA AGUA.....	93
GRÁFICO 56: CONSUMOS REALES V/S ESTIMADOS DE REFRIGERACIÓN DE LASC (22-7) 2001.....	97
GRÁFICO 57: CONSUMOS REALES V/S ESTIMADOS DE REFRIGERACIÓN DE LASC (16-6) 2002.....	98
GRÁFICO 58: PARTICIPACIÓN PROMEDIO MENSUAL DEL CONSUMO DE REFRIGERACIÓN ESTIMADO.....	99
GRÁFICO 59: CONSUMOS REALES V/S ESTIMADOS DE CALEFACCIÓN DE LASC (22-7) 2001.....	100
GRÁFICO 60: CONSUMOS REALES V/S ESTIMADOS DE CALEFACCIÓN LASC (16-6) 2002.....	100
GRÁFICO 61: PARTICIPACIÓN PROMEDIO MENSUAL DEL CONSUMO DE CALEFACCIÓN ESTIMADO.....	101
GRÁFICO 62: CARACTERIZACIÓN PROMEDIO DEL CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA DEL TOTAL DE LA MUESTRA.....	103
GRÁFICO 63: DIVISIÓN PROMEDIO DE LA CLIMATIZACIÓN ANUAL PARA EL TOTAL DE LA MUESTRA.....	104
GRÁFICO 64: REGRESIÓN ENTRE EL CONSUMO ANUAL DEL TOTAL DE LA MUESTRA V/S SUPERFICIE.....	104
GRÁFICO 65: REGRESIÓN ENTRE CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA V/S CONSUMO ANUAL DE AGUA SANITARIA.....	105
GRÁFICO 66: CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA V/S SUPERFICIE PARA EL TOTAL DE LA MUESTRA.....	106
GRÁFICO 67: CONSUMO ANUAL DE AGUA SANITARIA V/S SUPERFICIE PARA EL TOTAL DE LA MUESTRA.....	106
GRÁFICO 68: PRESTACIONES TÉRMICAS AISLACIÓN INTERIOR.....	113
GRÁFICO 69: PRESTACIONES TÉRMICAS AISLACIÓN EXTERIOR.....	114
GRÁFICO 70: CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ANUAL DE ENERGÍA DE LA MUESTRA.....	146
GRÁFICO 71: CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA.....	148

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: PRINCIPALES PUENTES TÉRMICOS.....	110
ILUSTRACIÓN 2: DETALLES CONSTRUCTIVOS AISLAMIENTO INTERIOR.....	112
ILUSTRACIÓN 3: DETALLES CONSTRUCTIVO AISLACIÓN EXTERIOR PARA DISTINTAS FACHADAS.....	114
ILUSTRACIÓN 4: TIPOS DE ACRISTALAMIENTOS.....	116
ILUSTRACIÓN 5: ACUMULADOR ESTÁTICO.....	120
ILUSTRACIÓN 6: ACUMULADOR DINÁMICO.....	121
ILUSTRACIÓN 7: TIPOS DE LÁMPARAS INCANDESCENTES (ESTÁNDAR, ESFÉRICA Y VELA).....	125
ILUSTRACIÓN 8: TIPOS DE LÁMPARAS HALÓGENAS.....	126
ILUSTRACIÓN 9: TIPOS LÁMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS.....	126
ILUSTRACIÓN 10: SENSOR DE PRESENCIA.....	129
ILUSTRACIÓN 11: FUNCIONAMIENTO SENSOR DE PRESENCIA.....	130
ILUSTRACIÓN 12: FOTOCÉLULA.....	130
ILUSTRACIÓN 13: ACTIVACIÓN MODO SLEEP.....	133
ILUSTRACIÓN 14: ACTIVACIÓN MODO STAND BY.....	134
ILUSTRACIÓN 15: OPCIONES AVANZADAS.....	135
ILUSTRACIÓN 16: HIBERNACIÓN.....	135
ILUSTRACIÓN 17: PERLIZADORES.....	138
ILUSTRACIÓN 18: EXPLICACIÓN GRÁFICA DE LOS CARTUCHOS ECOLÓGICOS.	139
ILUSTRACIÓN 19: GRIFERÍA POR INFRARROJO.....	139
ILUSTRACIÓN 20: MEJORAS POSIBLES EN GRIFERÍAS TEMPORIZADAS.....	140
ILUSTRACIÓN 21: URINARIO SECO.....	142

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Los avances conseguidos en el desarrollo global de las sociedades han provocado un incremento general en el consumo de energía que implica la necesidad de plantear cambios en el uso de la misma. La posición a la hora de utilizar las fuentes energéticas, debe implicar los conceptos de eficiencia y responsabilidad para que este desarrollo sea sustentable.

La optimización en el uso de la energía se ha convertido en la actualidad en un objetivo primordial en todos los ámbitos tanto sociales como empresariales. Este uso racional tiene como consecuencia fuertes implicaciones en los marcos ambientales, económicos, técnicos, etc.

Tomando como referencia las disposiciones del protocolo de Kyoto, el conjunto de políticas y medidas a adoptar pasan inevitablemente por el fomento de la eficiencia energética. Esta medida debe estar presente en las nuevas actuaciones adoptadas con el fin de obtener los resultados perseguidos.

Para aprovechar las oportunidades de eficiencia energética y de energías renovables es necesario realizar acciones en los puntos consumidores de energía, realizando una gestión particularizada para cada instalación de forma que se pueda optimizar las posibilidades de ahorro energético. Las prioridades energéticas de cada país, comunidad autónoma o municipio varían de acuerdo a su actividad y desarrollo económico, al impacto que el consumo de energía tiene en su economía y a los recursos energéticos de los que dispone.¹

¹ AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA. 2007. Guía de ahorro y eficiencia energética en los municipios de la comunidad valenciana. Valencia, España. 13p.

En el caso de Chile el Programa Nacional de Eficiencia Energética tiene como función que se utilice plenamente el vasto potencial de eficiencia energética que Chile posee y consolidar una cultura de EE en la sociedad, así permitiría la seguridad del abastecimiento energético del país y significativos impactos económicos, sociales y ambientales.²

Con esto, surge en Chile una necesidad por definir metodologías para establecer indicadores de los distintos sectores involucrados en grandes gastos de energía. Con las cifras recopiladas, se puede estudiar la factibilidad de medidas de eficiencia energética y facilitar la dictación de normativas en base a la información real del país.

Dentro de este marco, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción ha iniciado estudios para cuantificar y desarrollar indicadores de consumos energéticos en distintos sectores. Específicamente en los edificios de oficina se quiere caracterizar sus consumos energéticos, tener un seguimiento controlado del comportamiento de estos edificios para promover políticas de uso eficiente de la energía, crear conciencia de la real importancia de estas políticas que beneficia a usuarios y administradores, y promover futuras normas de comportamiento de estos edificios.

1.1.- Alcance.

Este estudio de caracterización de consumos energéticos esta definido para edificios de oficina de la ciudad de Santiago, considerando una estructura de consumo compuesta principalmente por: iluminación, climatización y calefacción, fuerza, equipos informáticos, gas y agua sanitaria.

²PROGRAMA PAÍS EFICIENCIA ENERGÉTICA [en línea] <<http://www.programapaiseficienciaenergetica.cl/>> [consulta: 20 abril 2008]

1.2.- Objetivos.

1.2.1.-Objetivo general.

Contribuir al uso eficiente de energía en la ciudad de Santiago aplicado a edificios de oficinas, principalmente por el hecho que este tipo de edificación se encuentra dentro del sector comercial, público y residencial cuyo consumo de energía representa alrededor del 25%³.

1.2.2.-Objetivos específicos.

- Mostrar como se distribuye el consumo energético en los edificios de oficinas, es decir la forma en que se consumen las distintas fuentes de energía y agua.
- Aportar con los resultados a la generación de conocimientos para incentivar al sector privado a cambiar las prácticas en uso de energía.
- Fomentar la construcción de edificios de oficina que reduzca los consumos de energía y con ello minimizar la contaminación asociada en forma, principalmente, de CO₂.

1.3.- Antecedentes.

El estudio “Desarrollo de Índices de Desempeño del Consumo Energético y de Agua Sanitaria en Edificios de Oficina de Santiago” de Pablo Pareja Fernández, se desarrollan consumos de energía a niveles generales de una muestra amplia de edificios cuyos consumos anuales fueron obtenidos a través de las empresas distribuidoras energía.

³ COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Balance Nacional de Energía [en línea] <http://www.cne.cl/archivos_bajar/balances/BNE2007.xls> [consulta: 1 septiembre de 2008]

El presente estudio pretende utilizar estos antecedentes para caracterizar el consumo de energía seleccionando algunos de edificios de la muestra. Sin embargo también se considera encuestar otros edificios que no formaron parte del estudio mencionado.

Capítulo 2

ASPECTOS TEÓRICOS

2.1.- Eficiencia energética.

En los años 70's se produjo la primera crisis energética mundial y la atención se volcó al ahorro de energía. Una estrategia de desarrollo basada en el petróleo, cuya proyección de reservas se acabaría, parecía aterrizante. Entre otros se impulsaron sistemas solares pasivo y activo, y programas estatales de apoyo a recursos renovables. El mundo se planteó que no bastaba el bienestar presente y había que pensar en el futuro.⁴

Una década después la crisis había terminado, pero dejó como herencia los conceptos de desarrollo sustentable y eficiencia energética.

2.1.1.- Concepto de eficiencia energética.

Según el Programa de Estudio e Investigación en Energía, este concepto se define como una función de las conductas individuales y de la racionalidad con que los consumidores utilizan la energía. De este modo, la eliminación de los consumos innecesarios o la elección de equipos más apropiados para reducir el costo de la energía, contribuye a disminuir el consumo individual sin disminuir la satisfacción personal obtenida de los servicios que ella le presta.⁵

⁴ VERGARA, MARÍA ANGÉLICA. 2005. Sustentabilidad: La respuesta responsable a la Crisis energética. Al mundo (16):24-27.

⁵ PROGRAMA DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN ENERGÍA. 2003. Consideraciones acerca del concepto de eficiencia energética [en línea] Santiago. <http://www.prien.cl/documentos/GTZ_Eficiencia%20y%20desarrollo.pdf> [consulta: 9 mayo 2008]

Para el Programa País de Eficiencia Energética, la Eficiencia Energética (EE) es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos. 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 comunidad.

De estos conceptos se puede concluir que la eficiencia energética tiene como principal objetivo disminuir el consumo de energía sin por ello reducir el uso del material y los equipos que funcionan gracias a ella, fomentando comportamientos, métodos de trabajo y técnicas de producción que consuman menos energía. Se trata de utilizar mejor la energía.

Sin embargo, conviene señalar que medidas individuales que hacen más eficiente energéticamente una vivienda o una industria no implican eficiencia energética a nivel de país, ya que muchas veces dichas medidas puede que no tengan ninguna visibilidad nacional. En muchos casos la eficiencia energética no es sólo un problema técnico, ya que a veces, resultan más importantes las medidas que apuntan a mejorar la eficiencia de los servicios en que la energía se encuentra involucrada, que las medidas técnicas de eficiencia de un proceso o equipo.

En términos generales, tomando cuenta de las consideraciones anteriores, la eficiencia energética tiene en cuenta todos los cambios que resultan en una disminución de la cantidad de energía necesaria para producir una unidad de actividad económica o para satisfacer los requerimientos energéticos de los servicios que requieren las personas, asegurando igual o superior nivel de confort.

2.1.2.- Reducciones de energía debido a esta política.

El incremento de la eficacia energética resulta esencial para el logro de los objetivos señalados por el Protocolo de Kioto, propicia una política energética más sostenible y constituye un elemento importante de la seguridad del abastecimiento, tema que ha suscitado inquietud en los últimos años, al menos en la Comisión Europea.

Es fundamental que la sociedad vaya reduciendo su dependencia energética de los combustibles fósiles (petróleo, gas) fomentando el uso de fuentes de energía alternativas y renovables y aprendiendo a usar la energía de forma eficiente. Y es una tarea urgente por la amenaza del cambio climático global, problemas ambientales y porque la sociedad no puede continuar desarrollándose a partir de fuentes de energía que se van agotando.

Para mejorar la seguridad del abastecimiento energético y reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, la eficiencia energética es tan importante como las fuentes de energías renovables. La política de fomento de las fuentes de energías renovables de la Unión Europea comenzó con la fijación de un objetivo general del 12%. Un uso eficiente de la energía implica no utilizarla en actividades innecesarias y realizarlas con el mínimo consumo de energía posible. Desarrollar tecnologías y sistemas de vida y trabajo que ahorren energía es capital para lograr un desarrollo sostenible.

En los últimos 20 años, en los países desarrollados el consumo energético ha ido disminuyendo. Se ha estimado que desde 1970 a la actualidad de media, se usa un 20% menos de la energía, en la generación de la misma cantidad de bienes. Por el contrario, en los países en desarrollo, aunque el consumo por persona es mucho menor que en los desarrollados, la eficiencia en el uso de energía no mejora, debido fundamentalmente a su deficiencia en tecnologías modernas. Y mejorando la eficacia energética es posible disminuir el consumo energético considerablemente (se estima que del orden del 18% para la Unión Europea). Existe una amplia gama de medios y mecanismos para lograr ahorro energético tanto en el hogar como en el transporte.⁶

La cogeneración parece un mecanismo de producción energética que permita limitar la dependencia energética de los combustibles fósiles y ayude a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y cumplir con el Protocolo de Kioto.

⁶ MILIARIUM, INGENIERÍA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. Eficiencia energética y energías renovables [en línea] <http://www.miliarium.com/monografias/Energia/Eficiencia_Energetica_Renovables/Welcome.htm> [consulta: 9 mayo 2008]

Pero, también la eficiencia energética se encuentra con numerosos obstáculos principalmente marcados por el uso ineficaz de la energía en el sector industrial y por la existencia de barreras comerciales.

2.1.3.- Eficiencia energética en el mundo.⁷

Unión Europea.

En cuanto a las iniciativas en el mundo de eficiencia energética, la Unión Europea es líder en esta materia, desarrollando energías renovables y disminuyendo las emisiones de contaminantes. Ha impulsado una serie de acciones e instrumentos destinados a promover el uso eficiente de la energía al interior de los países y a nivel regional, ejemplo de ello es:

- Seguridad de suministro, inversión y desarrollo, conservación de energía. (A partir de 1973- 1974).
- Mercado interior de Energía (1998).
- Tratado de la Carta Europea de Energía (1994).
- Libro Blanco "Una Política Energética para la UE" (1996).
- Libro Blanco sobre Energías Renovables (1997).
- Comunicación sobre Uso Eficiente de la Energía y Grado de Liberalización de los Mercados Energéticos (1998).
- Constitución del Mercado Común de Energía.
- Libro Verde sobre Eficiencia Energética (Bruselas, 2005).
- Decretos de Certificación eficiencia energética (España, 2007)

Los cambios que ello supone en el comportamiento del consumo y en las tecnologías, podrían significar un ahorro de unos 72 billones de dólares de la factura energética de la UE en su conjunto. Esto además, les permitiría alcanzar los objetivos del Protocolo de Kyoto de manera más rápida y sostenible.

⁷ PROGRAMA PAÍS EFICIENCIA ENERGÉTICA [en línea] <<http://www.programapaiseficienciaenergetica.cl/>> [consulta: 9 mayo 2008]

En la UE no todos los países tienen la misma trayectoria: España e Italia cuentan con Leyes de Uso Eficiente de la Energía; en Holanda las propias industrias se impusieron un Plan de Eficiencia Energética; y en Alemania, Dinamarca y Países Bajos se han establecido impuestos de CO2 o de consumo energético. Inglaterra, por su parte, cuenta con una Agencia de Eficiencia Energética, organismo estatal dedicado a promover el buen uso de la energía.

Brasil

En Brasil se han desarrollado diversas estrategias políticas y regulatorias de alcance nacional, local y sectorial, estableciéndose objetivos, prioridades, responsabilidades y recursos para el área de la Eficiencia Energética.

Durante 1985 en Brasil fue creado el Programa Nacional de Conservación de la Energía Eléctrica (PROCEL), orientada al sector eléctrico; y el CONPET dirigida al sector de petróleo y gas. Ambos programas desempeñan un papel muy relevante en las políticas públicas y la matriz energética de ese país.

Pioneros en América Latina, a partir de los años 80 Brasil implementó programas voluntarios de etiquetados y sellos, para premiar a las empresas que contaban con equipos más eficientes.

México

Bajo la Secretaría de Energía mexicana se encuentran dos comisiones de trabajo: la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía (CONAE). Y dentro de ésta última funciona el Fideicomiso para el Ahorro de la Energía Eléctrica (FIDE).

La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que goza de autonomía técnica y operativa.

A través de CONAE se han impulsado proyectos, normativas e incentivos para el sector público y privado. Por ejemplo, en el área de Administración Pública la Conae se unió al Programa Promoviendo un Sector Público Energéticamente Eficiente (PEPS). Este es un esfuerzo de cooperación de varias instituciones para promover y brindar programas de conservación en los gobiernos de todo el mundo.

El programa PEPS lleva trabajando más de un año con algunas ciudades de México, las cuales han implementado políticas de compra obteniendo grandes beneficios. Desde el 2006, la CONAE refuerza el trabajo realizado y explora los medios para implementarlo a nivel federal y estatal.

Los incentivos que despierta la Eficiencia Energética en México, cuya capital federal presenta problemas tan graves de contaminación como los existentes en Santiago, ha permitido generar negocios convenientes y de mucha utilidad. Ejemplo de ello es el Programa de Sustitución de Refrigeradores, impulsado por el FIDE, que permite a cualquier ciudadano cambiar su aparato viejo por uno nuevo, de alta tecnología, recibiendo una bonificación por su antiguo artefacto.

Cuba

Cuba es miembro de la Organización Latinoamérica de Energía y está tomando en cuenta el concepto de uso racional y eficiente de la energía. Se han plasmado una serie de transformaciones muy de fondo, en primer lugar, fruto de los muchos huracanes que han afectado la zona en los pasados dos años, se ha determinado realizar generación distribuida con motores altamente eficientes, que dejan de lado un sistema de generación centralizada, con equipos antiguos y altamente ineficientes.

En segundo lugar, existe la proyección de instalar mayor electricidad en base a gas natural que es definitivamente mucho más económico que generar con productos derivados del petróleo.

Dentro del plan que se ha instaurado en Cuba, se está trabajando en una concientización ciudadana, que llega a los habitantes de todos los niveles. A nivel escolar, a manera de ejemplo, existe un plan educativo profundo para no mantener artefactos encendidos sin necesidad en la hora pico. La concientización, ha sido acompañada de un alza en las tarifas eléctricas, para los niveles de consumo más elevados.

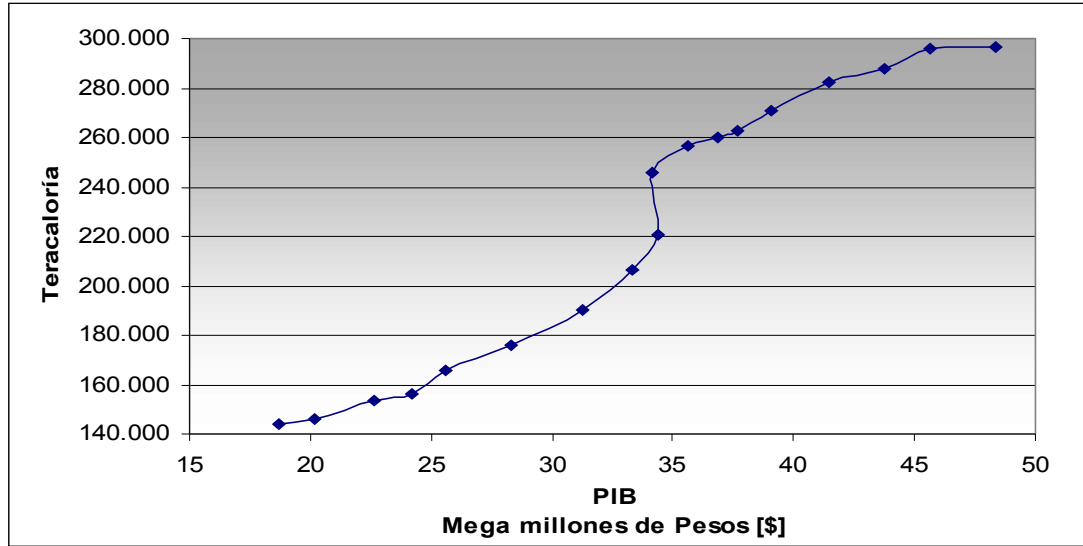
Donde está centrado el ahorro el plan en Cuba, es en la sustitución inmediata y masiva de una serie de artefactos y equipos bastante antiguos e ineficientes.

2.1.4.-Realidad local.⁸

El crecimiento de la economía nacional, es un factor que inevitablemente lleva a un aumento del consumo energético presionando por un aumento de la oferta energética disponible. Ello se traduce en la ocurrencia de mayores conflictos ambientales derivados de la generación, distribución y uso de la energía.

En el siguiente gráfico se puede observar la relación del producto interno bruto (PIB) desde el año 1990 al 2007 y el consumo bruto de energía primaria:

⁸ COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Energía y medio ambiente: Eficiencia energética [en línea] <http://www.cne.cl/medio_amb/eficiencia.php> [consulta: 9 mayo 2008]



Fuente: Banco Central de Chile, Comisión Nacional de Energía 2007.

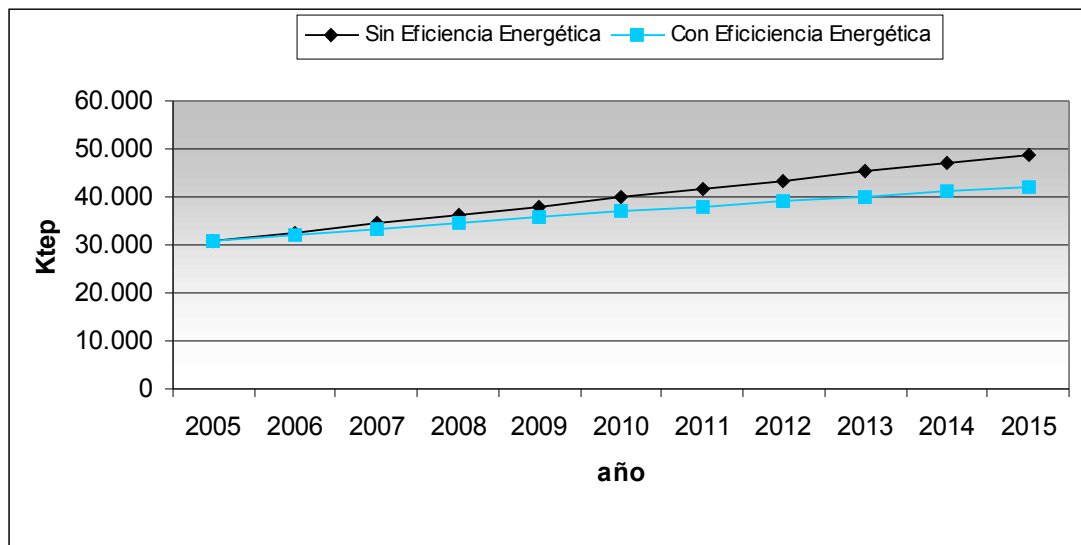
Gráfico 1: Relación del PIB y consumo energía primaria.

Hacer un uso eficiente de la energía surge en este escenario, como un requisito ineludible de todos los actores del mercado energético: productores, consumidores, reguladores, y es una solución concreta que contribuye a una mayor equidad intergeneracional, a mejorar la competitividad de la economía, disminución de impactos ambientales derivados de una menor producción y consumo de energía, y a reducir a lo estrictamente necesario las expansiones que naturalmente requiera el sistema energético nacional.

El potencial de mejoramiento estima un ahorro del consumo energético anual del 1,5% respecto de los crecimientos efectivos durante un periodo de 10 años. Al realizar las proyecciones de consumo de energía primaria se obtiene los siguientes resultados:

- Reducción del 14% del consumo de energía primaria, al final del período, año 2015.
- Ahorro acumulado de energía de 34.200 Ktep* en el periodo.

* La unidad de energía ktep se define como 1.000 toneladas equivalente de petróleo, o equivalentemente 1 ktep = 11.630.000 kWh.



Fuente: Comisión Nacional de Energía, 2005.

Gráfico 2: Proyección consumo energía primaria.

2.1.4.1.- Medidas adoptadas.

Un paso importante fue la puesta en vigencia de normativas sobre el acondicionamiento térmico de viviendas, la cual contempla tres etapas:

- 1ª Etapa: Aislación de techos
 - Mejora la calidad de vida de la población con un mínimo costo.
 - Reduce el consumo de energía en el sector residencial y la contaminación que ésta genera tanto al interior como al exterior de la vivienda.
 - Reduce el deterioro de los materiales por exposición a grandes cambios de temperatura y humedades excesivas.
 - Estimula el desarrollo de los sectores productivos y académicos.
- 2ª Etapa: Aislación de muros, ventanas y pisos.
 - Complementará la primera etapa, considerando las transmitancias del resto de la envolvente de la vivienda, es decir: muros, ventanas y pisos.
- 3ª Etapa: Certificación térmica

- Es alternativa a la primera y segunda etapa.
- Se simula el comportamiento térmico de la vivienda en su integridad, incorporando todos los factores que influyen en el acondicionamiento climático de los ambientes.
- Se incorpora el concepto de demanda energética, y se compara dicha demanda del mismo edificio pero con los valores prescriptivos de la primera y segunda etapa.
- Se encuentra en su fase de estudio.

Las etapas 1 y 2 se encuentran en vigencia desde el año 2000 y 2007, respectivamente.

Programa País de Eficiencia Energética.

El 24 de enero de 2005, el Gobierno de Chile puso en marcha el Programa País de Eficiencia Energética. El PPEE tiene como función lograr que Chile utilice plenamente el vasto potencial de eficiencia energética que posee y consolidar una cultura de EE en la sociedad.

Los proyectos y actividades desarrolladas por el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) se desarrollan mediante un proceso participativo que integra a diferentes estamentos de la sociedad, con el propósito de instalar una cultura de eficiencia energética (EE) en el país.

A escala general se ha estimado que se puede lograr un 1,5% anual de mejoramiento en la eficiencia energética. La meta cuantitativa del PPEE es explotar al máximo esta cifra de mejoramiento.

Para alcanzar esto se interviene en los principales sectores del consumo energético: Transporte; Industria, Comercio y Minería; Vivienda y Construcción; Artefactos Domésticos y Sector Público. Además se han conformado dos áreas transversales de trabajo e integración: Educación y Regiones.

2.2.- Benchmarking.

En 1982, en Rochester, durante una reunión de la Corporación Xerox donde se trató el aspecto organizacional de ésta, con respecto a sus competidores, se utilizó por primera vez la palabra Benchmarking Competitivo y cuyo sistema impresionó por la manera en que se recopiló la información. Allí se conocieron dos facetas del Benchmarking; la primera era un proceso para entender a los competidores o no competidores, donde su clave era separar las medidas comunes en funciones similares, la segunda se enfatizó en los aspectos del proceso, no solamente de la producción, sino como se diseñaba, fabricaba, comercializaba y proporcionaba el servicio o producto.⁹

A raíz de esto Xerox continuó perfeccionando el concepto de Benchmarking Competitivo durante los años 80 y sólo a finales de éstos se dio forma a lo que hoy es.

2.2.1.- Definición de benchmarking.

Benchmarking se define como un proceso continuo y sistemático de medir el desempeño de los productos, servicios y procesos de una empresa, comparándola con las empresas líderes de las industrias.

El benchmarking es una valiosa herramienta de administración debido a que proporciona un enfoque disciplinario y lógico para comprender y evaluar de manera objetiva las fortalezas y debilidades de una compañía, en comparación con lo mejor de lo mejor. Los administradores expertos de las asociaciones de benchmarking saben que es precisamente esta conciencia dentro de la organización lo que constituye el ímpetu para el desarrollo, aplicación y actualización de los planes de acción específicos que mejorarán su desempeño.

Para formar parte integral del proceso de administración, el benchmarking depende, en última instancia, de dos actividades; el respaldo de la alta dirección y el

⁹ ALEXANDER CIFUENTES. Benchmarking [en línea]
<<http://www.monografias.com/trabajos10/bench/bench2.shtml>> [consulta: 30 abril 2008]

compromiso para emplearlo de manera efectiva. El punto de arranque, como administrador de benchmarking, 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 conseguir¹⁰.

2.2.2.- Aspectos y categorías del benchmarking.

Aspectos.

Calidad:

Entre los aspectos tenemos a la calidad, que se refiere al nivel de valor creado de los productos para el cliente sobre el costo de producirlos. Dentro de este aspecto el benchmarking puede ser muy importante para saber la manera en que las otras empresas forman y manejan sus sistemas de calidad. Por último dentro del aspecto de calidad se puede ver lo referente al desarrollo organizacional en base a que tanto nos enfocamos en lo que hacemos, en el desarrollo del recurso humano, en el compromiso e involucramiento del mismo, así como en el entrenamiento.

Productividad:

El benchmarking de productividad es la búsqueda de la excelencia en las áreas que controlan los recursos de entrada, y la productividad puede ser expresada por el volumen de producción y el consumo de recursos los cuales pueden ser costos o capital.

Tiempo:

El estudio del tiempo, al igual que de la calidad, simboliza la dirección del desarrollo industrial en los años recientes. Flujos más rápidos en ventas, administración, producción y distribución han recibido una mayor atención como un factor potencial de mejora de la productividad y la competencia. El desarrollo de

¹⁰ Asociación nacional de Pymes. México, [en línea]
<http://www.contactopyme.gob.mx/benchmarking/conceptos/ben_mod.asp> [consulta: 30 abril 2008]

programas enfocados en el tiempo ha demostrado una habilidad espectacular para recortar los tiempos de entrega.

Categorías de benchmarking.

Benchmarking interno:

Se realiza dentro de la empresa en la cual hay funciones similares en diferentes unidades de operación, así este tipo de benchmarking compara operaciones internas. Es el más sencillo de realizar pues se cuenta con una facilidad de datos e información y no existe problemas de confidencialidad.

Benchmarking competitivo:

Los competidores directos de productos son contra quienes resulta más obvio llevar a cabo el benchmarking. Ellos cumplirían, o deberían hacerlo, con todas las pruebas de comparabilidad. En definitiva cualquier investigación de benchmarking debe mostrar cuales son las ventajas y desventajas comparativas entre los competidores directos. Uno de los aspectos más importantes dentro de este tipo de investigación a considerar es el hecho que puede ser realmente difícil obtener información sobre las operaciones de los competidores. Quizá sea imposible obtener información debido a que está patentada y es la base de la ventaja competitiva de la empresa.

Benchmarking funcional:

No es necesario concentrarse únicamente en los competidores directos de productos. Existe una gran posibilidad de identificar competidores funcionales o líderes de la industria para utilizarlos en el benchmarking incluso si se encuentran en industrias disímiles. Este tipo de benchmarking ha demostrado ser productivo, ya que fomenta el interés por la investigación y los datos compartidos, debido a que no existe el problema de la confidencialidad de la información entre las empresas

disímiles sino que también existe un interés natural para comprender las prácticas en otro lugar.

Benchmarking genérico:

Algunas funciones o procesos en los negocios son las mismas con independencia en las disimilitudes de las industrias, por ejemplo el despacho de pedidos. El beneficio de esta forma de benchmarking, la más pura, es que se pueden descubrir prácticas y métodos que no se implementan en la industria propia del investigador. Este tipo de investigación tiene la posibilidad de revelar la mejor de las mejores prácticas. La necesidad mayor es de objetividad y receptividad por parte del investigador. Que mejor prueba de la posibilidad de ponerlo en práctica se pudiera obtener que el hecho de que la tecnología ya se ha probado y se encuentra en uso en todas partes. El benchmarking genérico requiere de una amplia conceptualización, pero con una comprensión cuidadosa del proceso genérico. Es el concepto de benchmarking más difícil para obtener aceptación y uso, pero probablemente es el que tiene mayor rendimiento a largo plazo.

2.2.3.- Metodología de benchmarking.¹¹

Primera fase: Planificación.

Esta fase responde las preguntas de qué, quién y cómo.

1.- Identificar qué se va a someter a benchmarking. En este paso la clave es identificar el producto de la función de negocios. Dicho producto puede ser resultado de un proceso de producción o de un servicio.

2.- Identificar compañías comparables. En este paso es de suma importancia el considerar que tipo de estudio de benchmarking se quiere aplicar, interno, competitivo, funcional o genérico, ya que esto determinará en gran manera con que

¹¹ GUSTAVO MORALES. Benchmarking [en línea]
<<http://www.monografias.com/trabajos3/bench/bench.shtml>> [consulta: 30 abril 2008]

compañía no habremos de comparar, es importante recordar que sea cual quiera el tipo de estudio, se deben de buscar las empresas con las mejores prácticas para compararnos con ellas.

3.- Determinar el método para recopilación de datos y recopilar los datos. La recopilación de los datos es de suma importancia, y el investigador puede obtener datos de distintas fuentes. La información obtenida puede ser:

- Información interna.
- Información del dominio público.
- Búsqueda e investigaciones originales. La información se obtiene por medio de cuestionarios directos o por correo, encuestas realizadas por teléfono, etc.
- Visitas directas en la ubicación. Son de suma importancia, y por lo tanto debemos tratar de sacar el mayor provecho de las mismas, por lo que debemos hacer una preparación de las mismas, establecer los contactos adecuados en las otras empresas, realizar un itinerario de la visita y planear sesiones de intercambio de información entre las empresas.

Segunda fase: Análisis.

Después de determinar qué, quién y cómo, se tiene que llevar a cabo la recopilación y el análisis de los datos.

4.- Determinar la brecha de desempeño actual. En este paso se determina la diferencia de nuestras operaciones con las de los socios de benchmarking y se determina la brecha existente entre las mismas.

5.- Proyectar los niveles de desempeño futuros. Ya que se definieron las brechas de desempeño es necesario establecer una proyección de los niveles del desempeño futuro, el cual es la diferencia entre el desempeño futuro esperado y lo mejor en la industria.

Tercera fase: Integración

Proceso de usar los hallazgos de benchmarking para fijar objetivos operacionales para el cambio.

6.- Comunicar los hallazgos de benchmarking y obtener aceptación. Los hallazgos de benchmarking se tienen que comunicar a todos los niveles de la organización para obtener respaldo, compromiso y propiedad.

7.- Establecer metas funcionales. En este punto se tratan de establecer metas funcionales con respecto a los hallazgos de benchmarking, y convertir dichas metas en principios de operación que cambien los métodos y las prácticas de manera que se cierre la brecha de desempeño existente.

Cuarta fase: Acción

Se tiene que convertir en acción los hallazgos de benchmarking y los principios operacionales basados en ellos.

8.- Desarrollar planes de acción. En este punto se incluyen dos consideraciones principales. La primera tiene que ver con las tareas en la planeación de la acción las cuales tienen que ver con el qué, cómo, quién y cuándo. La segunda parte se relaciona con las personas y los aspectos del comportamiento de implantar un cambio.

9.- Implementar acciones específicas y supervisar el progreso. Dicha implementación se puede realizar por medio de alternativas tradicionales como son la administración en línea o la administración de proyectos o programas.

10.- Recalibrar los benchmarks. Este paso tiene como objetivo el mantener los benchmarks actualizados en un mercado con condiciones cambiantes de manera que se asegure el desempeño excelente.

Capítulo 3

METODOLOGÍA

3.1.- Mercado de oficinas de Santiago.

El crecimiento de Santiago en los últimos años, tanto económica como demográficamente, ha contribuido al interés de distintas firmas para instalarse en esta ciudad en los distintos polos de desarrollo. Esta demanda se ha visto reflejada en los distintos proyectos inmobiliarios desarrollados para aquellos fines y se ha visto influenciada por distintos factores, pero principalmente por los vaivenes de la economía.

3.1.1.- Informe Mercado de Oficinas.

La consultora inmobiliaria internacional MACKENZIE HILL elabora cada semestre un informe del mercado de oficinas de Santiago, para explicar algunos puntos del informe es necesario definir algunos conceptos:

- **Superficie Útil:** Espacio dedicado exclusivamente a los ocupantes. Esto quiere decir que se excluyen estacionamientos, espacios comunes, accesos y circulación vertical.
- **Producción:** Área útil decepcionada por la municipalidad y puesta a disposición del mercado para ser ocupada.
- **Vacancia:** Superficie útil no ocupada.
- **Tasa de Vacancia:** Es el cociente entre la superficie útil disponible para venta y/o arriendo y la superficie útil total acumulada.

- **Absorción:** Espacio efectivamente ocupado en un periodo determinado. Absorción negativa se produce cuando se desocupan áreas y esa empresa no vuelve a ocupar oficinas de similar superficie en la misma comuna. Se calcula mediante la siguiente relación:

$$A_1 = (V_0 - V_1) + P_1 \quad (1)$$

donde:

V_0 : Vacancia del periodo anterior.

V_1 : Vacancia del periodo actual.

P_1 : Producción del periodo actual.

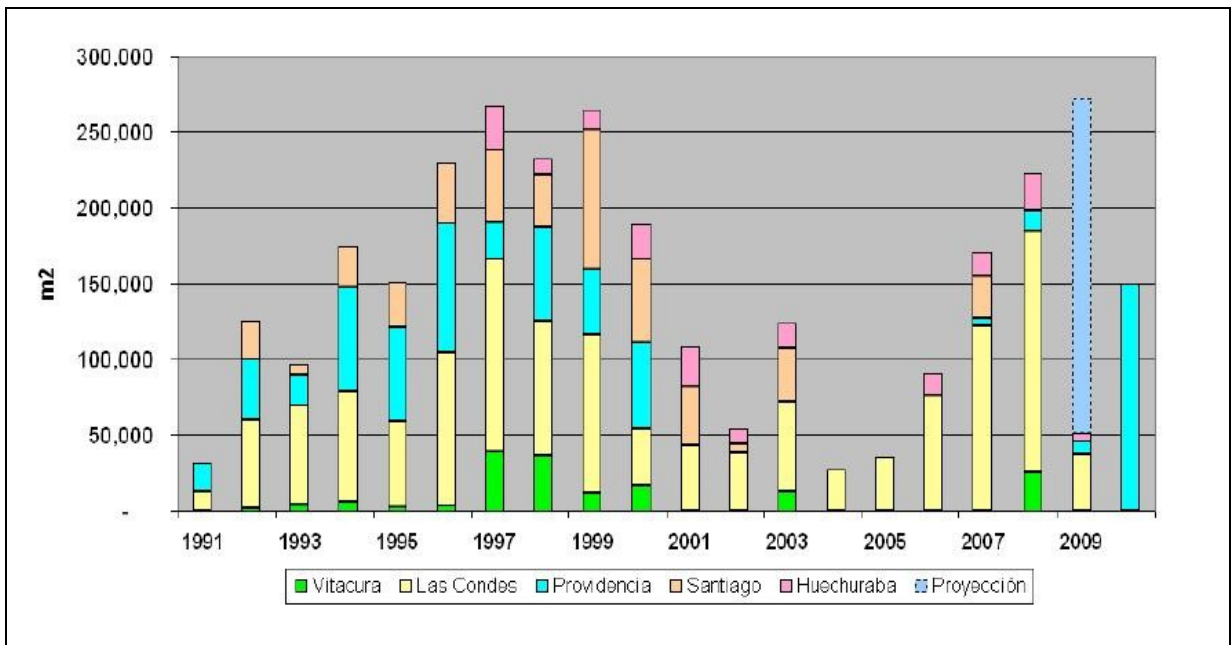
Según estándares internacionales los edificios de oficina se clasifican en tres categorías:

- **Categoría A:** Edificios diseñados y construidos de acuerdo con los más altos estándares de calidad y adecuada dotación de estacionamientos. Estos estándares tiene relación con la estructura y sistemas mecánicos del edificio, particularmente al tema de seguridad y climatización, así como ascensores de última tecnología. Estos edificios ofrecen, en algunos casos, plantas libres ocupadas por las grandes empresas.
- **Categoría B:** 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 estos edificios ofrecen espacios más reducidos, tales como privados, que son tomados usualmente por usuarios de un tamaño inferior al de las firmas más importantes.
- **Categoría C:** Incluye edificios más antiguos del centro de la ciudad y aquellos que han sido remodelados y convertidos en oficinas. Representan en su mayoría espacios ineficientes para oficinas y con sistemas mecánicos, aire acondicionado y dotación de estacionamientos deficientes.

En el informe desarrollado por la consultora, hasta el año 2004, se consideraban los edificios de categorías A y B. Desde el año 2005 sólo se considera los edificios de categoría A.

3.1.1.1.- Producciones anuales, absorción y tasas de vacancias.

El siguiente gráfico muestra las producciones anuales por comunas desde el año 1991 hasta las proyecciones del 2010:

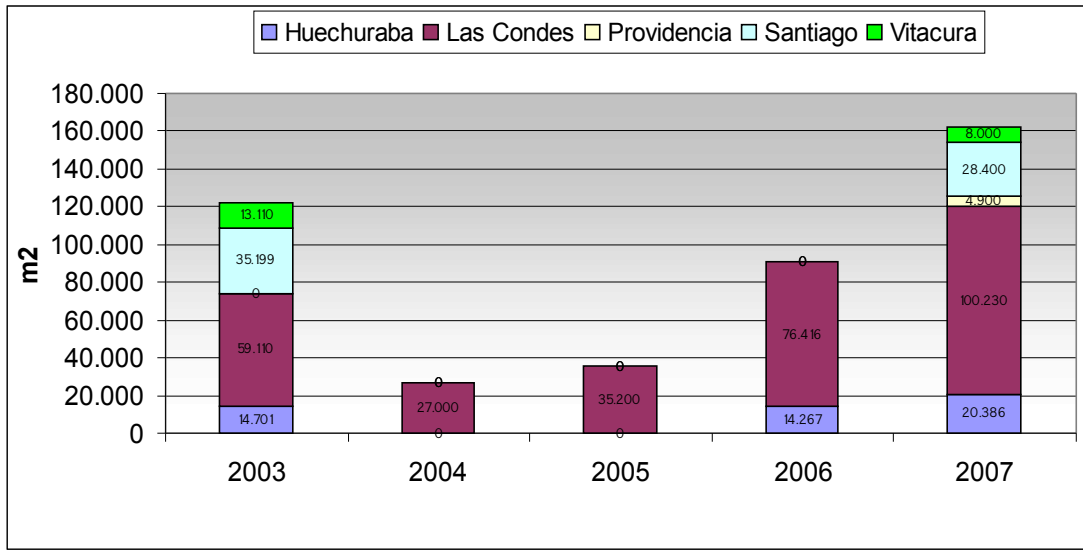


Fuente: Mackenzie Hill. "Mercado de Oficinas". Santiago, Chile. Diciembre 2007.

Gráfico 3: Producciones anuales de oficinas.

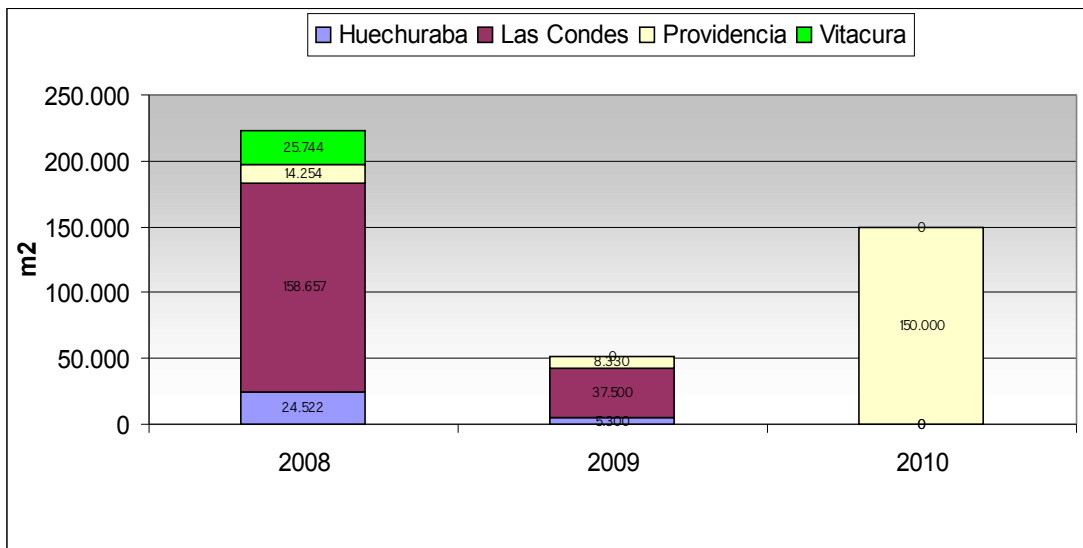
Se observa una gran producción desde el año 1995 al 1999, debido al buen crecimiento económico de la época, la "importación" de nuevos usuarios que trajo la globalización que quería tener presencia en distintas capitales y el éxodo de empresas desde oficinas antiguas en Santiago centro al barrio alto. A partir del año 1999 se observa la pendiente negativa debido a la crisis económica con un rebote en el 2003, para caer el 2004, luego de esto empieza a subir nuevamente para consolidarse con una producción de casi 162.000 m² el año 2007. Para el año 2008 se pronostica una producción sobre los 223.000 m², el 2009 de 51.130 m², mientras que para el 2010 se terminarán las oficinas del edificio Costanera Center que aportará 150.000 m².

En los siguientes gráficos se observa con más detalle la evolución de la producción de los últimos 5 años y la proyección hasta el año 2010:



Fuente: Mackenzie Hill. "Mercado de Oficinas". Santiago, Chile. Diciembre 2007.

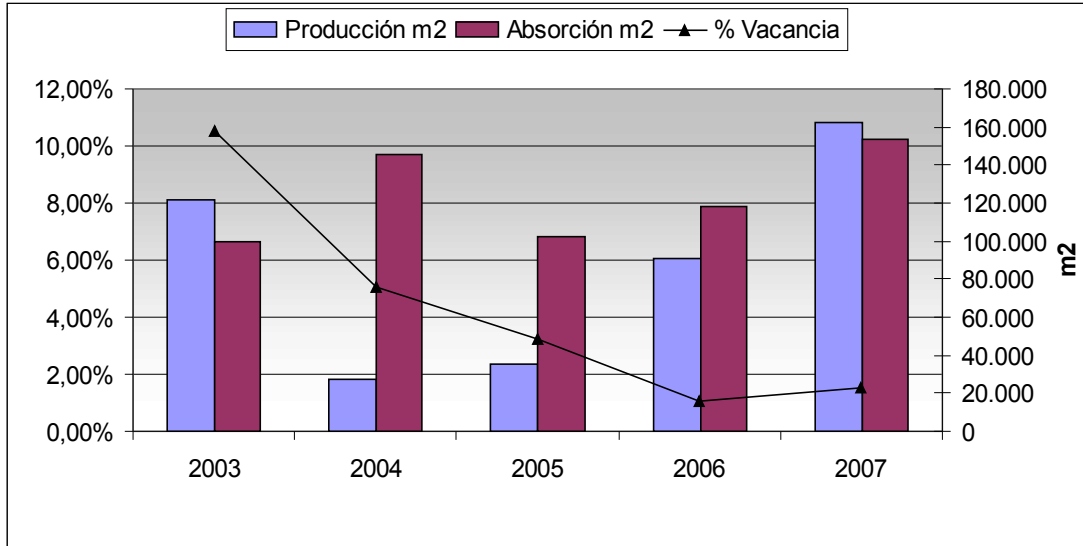
Gráfico 4: Producciones anuales de oficinas últimos 5 años.



Fuente: Mackenzie Hill. "Mercado de Oficinas". Santiago, Chile. Diciembre 2007.

Gráfico 5: Proyección de la producción de oficinas.

El siguiente gráfico muestra la evolución de las tasas de vacancias, producción y absorción:



Fuente: Mackenzie Hill. "Mercado de Oficinas". Santiago, Chile. Diciembre 2007.

Gráfico 6: Tasas de vacancias, producción y absorción anuales de oficinas.

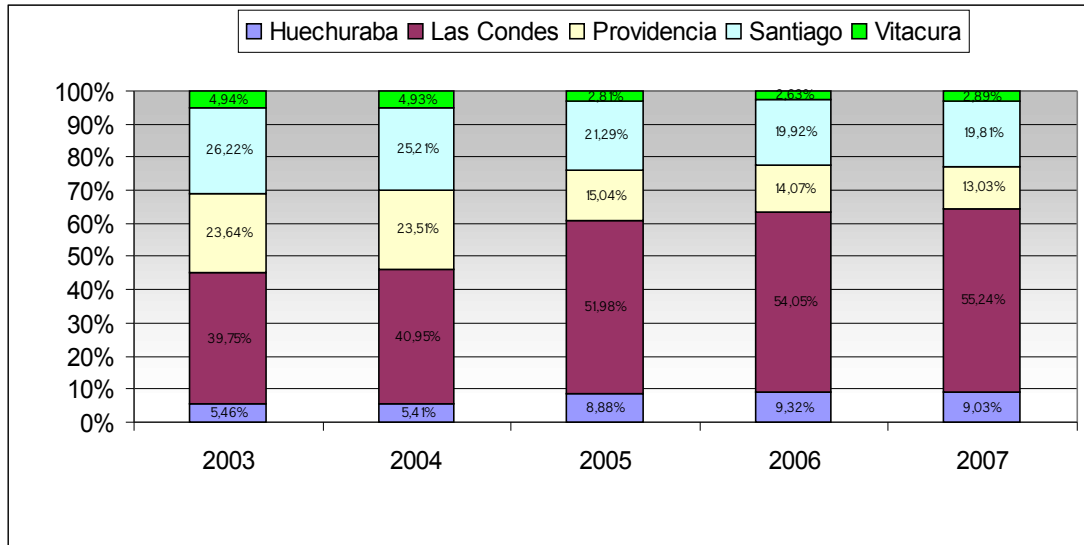
La absorción o espacios absorbidos, como opuesta a la vacancia (espacios vacantes), reflejan el nivel de ventas del mercado. En cuanto a las cifras, se observa un crecimiento de la absorción del 2007 con respecto a la del año anterior, ya que aumentó 117.978 m² a 153.199 m², cifras que deberían aumentar debido a la baja tasa de vacancia y a las buenas condiciones económicas.

La tasa de vacancia para el año 2007 fue de 1,53% considerada baja. Esto confirma la tendencia a la baja que comenzó el 2004 y se contraponen a las de años anteriores, del orden del 10% conocido como el umbral del sobrestock. Un mercado sano oscila entre 5% y un 8%.

Al tener este cuadro de moderada producción y alta absorción y considerando el buen momento económico nos encontramos con un escenario de escasez de oficinas en Santiago. Consientes de esto las empresas inmobiliarias han tomado posiciones activas con planes para un futuro a corto plazo con proyectos como Territorio 3000, edificio Matta, edificio Titanium, edificio Costanera Center y otros de más largo alcance.

En cuanto a la participación por comuna se puede observar en el gráfico 5 que la comuna de Las Condes obtiene la mayor participación y creciendo con los años obteniendo en el año 2007 el 55,24% de la participación. Otra comuna que crece su nivel

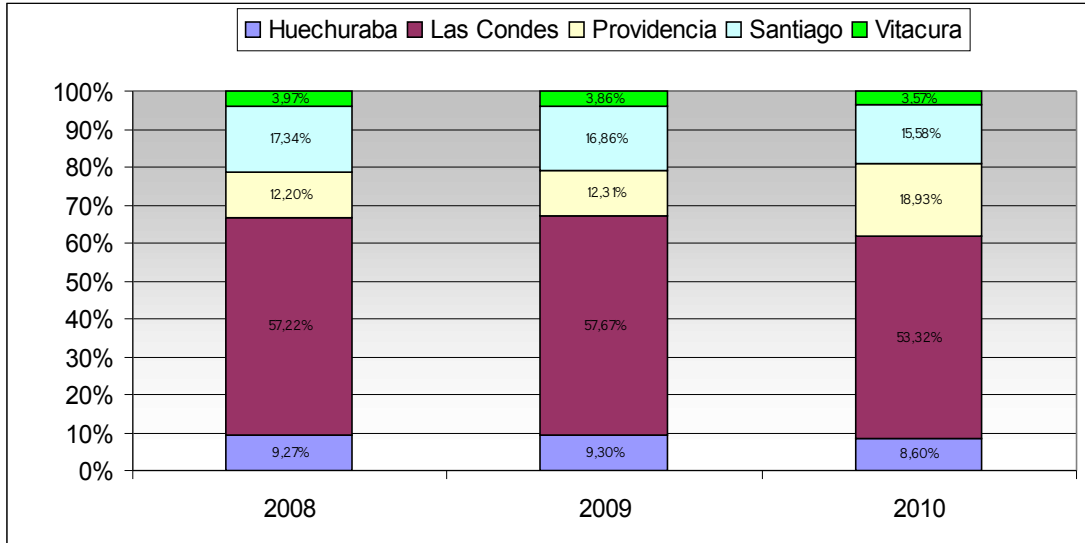
de participación es Huechuraba, empezados en el sector conocido como Ciudad Empresarial, la que alcanzó su peak en el año 2006 con 9,32% de participación. Las comunas de Providencia, Santiago y Vitacura han ido disminuyendo su participación llegando a cifras del 13,03%, 19,81% y 2,89% respectivamente para el año 2007.



Fuente: Mackenzie Hill. "Mercado de Oficinas". Santiago, Chile. Diciembre 2007.

Gráfico 7: Niveles de participación de oficinas por comuna.

Para los años desde el 2008 al 2010 (gráfico 6), Las Condes seguirá subiendo su nivel de participación, Huechuraba se mantendrá al orden del 9%, Santiago y Vitacura se mantendrán bajando y Providencia aumentará de un 12,31% del año 2009 a un 18,93% el 2010 debido al término de la construcción del edificio Costanera Center.



Fuente: Mackenzie Hill. "Mercado de Oficinas". Santiago, Chile. Diciembre 2007.

Gráfico 8: Proyección niveles de participación de oficinas.

3.2.- Prospección de metodologías e indicadores de desempeño para caracterización de los consumos energéticos de edificios de oficina aplicada en el extranjero.

3.2.1.- Políticas e indicadores de eficiencia energética en el mundo.

Con el fin de conocer los estándares que se aplican en países cuya evolución en torno a la eficiencia energética es más elevado, se investigaron desarrollos de políticas y aplicaciones de programas enfocados a las oficinas, ya realizadas o en curso, con el fin de tener una visión de cómo se ha tratado este tema en estos países y a la vez compararnos con ellos, así observar nuestro nivel de eficiencia energética.

Se realizó una investigación a través de Internet, pues bibliografía asociada no existe en nuestras bibliotecas. Esta tarea buscaba encontrar variables más influyentes, indicadores más utilizados, metodologías para auditorías energéticas, recomendaciones

para el uso eficiente de la energía, y aplicar los estándares encontrados a los edificios de oficinas de Santiago que se estudiarán en los próximos capítulos, evaluar su desempeño para seleccionar los estándares e indicadores que mejor representen a la muestra estudiada. Mencionar que estos estándares representarán a la población de edificios de oficina de Santiago es una premisa demasiado ambiciosa debido al tamaño reducido de la muestra lo que, estadísticamente, no la hace representativa.

A continuación se presentan algunas iniciativas impulsadas por distintos países:

España:

La Agencia Valenciana de la Energía (AVEN) ha desarrollado el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana. Este plan plantea una serie de medidas para diferentes sectores productivos que profundizan una utilización óptima de los recursos energéticos. También contribuyen a una mayor protección al medio ambiente y al cumplimiento de los objetivos señalados por el protocolo de Kyoto, ya que las acciones previstas en este plan de ahorro permitirán reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera¹².

Como se dijo anteriormente, esta agencia ha desarrollado planes de ahorro en distintos sectores productivos, uno de estos sectores son los municipios de la Comunidad. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana” forma parte de una serie de publicaciones que sirven como instrumento para alcanzar los objetivos propuestos por el plan de ahorro.

Los objetivos más destacables de esta guía son: la difusión del concepto de eficiencia energética, el uso racional de la energía y por tanto la concienciación del personal usuario de las instalaciones pertenecientes a la administración pública para que actúen de acuerdo con las oportunidades de ahorro que se presentan en la actividad diaria.

Los principales contenidos son el alumbrado público, iluminación y acondicionamiento térmico (características constructivas, calefacción y refrigeración). En

¹² AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA. 2007. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana. Valencia, España. 2p.

todas se analizan los tipos existentes y recomendaciones para el uso eficiente. Además contiene un capítulo sobre de la normativa europea sobre la eficiencia energética de los edificios.

Siguiendo con estos planes de ahorro, la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía y Consumo de la Comunidad de Madrid desarrolló una guía con el fin de informar a los empresarios y a otros profesionales relacionados con el sector servicios de las ventajas de la adopción de medidas para la mejora de la eficiencia energética y de los incentivos existentes para ello¹³.

El nombre de la guía es “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos” y sus principales contenidos son las auditorías energéticas, medidas para la eficiencia energética, ahorro en el alumbrado, sistema de ahorro de agua, ahorro energético en climatización, sistemas de aislamiento térmico y diagnóstico energético de edificios.

Hong Kong:

Electrical and Mechanical Services Department (EMSD) del Gobierno de Hong Kong es la entidad encargada de la rentabilidad de electricidad, mecánica, ingeniería electrónica y servicios para los edificios gubernamentales e instituciones públicas en Hong Kong, también provee un marco regulatorio para la seguridad de las personas en las distintas áreas de la ingeniería (eléctrica, mecánica y gas)¹⁴.

Al mismo tiempo este departamento está involucrado en la eficiencia energética a través de nuevos servicios y actividades. Entre estos nuevos servicios está la publicación de indicadores de consumo de energía y benchmarks de distintos grupos seleccionados en Hong Kong entre los cuales se encuentran los edificios de oficinas. Esta herramienta

¹³ FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. 2007. Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos. Madrid, España. 5p.

¹⁴ ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES DEPARTMENT [en línea] <<http://www.emsd.gov.hk/emsd/eng/about/index.shtml>> [consulta: 04 Agosto 2008]

permite a los usuarios y administradores comparar sus consumos de energía con otros del mismo grupo.

Para evaluar un edificio de oficina es necesario primero ubicarlo en algunos de los grupos:

- Oficinas Privadas.
- Oficinas Gubernamentales.

Luego dentro de las oficinas privadas existen 5 subgrupos, los cuales son:

- Subgrupo 1, Servicios comunes para el edificio (múltiples usuarios) con central de aire acondicionado para los usuarios: se refiere a los edificios en los cuales los servicios operativos (aire acondicionado, iluminación en áreas comunes, ascensores, etc.) están a cargo de una empresa especializada (administradores).
- Subgrupo 2, Unidades de usuarios en el edificio (múltiples usuarios) con suministro central de aire acondicionado: la diferencia con el subgrupo 1 es la ausencia de una empresa encargada para la operación y administración de los servicios comunes.
- Subgrupo 3, Servicios comunes para el edificio (múltiples usuarios) sin central de aire acondicionado para los usuarios: igual al subgrupo 1, pero sin central de aire acondicionado.
- Subgrupo 4, Unidades de usuarios en el edificio (múltiples usuarios) sin suministro central de aire acondicionado: igual al subgrupo 2, pero sin central de aire acondicionado.
- Subgrupo 5, Edificio entero (un usuario): el edificio entero es ocupado por un único usuario que tiene todo el control de los sistemas consumidores de energía. También se incluyen edificios ocupados principalmente por un usuario con una porción menor del 5% de otros usuarios, sin embargo, el usuario principal mantiene un control total de los sistemas consumidores de energía.

La siguiente tabla muestra los valores promedios para cada grupo y subgrupos¹⁵:

¹⁵ ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES DEPARTMENT [en línea] <
<http://www.emsd.gov.hk/emsd/eng/pee/classa.shtml>> [consulta: 04 Agosto 2008]

Tabla 1: Benchmarks promedios anuales de energía según EMSD.

Principal Grupo	Subgrupos	E [kWh/m ² /año]
Oficinas Privadas	1	218
	2	113
	3 (con aire acondicionado en áreas comunes)	54
	3 (sin aire acondicionado en áreas comunes)	34
	4	152
	5	304
Oficinas Gubernamentales	-	230

Fuente: <http://www.hkiol.org/energy2/glossary.htm>.

Cabe mencionar que en la página web existen documentos para descargar los cuales contienen los pasos de cálculo para obtener el benchmark (que depende de variables como el consumo anual, superficie, horas de operación, etc.) de un edificio dentro de las subcategorías descritas anteriormente, cuyo resultado se interpreta menos eficiente o más eficiente dependiendo a que percentil de la curva pertenece.

También existe una herramienta de Benchmarking en línea, el cual ofrece dos niveles. El primer nivel de benchmarking requiere ingresar:

- Información para saber a cual subgrupo pertenece el edificio.
- Consumos anuales de electricidad, combustibles y gas.
- Superficie del edificio.
- Años de operación.
- Horas diarias de operación.

Con esta información se calcula el consumo anual por superficie y muestra en que percentil se ubica.

El segundo nivel de benchmarking es para usuarios más avanzados pues requiere información de los sistemas que consumen energía.

Reino Unido:

The Carbon Trust es una empresa independiente financiada por los gobiernos del Reino Unido cuyo papel es ayudar a los países del reino a alcanzar una economía de bajas emisiones de carbono a través de la ayuda a empresas y al sector público¹⁶.

Una de las empresas aliadas a Carbon Trust es BRESCU (Building Research Energy Conservation Support Unit), las cuales en conjunto publicaron la guía "Energy Use in Offices". Ésta presenta los rangos de consumo de energía y sus costos asociados para los diferentes tipos de oficinas. Permite a usuarios y administradores comparar sus propios consumos de energía con los valores representativos de este tipo de edificaciones. Se estudia la distribución del consumo de energía entre calefacción, iluminación, computación y otros. Entrega los valores Típicos y Buenas Prácticas.

Para evaluar el desempeño de los edificios es necesario ubicarlo dentro de las siguientes categorías:

- 1 Oficinas con ventilación natural: oficinas simples, relativamente pequeñas (entre 100 m² a 3000 m²). Principalmente son aquellas casas residenciales remodeladas para oficinas.
- 2 Plantas libres con ventilación natural: oficinas en gran parte con plantas libre, pero con algunas oficinas celulares y áreas especiales. Las superficies varían entre los 500 m² a 4000 m².
- 3 Oficinas estándar con aire acondicionado: en gran parte construido especialmente para diferentes usuarios. Las superficies varían entre 2000 m² a 8000 m². Contienen enfriadores de agua para el aire acondicionado.
- 4 Oficinas de prestigio con aire acondicionado: oficinas centrales o administrativas, principalmente un usuario. Las superficies varían entre 4000 m² a 20000 m². Estos edificios incluyen casinos, salas de ordenadores y equipos de comunicación.

Las siguientes tablas, presentes en la guía, contienen parámetros de comparación para los 4 tipos distintos de oficinas; en primer lugar el consumo energético anual (gas y electricidad) por superficie (kWh/m²) y luego los costos asociados a los consumos anuales:

¹⁶ CARBON TRUST [en línea] < <http://www.carbontrust.co.uk/about/> > [consulta: 05 Agosto 2008]

Tabla 2: Clasificación de oficinas de acuerdo al consumo anual según BRESCU.

Tipo de Oficina	1		2		3		4	
Energía [kWh/m ²]	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico
Gas o Petróleo	79	151	79	151	97	178	114	210
Electricidad	33	54	54	85	128	226	234	358

Fuente: Building Research Energy Conservation Support Unit. "Energy use in Offices". Reino Unido, 2000.

Tabla 3: Clasificación de oficinas de acuerdo al costo anual según BRESCU.

Tipo de Oficina	1		2		3		4	
Energía [£/m ²]	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico
Gas o Petróleo	0,95	1,81	0,87	1,66	0,97	1,78	1,03	1,89
Electricidad	2,48	4,05	3,51	5,53	7,04	12,43	11,70	17,90
Total Energía	3,43	5,86	4,38	7,19	8,01	14,21	12,73	19,79

Fuente: Building Research Energy Conservation Support Unit. "Energy use in Offices". Reino Unido, 2000.

Por otro lado, también en el Reino Unido, existe la organización CIRIA que está dedicada a la mejora de la industria de la construcción. Esta organización trabaja para identificar, codificar, promover y publicar las mejores prácticas en la industria¹⁷.

Esta organización publicó "Key Performance Indicators for water use in offices", la cual contiene los parámetros de consumo de agua para tres niveles: Mejores Prácticas, Uso Típico y Uso Excesivo. Estos valores están por área y por empleado, a su vez cada categoría tiene los valores anuales y litros por día (asumiendo 253 días laborales al año):

Tabla 4: Indicadores para consumo de agua según CIRIA.

			M ³ /año	litros/día
Mejores Prácticas	por empleado	[m ³ /empleado/año]	2,0	7,9
	por área	[m ³ /m ² /año]	0,4	1,6
Uso Típico	por empleado	[m ³ /empleado/año]	4,0	15,8
	por área	[m ³ /m ² /año]	0,6	2,4
Uso Excesivo	por empleado	[m ³ /empleado/año]	7,0	27,7
	por área	[m ³ /m ² /año]	0,8	3,2

Fuente: CIRIA. "Water key Performance Indicators and Benchmarks for Offices y Hotels". Reino Unido, 2006.

¹⁷ CIRIA [en línea] <<http://www.ciria.org.uk/about.htm>> [consulta: 05 Agosto 2008]

Australia:

Exergy es una compañía australiana dedicada a la eficiencia energética. Sus principales objetivos son la: identificación y logros de rentables mejoramientos en energía, publicaciones de nuevos conocimientos para ayudar a la gente a reducir sus consumos de energía, cambiando los hábitos de las personas, compañías y sociedad en general para obtener un uso de la energía más sustentable¹⁸.

En la página web de esta compañía aparecen valores para medir que tan eficiente son las oficinas. Estos valores se basan en el consumo total anual de electricidad y combustibles por superficie del edificio (kWh/m²).

Tabla 5: Valores de eficiencia energética según Exergy.

¡Un milagro!	Menos de 100 kWh/m²	Posibles errores del cálculo de la energía, se recomienda revisar nuevamente. Sin embargo a menudo pequeños edificios con rudimentarios equipos pueden lograr un rendimiento a este nivel sin grandes dificultades
Razones para alegrarse	100-200 kWh/m²	Buen rendimiento. Es casi seguro que exista buenas oportunidades de ahorro, pero se tiene básicamente un edificio funcional sobretodo si la energía es inferior a 150 kWh/m ² .
La infeliz media	200-300 kWh/m²	El promedio de consumo de energía en Australia y Nueva Zelanda es de 250 kWh/m ² , lo que no requiere que el edificio está OK. Los edificios en esta región a menudo tienen serios problemas de pérdidas de energía.
Requiere tratamiento intensivo	300-400 kWh/m²	Edificios en esta región tienen graves problemas. Tener presente que en este escenario, que el edificio esta usando 3 a 4 veces la cantidad de energía que perfectamente ocuparía.
Es un dinosaurio	400 kWh/m² y más	El edificio consume demasiada energía, hay un problema serio. Podría existir un problema grave con la calefacción y ventilación, y renunciar a un terrible sistema de iluminación.

Fuente: <http://www.xgl.com.au/pauls/office.html#efficient>.

El Gobierno de Australia, especialmente el departamento de medio ambiente (Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts), encargó a esta empresa un estudio para determinar el consumo de agua en los edificios públicos y de oficinas en

¹⁸ EXERGY AUSTRALIA [en línea] < <http://www.xgl.com.au/about/index.html> > [consulta: 05 Agosto 2008]

Australia. Como resultado de este estudio se publicó “Water Benchmarks for Offices and Publics Building”.

En esta publicación la intensidad de consumo, medidas en kilolitros (kl), se debe normalizar a través de una ecuación que representa la influencia del clima, esta ecuación es:

$$W_{corr} = 0.56158 - 0.001038 \cdot GDE_{15^{\circ}C} \quad (2)$$

$$N = W + W_{corr}$$

Donde W es la intensidad de consumo anuales en kl/m², W_{corr} es la normalización por clima, GDE_{15°C} son los grados días de enfriamiento basados en 15 °C* y N es la intensidad de consumo anual normalizada en kl/m².

Finalmente entrega una clasificación del 1 al 5, siendo el valor 5 aquel de menor consumo. Este ranking se refleja en la siguiente tabla:

Tabla 6: Clasificación del consumo de agua normalizado según Exergy.

Clasificación	Consumo de agua normalizado (kl/m ²)	% de la muestra en este nivel o mejor
1/5	1.50	80%
2/5	1.25	63%
2.5/5	1.125	50%
3/5	1.0	36%
4/5	0.75	17%
5/5	0.5	5%

Estados Unidos:

El programa Energy Star es uno de los programas más completos y modernos a nivel mundial, impulsado por la EPA (United States Enviromental Protection Agency) permite la evaluación del rendimiento energético de distintos tipos de edificios a través de

* Grados días de enfriamiento es una medida para describir el efecto de la temperatura exterior en la cantidad de energía necesaria para la refrigeración (calefacción en el caso de Grados días de calefacción). El cálculo de esta medida se realiza con la suma durante un año de las diferencias diarias entre la temperatura exterior y la temperatura de referencia de 15 °C.

un sistema de benchmarking en línea. Este sistema funciona inscribiéndose en la página web.

La herramienta interactiva se llama “Portfolio Manager”, éste permite realizar un seguimiento y evaluar el consumo de energía y agua en toda una cartera (“portfolio”) de inmuebles.

El ingreso de datos es simple y fácil de llenar. En primer lugar se debe ingresar los distintos usos de espacios del edificio, por ejemplo estacionamientos y oficinas, en cada uno de estos espacios se deben ingresar la superficie (en m² ó ft²), las horas semanales de ocupación, la cantidad de trabajadores (como referencia se puede ocupar 1 persona/200 ft²), la cantidad de computadores (como referencia se puede ocupar 1 ó 1,2 PC/persona) y el porcentaje de área del espacio que está climatizado. Luego se deben ingresar los consumos energéticos y de agua; cuentan con periodos de hasta 48 meses, se recomienda ingresar los consumos por periodos de 12 meses.

Una vez ingresada esta información se obtiene el resultado del desempeño energético del edificio calificándolos en una escala de 1 a 100, además se entregan datos o consejos para mejorar el rendimiento, así como la emisión aproximada anual en toneladas de CO₂.

Este sistema permite fijar metas futuras o benchmarks, y monitorea el rendimiento de estas metas a medida que se van modificando ciertas informaciones de los espacios e ingresando nuevos datos de consumos energéticos mensualmente.

“Portfolio Manager” en el sistema de ranking o calificación permite establecer un punto de referencia o “línea de base” (“Bottom Line”) para todas las instalaciones de una cartera inmobiliaria, luego establecer objetivos de mejora y crear un plan de acción.

En cuanto a la interpretación de los resultados se tiene los siguientes rangos:

1-49: Grandes oportunidades de mejoría. Inversiones en nuevos equipos, junto con agresivas operaciones de bajo costo y prácticas de mantenimiento podrían tener un excelente impacto en los resultados esperados en la línea base.

50-74: Oportunidad de obtener importantes ahorros. Operaciones simples, de bajo costo y prácticas de mantención, junto con las actualizaciones de los equipos, podrían producir un ahorro significativo.

75-100: Oportunidad para obtener reconocimiento y demostrar las mejores practicas. Seguir mejorando y mantener un rendimiento superior concentrándose en las operaciones y el mantenimiento¹⁹.

Cabe mencionar que se ofrece un reconocimiento de etiqueta Energy Star de eficiencia energética a los establecimientos con puntuación mayor a 75 en la evaluación.

3.2.2.- Metodologías.

Con el desarrollo de la investigación para encontrar políticas e indicadores alrededor del mundo, se encontraron también metodologías para auditorías energéticas basadas en el proceso de benchmarking. Estas metodologías fueron estudiadas y presentan bastantes similitudes unas con otras.

El objetivo principal de las auditorías es identificar la necesidad de implantar medidas de ahorro energético. Estas medidas deben ser analizadas para determinar su viabilidad técnica y económica.

La metodología se describe a continuación:

1. Descripción de elementos estructurales del edificio, así como otros que puedan tener una especial afección sobre la demanda energética del mismo:
 - Orientación del edificio.
 - Tipo de envolvente (muros y ventanas).
 - Existencia y tipos de protectores solares en ventanas.

¹⁹ ENERGY STAR. Portfolio Manager – Quick Reference Guide – Offices Building [en línea] < http://www.energystar.gov/ia/business/comm_real_estate/downloads/quick_ref_guide.pdf > [consulta: 05 Agosto 2008]

- Mecanismos de ahorro de agua y, por tanto, el consumo de energía utilizada para su calentamiento.
2. Análisis de la situación existente a través de un levantamiento de datos de las instalaciones del edificio:
 - Recopilación de los consumos de energía y agua sanitaria, se recomienda obtener los últimos 12 meses.
 - Analizar los tipos de equipos consumidores de energía, potencias nominales y eficiencia, además los tiempos de operación de éstos mismos.
 - Identificar las principales áreas de consumo de energía (iluminación, climatización, equipos de computación, calderas, etc.).
 - Superficies de las oficinas.
 3. Determinación y análisis estadístico de indicadores de consumo de energía en función de las labores que se realizan, el personal, las superficies, el tiempo de trabajo , así como la eficiencia económica del edificio completo en relación con la energía.
 4. Análisis de las posibles medidas de ahorro, se deben estudiar las factibilidades de éstas, tanto económicas como técnicas.
 5. Estimación de la magnitud de ahorro.
 6. Estimación de las inversiones calculando los periodos de amortización.
 7. Se deben priorizar los cambios, en primer lugar aquellos que representen grandes ahorros con pequeñas variaciones sobre las condiciones iniciales y que demanden menos recursos. En segundo lugar aquellos que requieren mayores cambios o que tengan menor incidencia sobre el ahorro total o que exijan mayores recursos.

En el caso que se quiera estudiar una tipología de edificios se debe elegir una muestra representativa, de manera que las mejoras identificadas en el estudio, puedan ser extrapoladas a otros edificios con características similares.

3.3.- Diseño de la metodología de trabajo.

Para este estudio, la metodología a usar se basará en la descrita anteriormente. Cabe mencionar que algunos tópicos no se abordarán debido a limitancias técnicas y de tiempo.

3.3.1.- Levantamiento de datos.

3.3.1.1.- Estrategia para la obtención de datos.

La obtención de datos a través de una ficha de Benchmarking que permita el desarrollo de este trabajo siempre se supo que sería complicada, debido a la cantidad de tiempo en su realización.

Se debía demostrar la seriedad de este estudio, iniciativa de la CDT, la que se podría traducir en beneficios directos y sin costos para administradores y usuarios. Debido a los pocos conocimientos que existen en Chile con respecto al Benchmarking y eficiencia energética la reacción de administradores y usuarios sería de incredulidad ante la encuesta debido a la desconfianza para revelar datos, para ellos confidenciales.

Para ello se buscó la colaboración de la consultora inmobiliaria Mackenzie Hill para que dieran contactos de administradores de edificios de oficinas, con esto se tiene un respaldo para aportar credibilidad al estudio. Esta inmobiliaria aconsejó dos administradores importantes, Administradora Las Bellotas y CB Richard Ellis; éstas aportaron en un gran porcentaje al espacio muestral.

Una vez ya reunidos con las administradoras sólo faltaba que éstos designasen a la persona más idónea en cada edificio propuesto por ellos para responder la encuesta confeccionada.

Finalmente a través de un contacto telefónico se planificaba una reunión con el Jefe de Operaciones del edificio para, personalmente, visitar las dependencias y responder la encuesta.

3.3.1.2.- Desarrollo de la ficha de benchmarking o encuesta.

Esta encuesta se confeccionó para recopilar información referente a los consumos energéticos; averiguar los distintos sistemas para la operación de los edificios (iluminación, computación y climatización) y también obtener descripciones físicas, espaciales y constructivas como lo son la cantidad de pisos, superficies, características de la envolvente, etc. Además de los consumos energéticos (agua, electricidad y gas natural).

Con estas ideas en mente, se desarrolló la ficha de Benchmarking compuesta por las siguientes secciones:

- Identificación del establecimiento: nombre comercial, dirección, comuna, nombre del contacto.
- Antecedentes y dimensiones del establecimiento: año de construcción, superficie total, cantidad de pisos y subterráneos.
- Características del establecimiento: número total de oficinas, existencia de ascensores, estacionamientos.
- Características pisos: descripción de superficies y número de oficinas por planta.
- Características otros espacios: descripción espacios cuyo uso no corresponde a oficinas.
- Características de la envolvente: tipos de cristales y carpintería, además de la existencia de alguna aislación térmica en muros y envolvente.
- Caracterización del sistema de climatización: fuentes de energía involucrados, potencias nominales de equipos, año de instalación y descripción general del sistema.
- Consumos energéticos operacionales: facturas mensuales de electricidad, agua, gas natural y combustibles del pasado año.

- Luminarias espacios comunes: cantidad de luminarias con sus potencias y horas de funcionamiento.
- Características oficinas: descripción de cantidades de luminarias y equipos de computación con sus potencias y horas de funcionamiento. Además caracterización de los equipos de climatización para el caso de edificios sin un sistema centralizado.

La confección de esta ficha esta basada en la encuesta realizada para el trabajo de título “Aplicación Metodológica para la Determinación del Desempeño Energético en Hoteles” de Simón Larraín Vial.

3.3.1.3.- Espacio muestral: tamaño, identificación y características de la muestra.

En un principio se tenía como objetivo encuestar a 15 edificios del total proporcionado por los antecedentes de la memoria “Desarrollo de Índices de Desempeño del Consumo Energético y de Agua Sanitaria en Edificios de Oficina de Santiago” de Pablo Pareja Fernández. Al elegir unos edificios al azar e ir a explicar el estudio para que accedieran a entregar la información, los conserjes y mayordomos mostraron cierta desconfianza negándose a entregar información. Debido a esto, sólo quedaron los edificios otorgados por las administradoras contactadas, es decir, el tamaño de la muestra dependió solamente de estos administradores. Además de las administradoras, otros edificios fueron contactados por profesores.

Para identificar los edificios encuestados y a la vez mantener la confidencialidad de la información solicitada se le asignó a cada uno un código cuyo formato es el siguiente:

COMUNA (Nº DE PISOS-Nº DE SUBTERRÁNEOS) AÑO DE CONSTRUCCIÓN

Para el total de la muestra se elaboró una ficha técnica que explica en forma breve los sistemas de climatización, luminarias y características de la envolvente de los edificios encuestados. Esta ficha tiene el siguiente formato:

Tabla 7: Formato ficha técnica de la muestra.

Edificio	Comuna	Año de Construcción	Climatización	Tipos Luminarias	Ventanas	Aislación Térmica en antepechos y muros
			A	F		1
			B	FC		0
			C	H		
			D	I		
			E			

Las claves de esta ficha son:

- Climatización:

A: Sistema de refrigeración a través enfriadores de agua (chillers) y fancoils. La Calefacción a través de las resistencias eléctricas de fancoils.

B: Sistema de refrigeración a través enfriadores de agua (chillers), unidades manejadoras de aire por piso y cajas de volumen variable. La Calefacción a través de los calefactores eléctricos de las cajas.

C: Equipos partidos splits instalados por planta.

D: Equipos splits y multi-splits instalado en ciertas oficina.

E: Equipos de ventana (solo refrigeración).

- Iluminación:

F: Tubos fluorescentes.

FC: Fluorescentes compactas.

H: Halógenas.

I: Lámparas incandescentes.

- Aislación térmica en antepechos y muros.

1: Tiene.

0: No tiene.

3.3.1.4.- Proceso de encuestado.

Una vez que los administradores facilitaron el contacto con los jefes de operaciones de cada edificio, se realizaron llamadas telefónicas para programar reuniones con el fin de ver las instalaciones y llenar la ficha. En su gran mayoría ninguno puso problemas para la reunión, con lo cual se programó lo más pronto posible desde la fecha del llamado telefónico.

En las reuniones se pudo apreciar la diferencia existente en la forma de trabajar de las administradoras, así como también de los distintos jefes, no existiendo un patrón característico en cuanto a la información relevante a conseguir. Es decir, mientras uno tenía toda la información solicitada, detallada y ordenada, otro ni siquiera contaba con las superficies del establecimiento.

Los jefes de operación solo podían entregar información relativa a los espacios comunes del edificio, para encuestar las oficinas se debía gestionar con la empresa arrendataria. En algunos edificios esta gestión sólo la realiza el jefe de operaciones, es aquí donde se ven las diferencias entre los distintos jefes pues mientras uno tenía toda la información de las oficinas, otro no la tenía y no quiso realizar ninguna gestión. En otros edificios no existe este enlace entre usuarios y la persona encargada de encuestar, por lo tanto la gestión se debió hacer telefónicamente; en la gran mayoría de los casos (por no decir en todos) se recibió una respuesta negativa al estudio.

Cabe mencionar que la cantidad y calidad de información no es la misma en todos los edificios (por las razones descritas en el párrafo anterior), en algunos establecimientos faltó información para realizar por completo el estudio. Esta diferencia en la calidad de información produce que para ciertos puntos específicos a estudiar, el tamaño de la muestra se reduzca; este punto se detallará en el próximo capítulo.

3.3.1.5.- Procedimiento de cálculo para la estimación de consumos desagregados.

El consumo total de energía se dividió en cuatro partes, estas son:

- Climatización.
- Iluminación.

- Computación.
- Otros.

El último ítem se refiere a los consumos de ascensores, bombas de elevación, sistemas de ventilación y emergencia, etc.

Dentro de esta caracterización, la climatización es un tipo de consumo muy variable durante el transcurso de los meses pues depende del clima, puede que en enero se ocupe sólo refrigeración, en agosto sólo calefacción y hasta inclusive en meses de otoño puede prescindir de ocupar este sistema; por esta razón resulta bastante difícil calcular los consumos con las potencias y tiempos de operación, pues estos últimos resultan muy variables, además depende del tipo de configuración utilizado. Por el contrario, los restantes ítems se pueden considerar constantes a lo largo del año pues no tienen una dependencia directa del clima, sus tiempos de operación resultan iguales todos los días en prácticamente todos los casos resultando fácil su cálculo.

El orden de cálculo, así como las potencias utilizadas y tiempos de operación se describe a continuación:

- Para la iluminación, las potencias dependen de cada edificio encuestado. Los tiempos diarios de operación son:
 - Para plantas se estima 9 h/día.
 - Hall de acceso y ascensores 18 h/día.
 - Cajas de escaleras 24 h/día.
 - Subterráneos 24 h/día

Este consumo diario se multiplicó por 5 días/semana y finalmente por 52 semanas/año, obteniéndose el consumo anual en iluminación (ver anexo 2).

- El consumo de los equipos de computación dependen de los componentes internos (procesadores, memorias, reproductores de DVD, CD, etc.), por lo tanto se ocuparon valores típicos:
 - CPU = 75 W
 - Monitores CRT (normales) = 75 W²⁰

²⁰ TBE CHILE. Junio 2006. Eficiencia Energética en Chile – Estudio: Auditoría Energética para el Edificio Institucional de Teatinos 120. Santiago de Chile. 11p.

- Monitores Planos = 35 W²¹
- Personales (notebooks) = 60 W²²

Los tiempos de operación se estiman en 9 h/día. Al tener los consumos diarios, éstos se multiplicaron por 5 días/semana y finalmente por 49 semanas/año (se restan las 3 semanas de vacaciones), obteniéndose el consumo anual asociado a computación (ver anexo 2).

Antes de explicar el método de cálculo de los dos restantes ítems, se debe describir los dos sistemas de climatización encontrados en los edificios encuestados, éstos son:

Unidades de enfriadoras de agua y fancoils: el sistema de refrigeración se realiza mediante unidades enfriadoras de agua denominadas “Chillers” que abastece agua fría a cada planta a través de bombas, estas plantas cuentan con equipos fancoils los cuales absorben el calor del ambiente y transforma en aire frío valiéndose del flujo de agua fría. La calefacción ocupa los mismos fancoils que, a través del termostato, cierran el flujo de agua fría y se activa la resistencia eléctrica del fancoil.

Equipos partidos splits: estos equipos están formados por dos unidades: el compresor y condensador se sitúan en la parte exterior, mientras que la unidad evaporadora se instala en el interior, conectada a la red de conductos. Ambas unidades están conectadas mediante las líneas de refrigerante. En ciertas ocasiones, en que se quiere cuidar la estética exterior del edificio, las unidades exteriores se ubican dentro del edificio conectadas a una inyección de aire exterior, con la unidad de inyección ubicada en las terrazas.

Volvemos a la explicación de métodos de cálculo. La climatización se divide en dos partes, refrigeración y calefacción. Los chillers se asocian a refrigeración y las resistencias eléctricas de fancoils a calefacción.

Para el consumo de chillers se procedió como sigue:

²¹ CONFIGURAR EQUIPOS. Consumo de un ordenador [en línea] <<http://www.configurarequipos.com/doc900.html>> [consulta: 24 agosto de 2008]

²² DANIEL CLEMENTE. ¿Cuánto gasta un ordenador? [en línea] < <http://www.danielclemente.com/consumo/>> [consulta: 24 agosto de 2008]

- Para un edificio en particular, tenían desglosados el consumo total en oficinas, espacio común y chillers.
- Al tener el consumo real mensual de los chillers se debió calcular un factor de utilización que sea independiente del tipo de equipo, para ello se ocupa la potencia nominal del chiller y una operación diaria de 9 h/día, este consumo diario se multiplicó por 5 días/semana y finalmente por 52 semanas/año, obteniéndose el consumo anual. Este resultado se dividió por 12 para obtener un consumo teórico mensual invariante a lo largo del año.
- El factor de utilización mensual se consiguió con el cociente entre el consumo real del chiller y el consumo teórico, obteniéndose factores cercanos a 1,9 en verano y 0,5 en invierno.
- Con este procedimiento se logra un factor que sirvió de base para el cálculo de consumo de chillers de otros edificios ya que es independiente del equipo utilizado y sólo depende de los horarios de utilización de acuerdo a las necesidades climáticas.
- Para otros edificios se ocupó la potencia nominal del chiller, una operación diaria de 12 h/día. Luego de obtener el consumo diario, se multiplicó por 5 días/semana y finalmente por 52 semanas/año. Este consumo anual se dividió por 12 para obtener consumo mensuales invariantes a lo largo del año y finalmente se multiplicó por los factores de utilización calculados.

Para las resistencias eléctricas de los equipos fancoils se procedió como sigue:

- Los consumos de iluminación y computación se dividieron por 12 para obtener consumos mensuales invariantes a lo largo del año.
- Los equipos fancoils se componen principalmente de dos partes: un motor y una resistencia eléctrica. Como se dijo anteriormente al calefaccionar se activa esa resistencia, por lo tanto el consumo en calefacción del fancoil se debe a la resistencia y al motor, por el contrario cuando se refrigera sólo consume el motor. Por lo tanto podemos deducir que existe un consumo constante del motor del fancoil a lo largo del año el cual se debió calcular con una operación de 9 h/día, 5 días/semana y 52 semanas/año, este consumo anual se dividió por 12 para tener

consumos mensuales invariantes a lo largo del año. Para la potencia se tiene la siguiente tabla para distintos modelos de fancoils:

Tabla 8: Distintos modelos de fancoils.²³

Modelo	10	20	30	40	50	60	70	80
Consumo de encendido [W]	41	56	61	80	105	146	172	215
Resistencia eléctrica [W]	750	1000	1500	2000	2500	2500	3000	3000
Consumo motor	5,2%	5,3%	3,9%	3,8%	4,0%	5,5%	5,4%	6,7%
Promedio consumo motor	5,0%							

De la tabla anterior se tiene que de la potencia nominal total del fancoil, que incluye la resistencia eléctrica y el motor, un promedio de un 5% lo gasta el motor. Con este porcentaje se calculó el consumo del motor del fancoil a lo largo del año.

- Al consumo total de electricidad (facturas) se le restó mensualmente los consumos de computación, iluminación, refrigeración y motor del fancoil. Quedando del total sólo el consumo asociado a resistencias eléctricas del fancoils y otros.
- De este total, se consideró que todo consumo sobre el valor del mes con el menor consumo (diciembre o enero) se adjudica a las resistencias eléctricas. Con esto se obtuvo el valor del ítem "Otros" (valor del mes de menor consumo) ya que se consideró constante a lo largo del año.

Finalmente se debió repartir el consumo del motor del fancoil para obtener los consumos totales de refrigeración y calefacción. Para eso se procedió como sigue:

- Para cada mes se sumó el consumo de chillers y resistencias eléctricas, con respecto a este total se calculó un porcentaje de participación para cada elemento.
- Con el consumo del motor del fancoil calculado mensualmente en forma invariante se repartió para la refrigeración utilizando el porcentaje de participación de chillers y para calefacción se utilizó el porcentaje de participación de resistencias eléctricas.
- Finalmente se obtuvieron las curvas de consumo aproximadas de refrigeración y calefacción.

²³ RECAL CHILE, EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN. Fancoil [en línea]
<http://www.recal.cl/fancoil_fan_coil.html> [consulta: 24 agosto de 2008]

Para el caso de edificios con equipos partidos del tipo splits, sólo se obtiene consumos de climatización, pues como se trata de equipos que producen refrigeración y calefacción resulta imposible tratar de separarlos. La forma que se calculó estos consumos fue la siguiente:

- Con las potencias nominales y la cantidad de equipos utilizados, se calculó el consumo diario con una operación de 9 h/día. Este consumo se multiplicó por 5 días/semana y 52 semanas/año, obteniendo un consumo anual asociado a la climatización.
- Al consumo total anual de electricidad (facturas) se restan los consumos anuales de climatización, iluminación y computación; obteniéndose el consumo anual del ítem "Otros".
- A la suma de los consumos anuales de iluminación, computación y otros se dividen por 12 para obtener consumos mensuales invariantes a lo largo del año. Finalmente el valor anterior se resta mensualmente a los consumos totales de electricidad (facturas) obteniéndose una curva aproximada de climatización.

3.3.2.- Análisis de datos.

Se separó en tres partes: consumo de energía, consumo de agua sanitaria y costos.

3.3.2.1.- Consumo de energía.

Con la descripción del punto 3.3.1.4. se calculó la caracterización del consumo de todas las fuentes de energía de cada establecimiento, mostrando el nivel de participación de cada parte de la estructura de abastecimiento. Este nivel de participación se mostrará tanto para el valor total como para el promedio de la muestra.

Con las facturas de los edificios encuestados se obtuvo la curva de consumo mensual a lo largo del año, junto con ellos las emisiones de CO₂. Estas curvas se presentan con el valor total y promedio de la muestra.

3.3.2.2.- Consumo de agua sanitaria.

Para este tipo de consumo se realizó prácticamente lo mismo que para el consumo de energía a excepción de la caracterización, es decir, con las facturas se obtuvo la curva de consumo presentados con el valor total y promedio de la muestra.

3.3.2.3.- Costos.

Con las facturas de energía y agua sanitaria se obtuvieron curvas de costos mensuales a lo largo de un año.

Se realizó un análisis sencillo de los posibles ahorros al tener tarifas diferenciadas con respecto a un precio unitario promedio fijo para todos los establecimientos. Esto se hizo porque cada establecimiento tiene distintos contratos que fijan el precio unitario y estos pueden variar de acuerdo a la hora demandada (horarios punta) y a los meses del año.

3.3.3.- Desarrollo y análisis de sensibilidad de indicadores.

Para ambos casos, energía y agua sanitaria, se estudiaron las distintas variables que influyen en el consumo y su factibilidad como indicadores. Estudiando las líneas de tendencias posibles y la relación de las variables a través del coeficiente de correlación de Pearson R^2 .

Las variables estudiadas para la factibilidad de de posibles indicadores son las siguientes:

* El coeficiente de correlación R^2 es un índice estadístico que mide la relación de dos variables cuantitativas a través del análisis de la dispersión de los puntos a la línea de tendencia, un coeficiente de correlación cercano a 0 indica una alta dispersión, en cambio si R^2 es cercano a 1 confirma una buena relación de las variables.

- Clima.
- Superficie.

Finalmente, una vez que se obtuvieron los indicadores, se compararon todos los establecimientos. Estas comparaciones tienen que ver con el consumo y los costos asociados, además de la caracterización y emisiones de CO₂ en el caso de la energía.

3.3.4.- Desarrollo de un sistema de benchmarking.

Una vez con los indicadores desarrollados para cada establecimiento encuestado, se procedió a encontrar parámetros de eficiencia energética a través del sistema de benchmarking. Estos parámetros tienen el fin de fijar valores límites de aceptabilidad de los consumos anuales de energía y agua sanitaria, además de los consumos caracterizados (climatización, iluminación, computación y otros).

Para cada parámetro se procedió de la misma forma, esta es a través del cálculo de percentiles del total de la muestra y así la obtención de una curva del porcentaje acumulado de la muestra en función del consumo por unidad de superficie (ver anexo 3).

Finalmente los límites de buenas prácticas, valor típico y uso excesivo lo definen el percentil del 25%, 50% y 75%, respectivamente.

3.3.5.- Modelación empírica de consumos.

Con las variables más influyentes se desarrolló una metodología para la estimación de los consumos a través del método de mínimos cuadrados. Se evaluaron cual de los modelos propuestos (lineal, polinomial, potencial, logarítmico y exponencial) es más representativo y cuales cumplen con las hipótesis del método. Ver anexo 3.

Capítulo 4

CONSUMOS Y COSTOS DE ENERGÍA Y AGUA SANITARIA

4.1.- Caracterización de la muestra de edificios.

4.1.1.- Tamaño de la muestra.

Se cuenta con un total de 8 edificios. De este total, sólo 6 cuentan con registros de consumos mensuales de energía durante un año del edificio completo.

Para la caracterización de consumos sólo en 3 establecimientos se logró conseguir información necesaria para esta parte del estudio.

Para el consumo de agua sanitaria, sólo un edificio no presentó los consumos mensuales durante un año.

Tabla 9: Resumen tamaño de la muestra.

Denominación	Consumo de energía	Información necesaria para caracterizar energía	Consumos agua sanitaria
LASC (22-7) 2001	SI	SI	SI
LASC (16-6) 2002	SI	SI	SI
SANT (17-1) 1998	SI	SI	NO
PROV (13-2) 1990	NO	NO	SI
LASC (15-6) 1996	NO	NO	SI
PROV (12-0) 1996	SI	NO	SI
LASC (10-2) 1982	SI	NO	SI
LASC (14-6) 2004	SI	NO	SI
TOTAL	6	3	7

4.1.2.- Ficha técnica.

Para una mejor comprensión de los sistemas de climatización, iluminación, ventanas y aislación de muros y antepechos se tiene la siguiente ficha técnica de la muestra:

Tabla 10: Ficha técnica para la muestra.

Edificio	Comuna	Año de Construcción	Climatización	Tipos Luminarias	Ventanas	Aislación Térmica en antepechos y muros
LASC (22-7) 2001	Las Condes	2001	A	F, FC y H	Termopaneles	0
LASC (16-6) 2002	Las Condes	2002	A	F, FC y H	Termopaneles	0
SANT (17-1) 1998	Santiago	1998	C	F, H e I	Cristal triple y aluminio	0
PROV (13-2) 1990	Providencia	1990	A	F, FC, H	Cristal simple y aluminio	0
LASC (15-6) 1996	Las Condes	1996	A	F, FC y H	Termopaneles	0
PROV (12-0) 1996	Providencia	1996	C	F, FC, H e I	Cristal simple y aluminio	0
LASC (10-2) 1982	Las Condes	1982	D y E	F, H e I	Cristal simple y aluminio	0
LASC (14-6) 2004	Las Condes	2004	B	F, FC y H	Termopaneles	0

Claves:

- Climatización:

A: Sistema de refrigeración a través enfriadores de agua (chillers) y fancoils. La Calefacción a través de las resistencias eléctricas de fancoils.

B: Sistema de refrigeración a través enfriadores de agua (chillers), unidades manejadoras de aire por piso y cajas de volumen variable. La Calefacción a través de los calefactores eléctricos de las cajas.

C: Equipos partidos splits instalados por planta.

D: Equipos splits y multi-splits instalado en ciertas oficina.

E: Equipos de ventana (solo refrigeración).

- Iluminación:

F: Tubos fluorescentes.

FC: Fluorescentes compactas.

H: Halógenas.

I: Lámparas incandescentes.

- Aislación térmica en antepechos y muros.

1: Tiene.

0: No tiene.

4.1.3.- Participación por comuna.

De la tabla anterior se observa que 5 establecimientos pertenecen a la comuna de Las Condes, 2 a Providencia y un establecimiento a Santiago, lo que produce el siguiente cuadro de participación:

Tabla 11: Participación por comuna.

Comuna	% de participación
Las Condes	62,50%
Providencia	25,00%
Santiago	12,50%

4.2.- Detalle de consumos mensuales de energía.

En este estudio, sólo se registraron como fuente de energía la electricidad, por lo tanto en adelante al referirse al consumo de energía se refiere al consumo de electricidad.

4.2.1.- Caracterización del consumo.

De los 3 edificios aptos para caracterizar su consumo, se tiene los siguientes valores:

Tabla 12: Consumos anuales caracterizados (kWh).

Denominación	Refrigeración	Calefacción	Climatización	Iluminación	Computación	Otros	Total
LASC (22-7) 2001	1.055.385	1.148.300	2.203.685	1.980.964	488.617	1.318.181	5.991.446
LASC (16-6) 2002	289.456	364.419	653.875	652.537	158.562	196.916	1.661.890
SANT (17-1) 1998			1.339.635	838.614	253.068	352.884	2.784.201
Total muestra	1.344.841	1.512.719	4.197.195	3.472.115	900.246	1.867.981	10.437.537
Promedio	672.420	756.360	1.399.065	1.157.372	300.082	622.660	3.479.179

Cabe mencionar que la suma de refrigeración con calefacción da climatización. El edificio que no tiene separado en dos partes la climatización es aquel que tiene bombas de calor y al utilizar este tipo de equipos se hace difícil, por no decir imposible, separar éste ítem.

Con estos datos se grafican y comparan los distintos establecimientos, tanto en consumo como en participación:

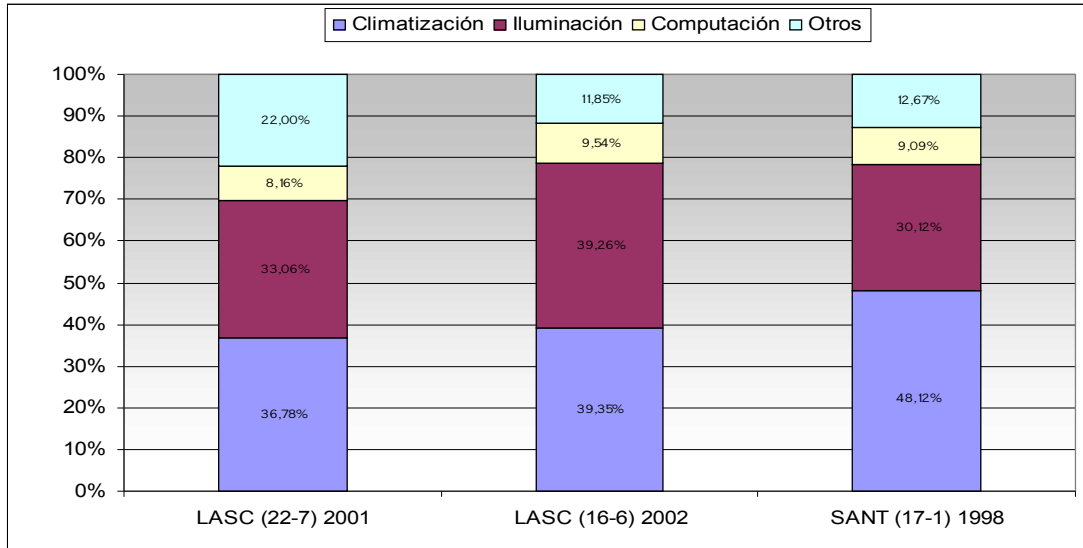


Gráfico 9: Porcentaje de participación anual por establecimiento.

En todos los casos sigue el mismo patrón, el consumo de climatización es el de mayor participación siguiéndole la iluminación, otros y computación.

Ahora presentando el gráfico para el promedio de la muestra para la caracterización se tiene:

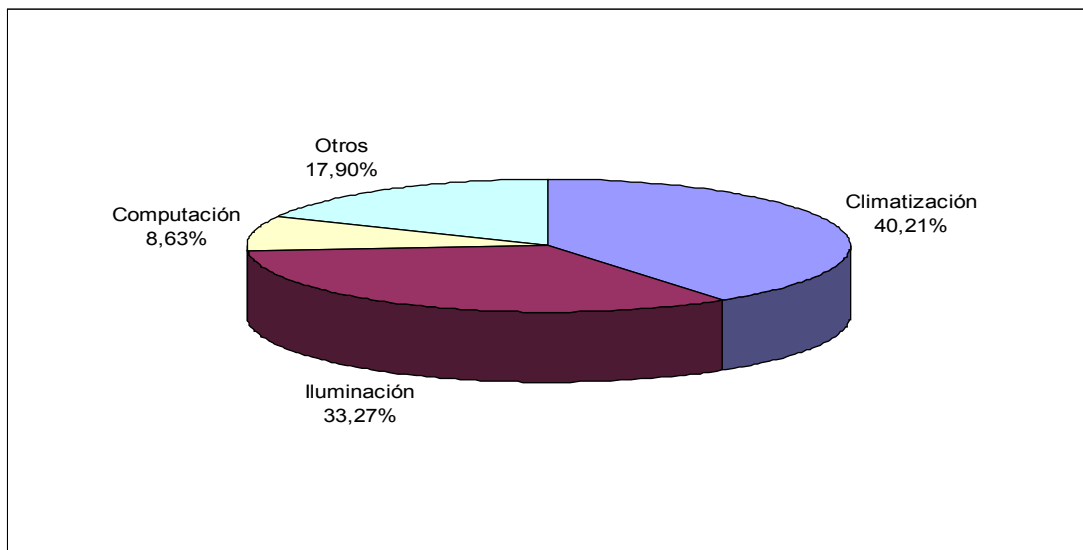


Gráfico 10: Porcentaje de participación para el promedio anual de la muestra.

Este gráfico confirma lo dicho anteriormente, el porcentaje más alto es de climatización.

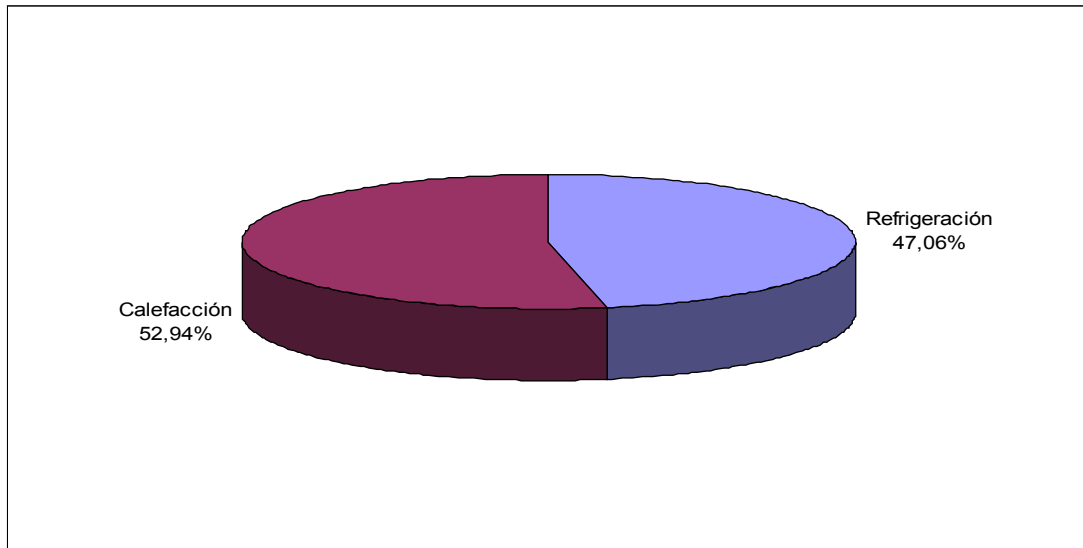


Gráfico 11: División de la climatización para el promedio anual de la muestra.

4.2.2.- Consumos mensuales.

Con los consumos mensuales de cada edificio se obtiene los siguientes gráficos con el consumo total de energía (suma de edificios) y el consumo promedio:

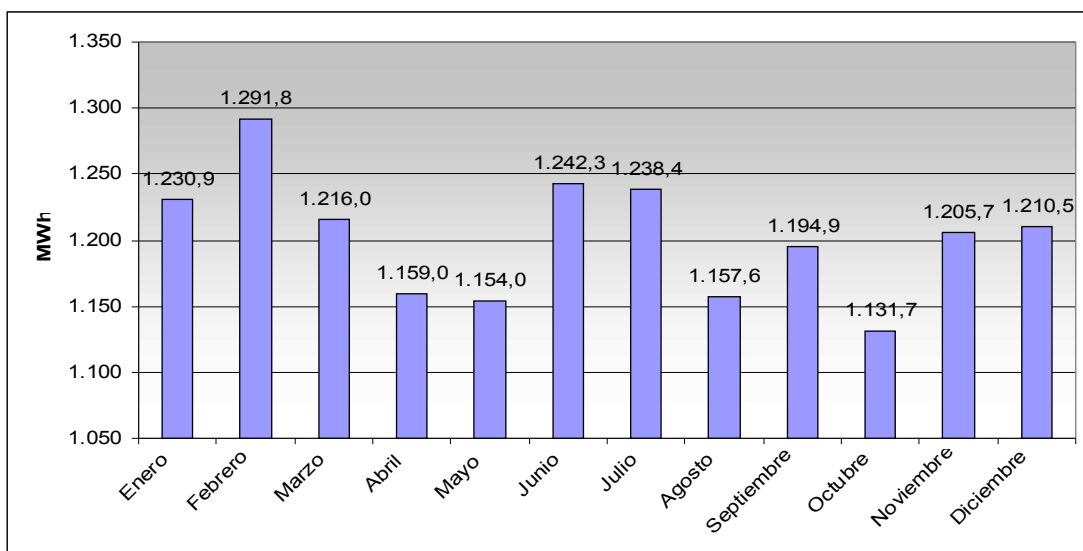


Gráfico 12: Consumo total anual de energía.

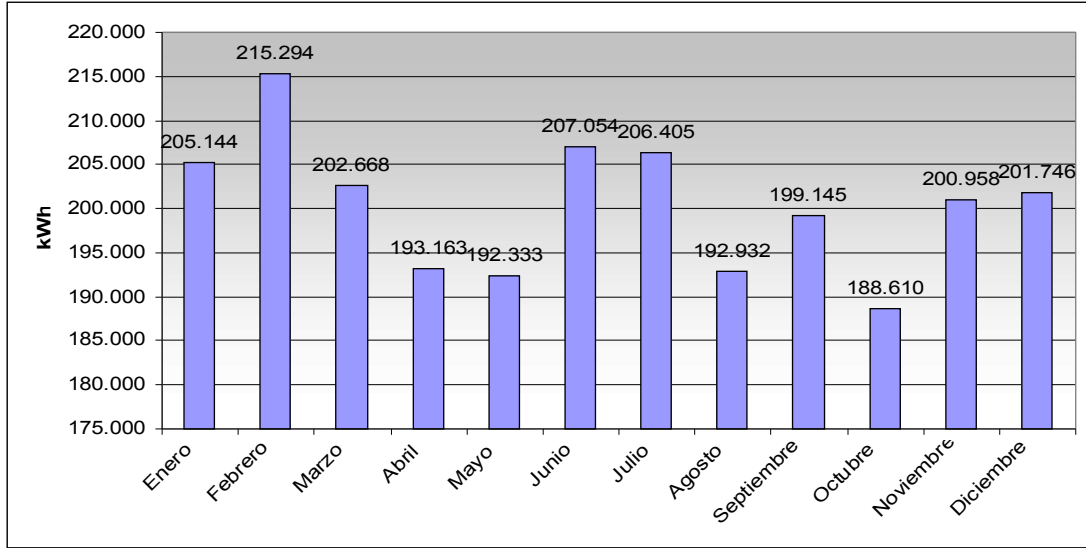


Gráfico 13: Consumo promedio anual de energía.

De estos gráficos se observa varios peaks a lo largo del año, principalmente en los meses de temperaturas extremas, ya sea máxima o mínima, debido al uso de aire acondicionado. Estos peaks se ubican en los meses de enero, febrero, junio, julio, noviembre y diciembre.

En cuanto a las emisiones de CO₂ producidas por la generación de electricidad, se estima una emisión de 0,46 kgCO₂/kWh²⁴. Con esto se tienen las siguientes emisiones:

²⁴ BUILDING RESEARCH ENERGY CONSERVATION SUPPORT UNIT. 2000. Energy use in Offices. Reino Unido. 22p.

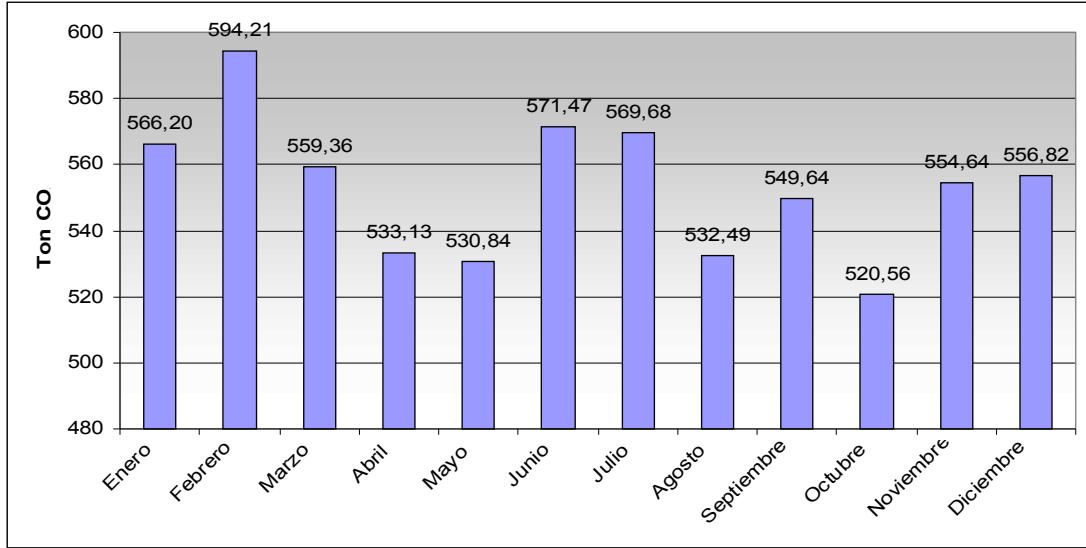


Gráfico 14: Emisiones totales anuales de CO₂.

El total de la muestra emite al año 6.639 toneladas de CO₂.

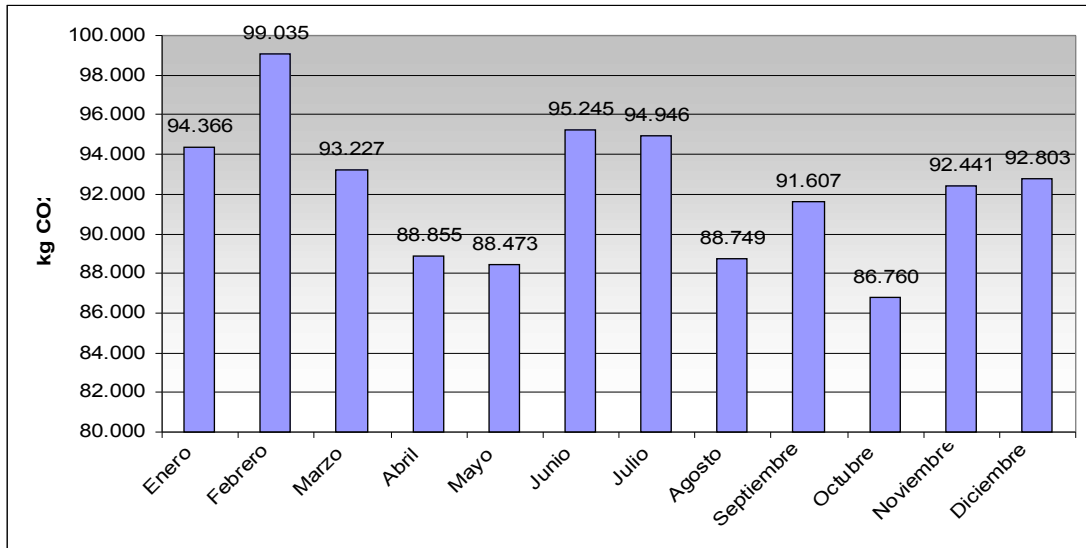


Gráfico 15: Emisiones promedias anuales CO₂.

El promedio mensual de emisiones es de 92,2 toneladas de CO₂.

4.2.3.- Estudio de posibles indicadores y su correlación con el consumo.

Como se menciono anteriormente, las variables a estudiar que influyen en el consumo energético y su factibilidad como indicador de desempeño energético serán la superficie del establecimiento y el clima.

4.2.3.1.- Superficie del establecimiento.

Analizando el consumo total anual de energía asociado a la superficie neta de cada establecimiento se tiene la siguiente tabla de datos:

Tabla 13: Consumo energético anual y superficie neta del edificio.

Denominación	Total kWh	Superficie neta m ²
LASC (22-7) 2001	5.991.446	36.233
LASC (16-6) 2002	1.661.890	7.934
SANT (17-1) 1998	2.784.201	13.711
PROV (12-0) 1996	616.985	3.533
LASC (10-2) 1982	559.787	4.152
LASC (14-6) 2004	2.818.395	14.288

Cabe mencionar que la superficie neta se define como la superficie total menos los estacionamientos, salas de maquinas; es decir se resta al total las superficies no directamente climatizadas. Luego de esta aclaración se grafican los datos de la tabla anterior:

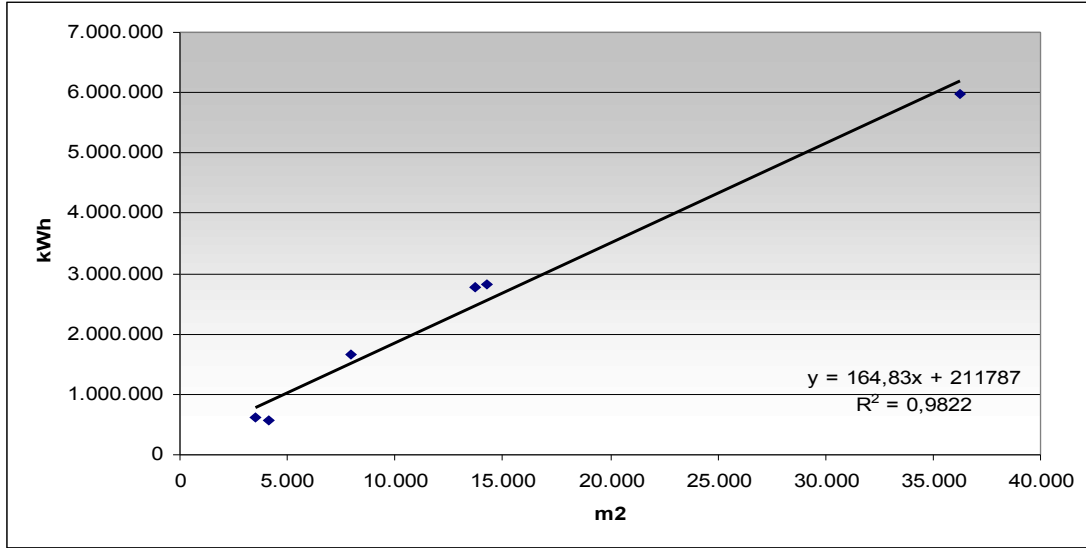


Gráfico 16: Consumo energético anual v/s superficie neta.

Como se ve existe una clara relación lineal entre el consumo anual de energía y la superficie neta del establecimiento, con una muy buena correlación ($R^2 = 0,982$). En palabras simples, a mayor superficie mayor consumo energético.

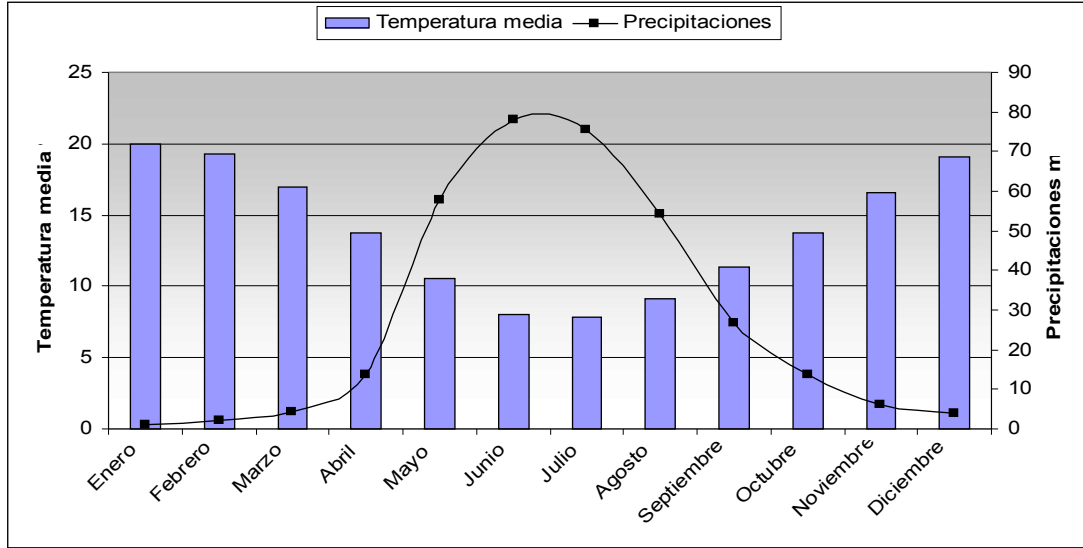
Con esto, el consumo energético por metro cuadrado de superficie es un excelente indicador de desempeño energético.

4.2.3.2.- Clima.

El clima influye fundamentalmente en el consumo de climatización tanto en verano como en invierno debido a los sistemas eléctricos de refrigeración y calefacción.

Para esta parte del estudio se ocupan 2 de los 3 edificios que están aptos para caracterizar su consumo, esto se debe a que estos edificios se pudo separar la climatización en refrigeración y calefacción.

En primer lugar se presentan las temperaturas medias mensuales mediante el climograma de Santiago:



Fuente: <http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/verContenido.aspx?ID=130242>.

Gráfico 17: Climograma de Santiago.

Influencia del clima en el consumo de refrigeración.

Con el procedimiento descrito en el capítulo 3 se realizó el cálculo del consumo mensual de refrigeración. Los factores de utilización de los chillers mencionados y calculados son los siguientes:

Tabla 14: Factores de utilización para chiller.

Mes	Factor de Utilización
Enero	2,111
Febrero	2,325
Marzo	1,866
Abril	1,283
Mayo	0,820
Junio	0,918
Julio	0,917
Agosto	0,896
Septiembre	0,957
Octubre	1,245
Noviembre	1,706
Diciembre	1,774

Superponiendo el promedio de estos consumos con las temperaturas medias en un gráfico se obtiene lo siguiente:

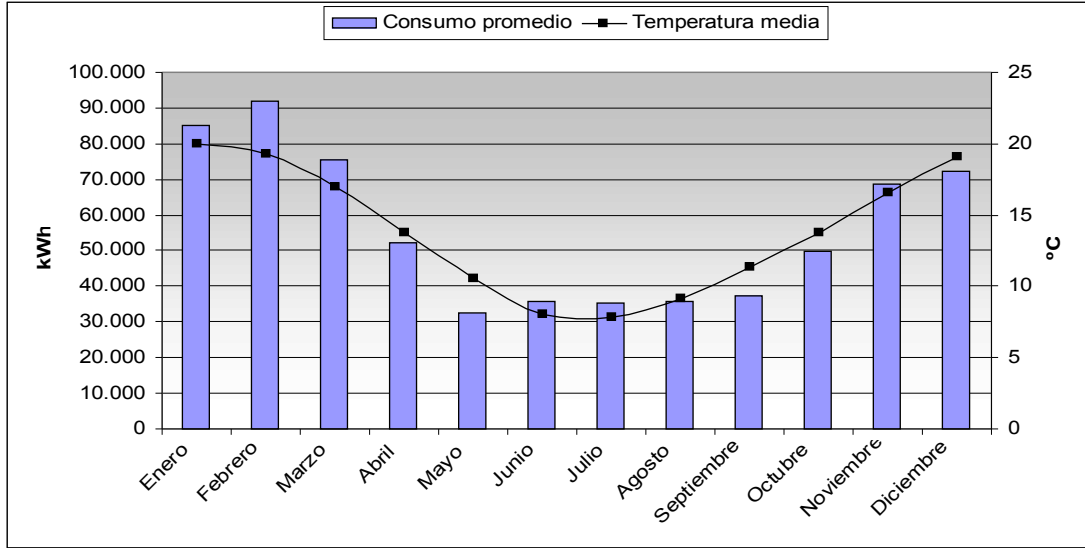


Gráfico 18: Comparación consumo promedio de refrigeración v/s temperatura media.

De este gráfico se observa la influencia del clima en el consumo de refrigeración. La curva de una emula la curva de la otra. A menor temperatura menor consumo, en cambio a mayor temperatura aumenta el consumo.

Se realiza una regresión de los consumos promedios mensuales y la temperatura media mensual, se obtiene lo siguiente:

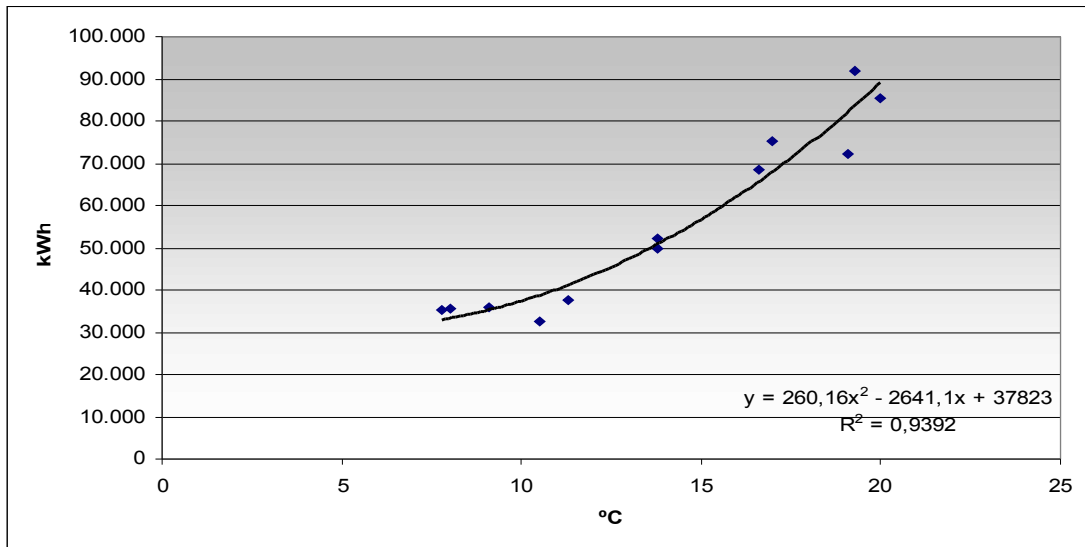


Gráfico 19: Regresión consumo promedio mensual v/s temperatura media.

Ahora con los indicadores promedios mensuales y las temperaturas medias mensuales se obtiene la siguiente regresión:

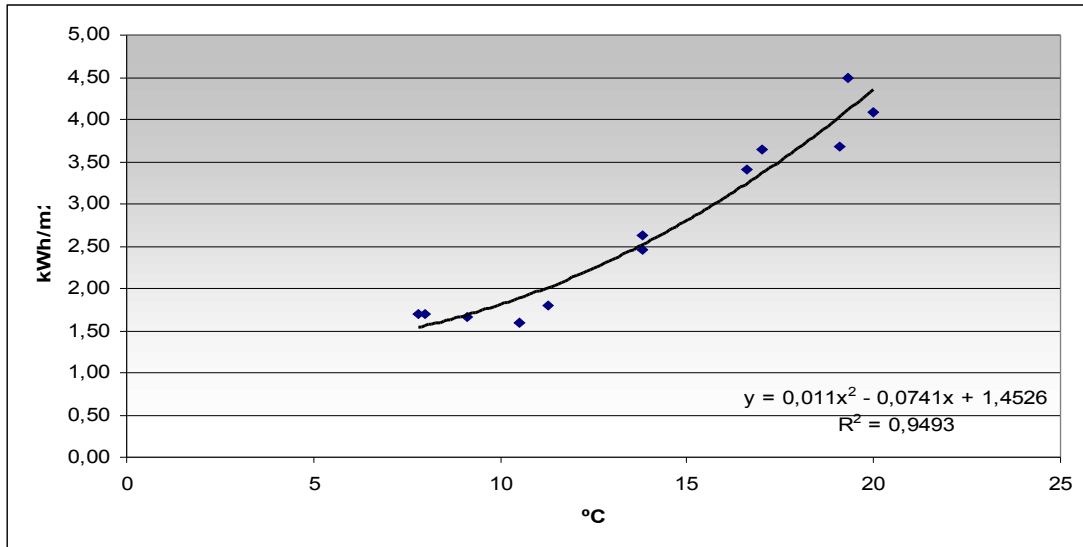


Gráfico 20: Regresión indicador promedio de refrigeración v/s temperatura media.

En ambos casos se observan relaciones polinómicas entre el consumo promedio mensual, el indicador promedio mensual y la temperatura media mensual. Las correlaciones son muy buenas ($R^2 = 0,939$ y $R^2 = 0,949$). De esto se deduce que las variables más influyentes en el consumo de refrigeración son la superficie del establecimiento y la temperatura media mensual. Las relaciones entre estas tres variables serán estudiadas en el subcapítulo 4.7.

Influencia del clima en el consumo de calefacción.

Con el procedimiento descrito en el capítulo 3 se realizó el cálculo del consumo mensual de calefacción, superponiendo el promedio de estos consumos con las temperaturas medias en un gráfico se obtiene lo siguiente:

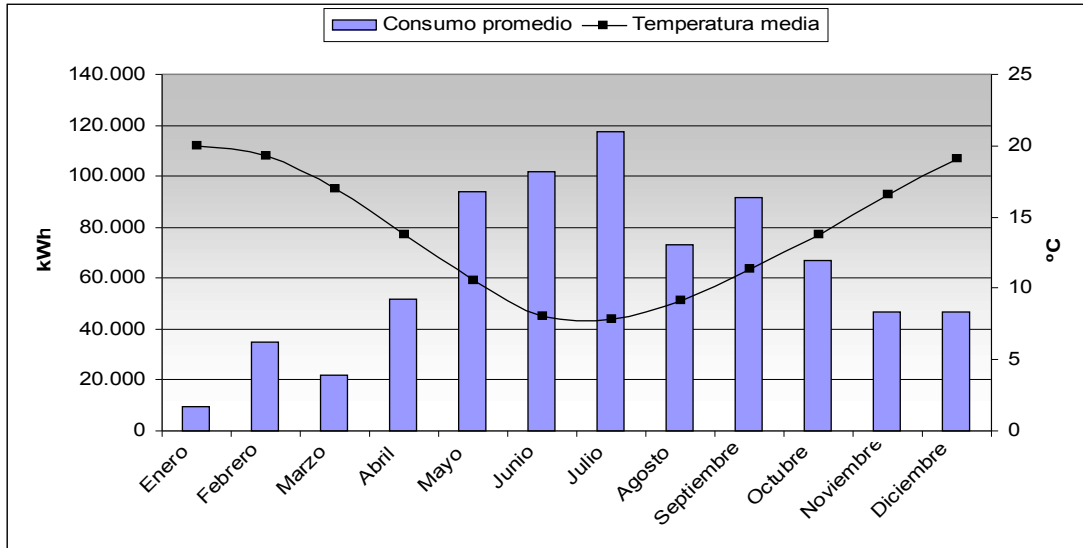


Gráfico 21: Comparación consumo promedio de calefacción v/s temperatura media.

De este gráfico se observa la influencia del clima en el consumo de calefacción. La curva de una es prácticamente la inversa de la otra. A menor temperatura mayor consumo, en cambio a mayor temperatura disminuye el consumo.

Para tener una relación explícita de la influencia de la temperatura sobre el consumo de calefacción, se grafica ahora con la inversa de la temperatura ($1/^\circ\text{C}$).

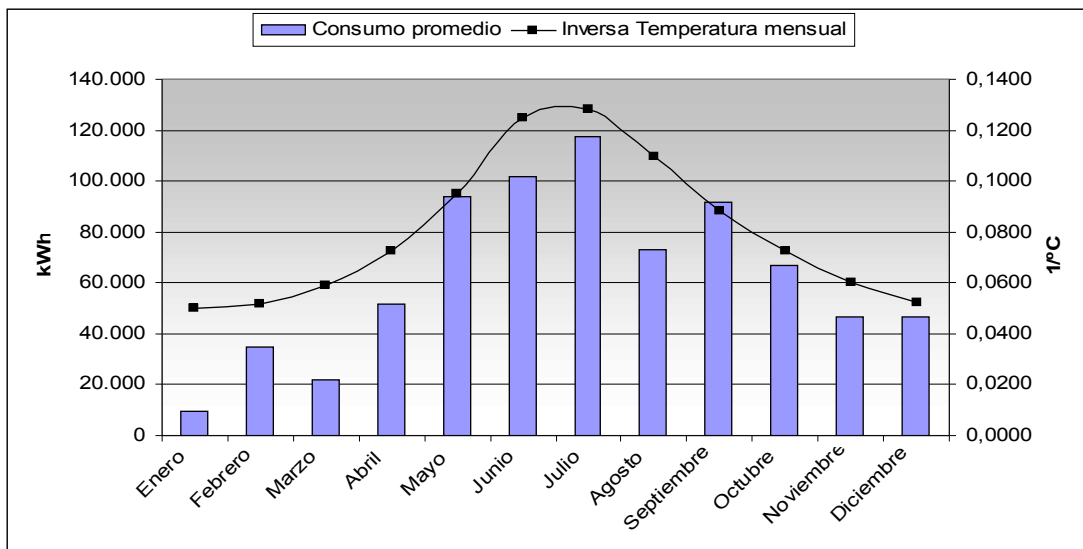


Gráfico 22: Comparación consumo promedio de calefacción v/s inversa de temperatura media.

Se realiza una regresión de los consumos promedios mensuales y la temperatura media mensual, se obtiene lo siguiente:

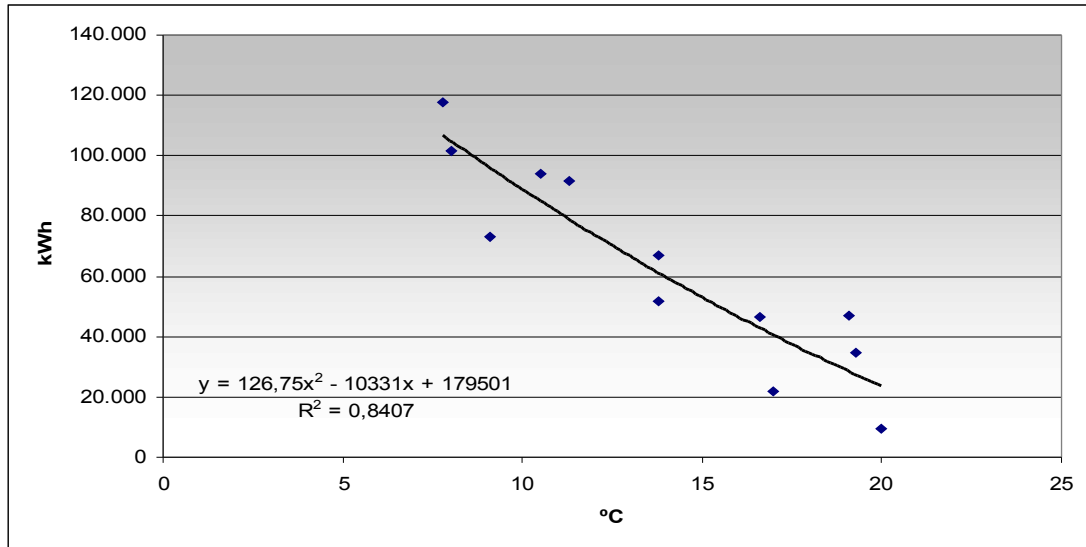


Gráfico 23: Regresión consumo promedio de calefacción v/s temperatura media.

Ahora con los indicadores promedios mensuales y las temperaturas medias mensuales se obtiene la siguiente regresión:

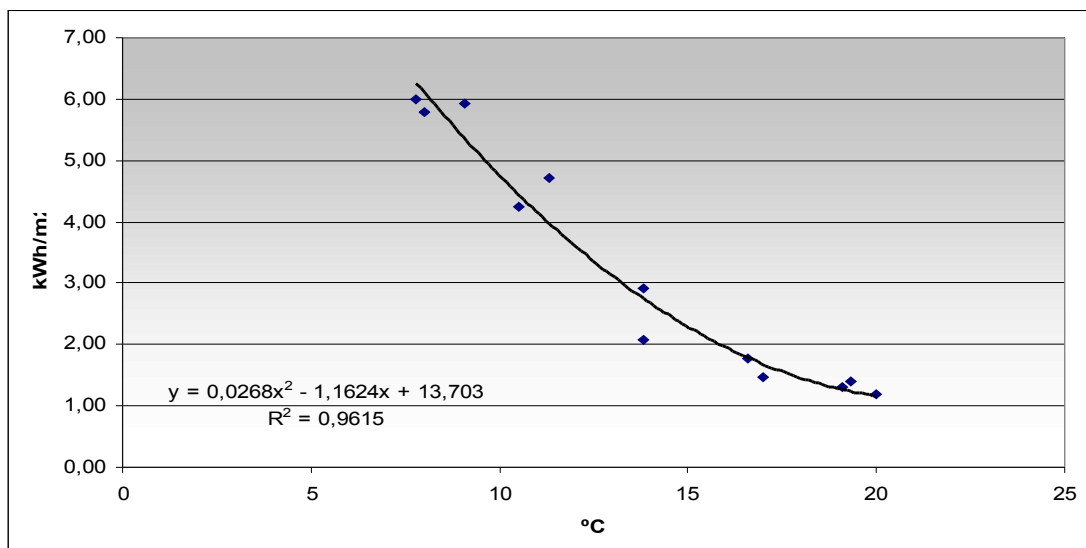


Gráfico 24: Regresión indicador promedio de calefacción v/s temperatura media.

En ambos casos se observan relaciones polinómicas entre el consumo promedio mensual, el indicador promedio mensual y la temperatura media mensual. La correlación en el primer caso es buena ($R^2 = 0,841$) y en el otros caso es muy buena ($R^2 = 0,962$). De esto se deduce que las variables más influyentes en el consumo de calefacción son la superficie del establecimiento y la temperatura media mensual. Las relaciones entre estas tres variables serán estudiadas en el subcapítulo 4.7.

4.2.4.- Comparación entre establecimientos.

Con el indicador de desempeño energético validado (kWh/m^2) se pueden comparar los consumos anuales entre establecimientos. Como se dijo anteriormente, el área ocupada para este indicador es el área neta (superficie neta = superficie total – subterráneos), esta superficie neta también se puede llamar superficie sobre terreno.

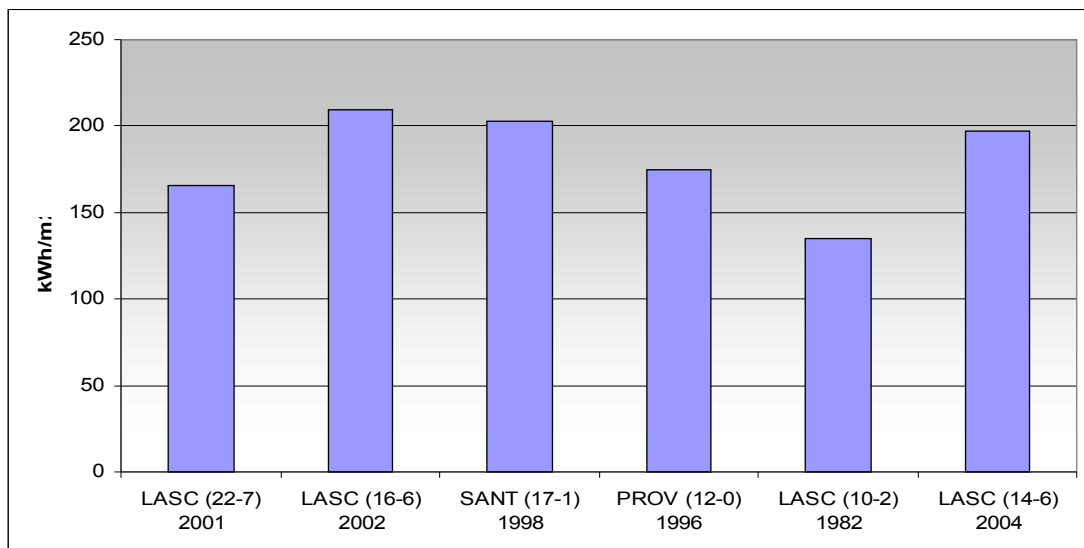


Gráfico 25: Consumo anual de energía por superficie.

De estos datos se tiene un promedio de $180,77 \text{ kWh/m}^2$.

A simple vista se puede apreciar que un establecimiento tiene un menor indicador, desde este punto de vista podríamos decir que es el más eficiente, sin embargo sería interesante relacionar estos consumos con el grado de confort que tiene ese edificio, es

decir si tiene sistemas de climatización, tipos de ascensores, etc. Esta posible relación entre eficiencia, consumo energético y grado de confort está fuera del alcance de este estudio, por lo tanto no se estudiará.

Para los establecimientos caracterizados, cada ítem de la estructura del consumo se utilizó distintas áreas para mejorar la representatividad del indicador, estas superficies son:

- Climatización: superficie neta o sobre terreno.
- Iluminación: superficie total.
- Computación: superficie útil, es decir sólo superficies de oficinas (no se cuentan hall de accesos, hall de ascensores etc.)
- Otros: superficie total.

Con estas aclaraciones, se presenta el gráfico que permite comparar la distribución de los consumos:

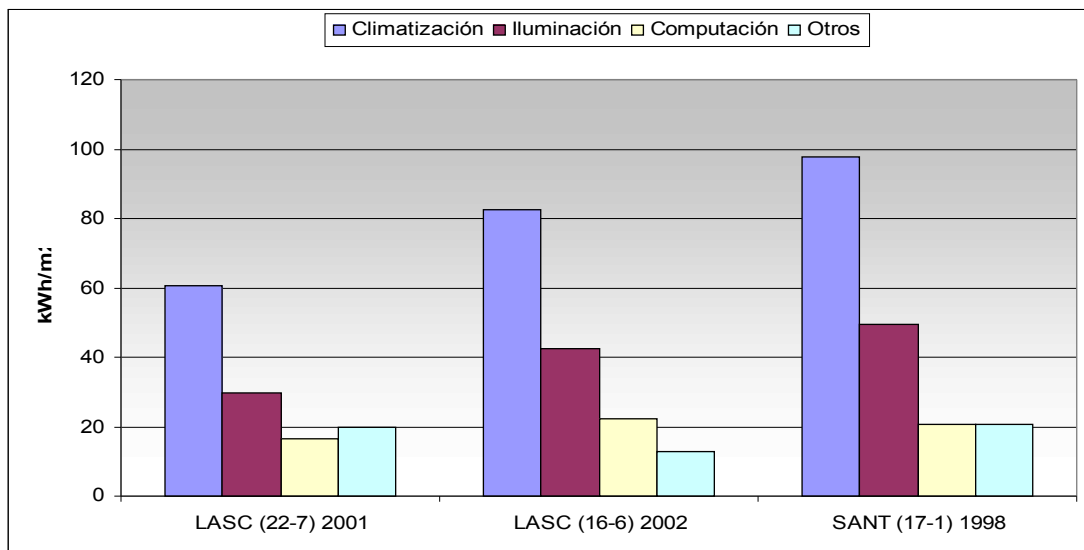


Gráfico 26: Comparación en la distribución de consumos anuales de energía.

De estos datos se tiene un promedio anual de 80,31 kWh/m² para climatización, 40,51 kWh/m² para iluminación, 19,76 kWh/m² para computación y 17,79 kWh/m² para otros.

El edificio SANT (17-1) 1998 es el que tiene un mayor indicador de climatización, es justamente el establecimiento que tiene equipos partidos del tipo splits.

En cuanto a las emisiones de CO₂ de cada establecimiento se utiliza el mismo factor utilizado anteriormente (0,46 kgCO₂/kWh). También se utilizó el área neta.

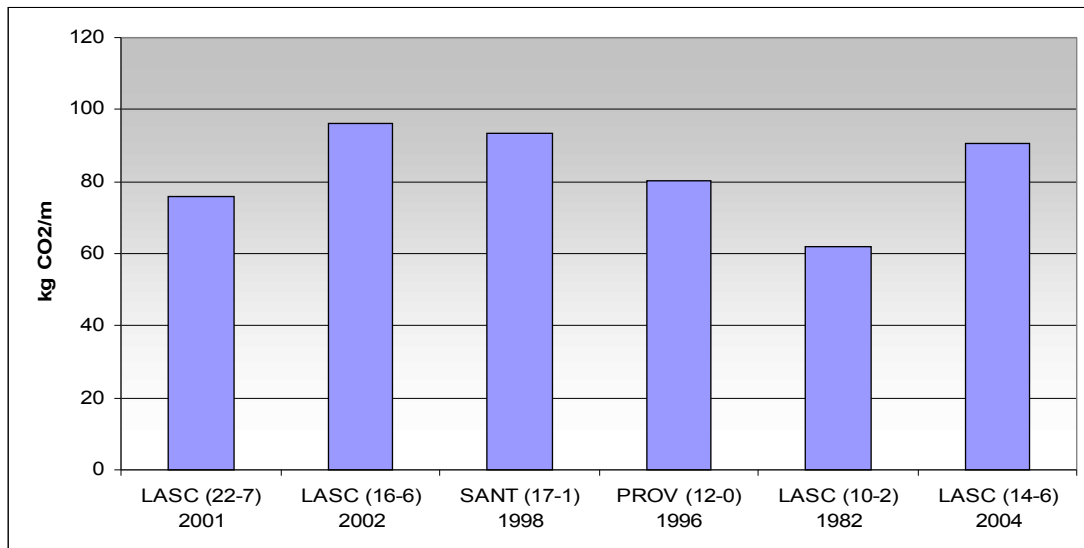


Gráfico 27: Comparación de emisiones anuales de CO₂.

De estos datos se tiene un promedio de 83,15 kgCO₂/m².

4.3.- Detalle de consumos mensuales de agua sanitaria.

En estos consumos se refleja el uso de baños y cocinas. El agua ocupada por los equipos enfriadores para refrigeración es de recirculación, por lo tanto no es un consumo cuantificable.

4.3.1.- Consumos mensuales.

Con los consumos mensuales de cada edificio se obtiene los siguientes gráficos con el consumo total de agua y el consumo promedio:

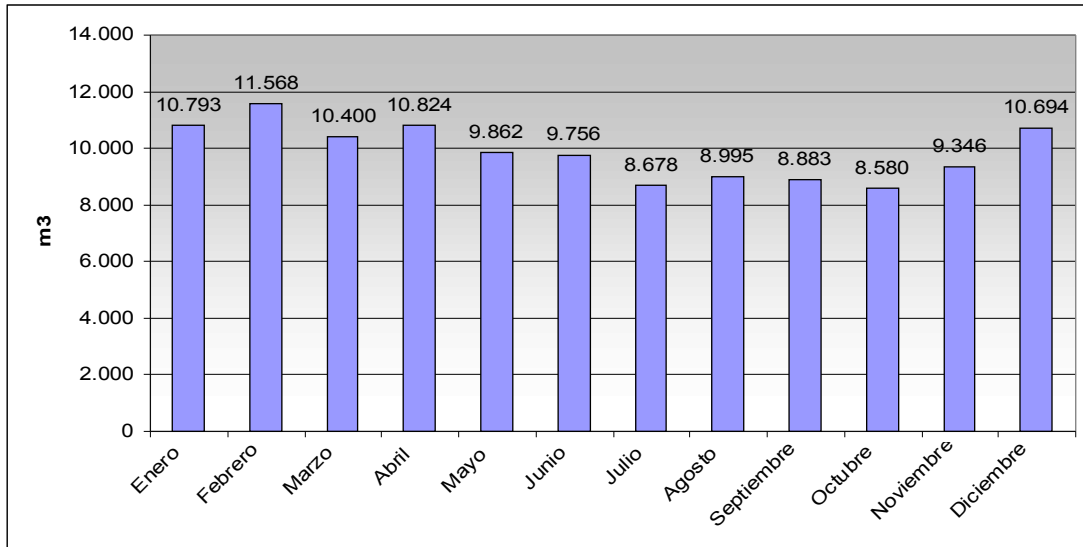


Gráfico 28: Consumos total anual de agua.

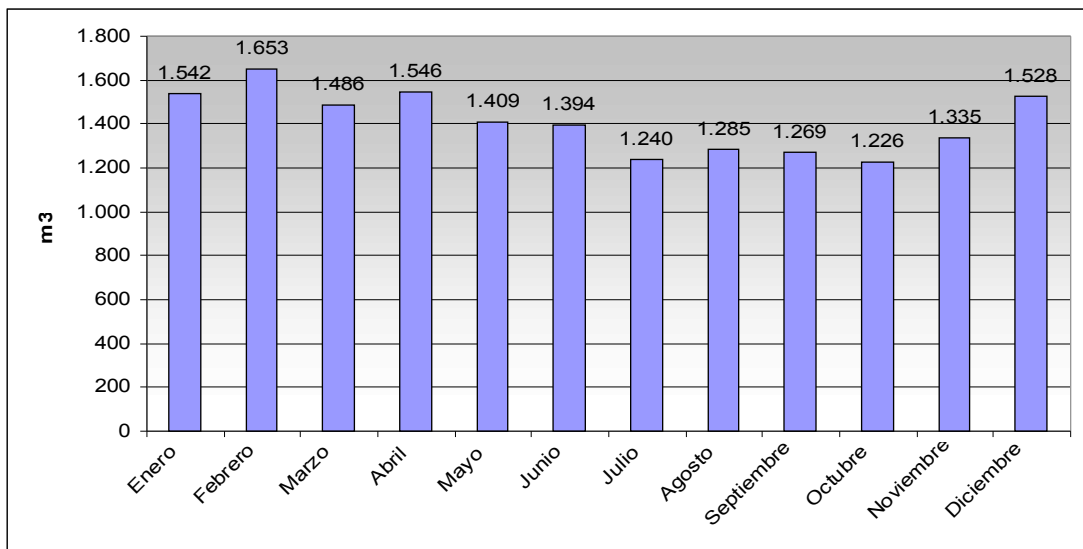


Gráfico 29: Consumo promedio anual de agua.

De este gráfico no se observa una forma o patrón definido para el promedio de consumo mensual de agua sanitaria. Sólo se puede mencionar que los consumos más bajos se encuentran en los meses de julio y octubre, por el contrario, los más altos en los meses de febrero y abril. Se tiene un promedio de 1.409 m³.

4.3.2.- Estudio de posibles indicadores y su correlación con el consumo.

Las variables a estudiar que influyen en el consumo de agua sanitaria y su factibilidad como indicador del consumo serán la superficie del establecimiento y el clima.

4.3.2.1.- Superficie del establecimiento.

Analizando el consumo total anual de agua asociado a la superficie neta de cada establecimiento se tiene la siguiente tabla de datos:

Tabla 15: Consumo de agua anual y superficie neta del edificio.

Denominación	Total m ³	Superficie neta m ²
LASC (22-7) 2001	53.498	36.233
LASC (16-6) 2002	9.139	7.934
PROV (13-2) 1990	17.370	6.009
LASC (15-6) 1996	10.593	11.086
PROV (12-0) 1996	5.922	3.533
LASC (10-2) 1982	6.933	4.152
LASC (14-6) 2004	14.925	14.288

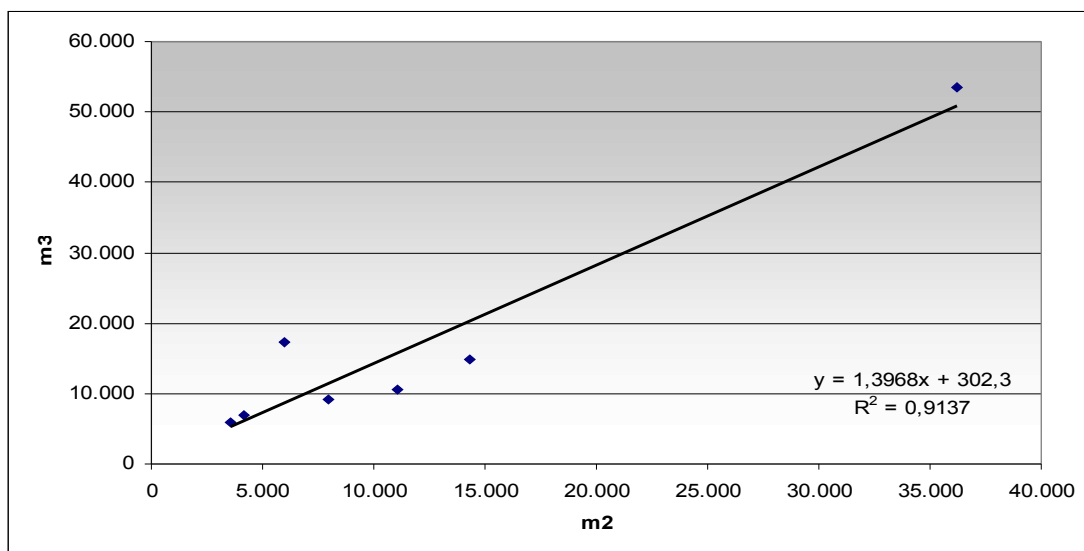


Gráfico 30: Consumo de agua anual v/s superficie neta.

Como se ve existe una clara relación lineal entre el consumo anual de agua y la superficie neta del establecimiento, con una muy buena correlación ($R^2 = 0,913$). En palabras simples, a mayor superficie mayor consumo de agua.

Con esto, el consumo energético por metro cuadrado de superficie es un excelente indicador del consumo.

4.3.2.2.- Clima.

Superponiendo el promedio de los consumos con las temperaturas medias en un gráfico se obtiene lo siguiente:

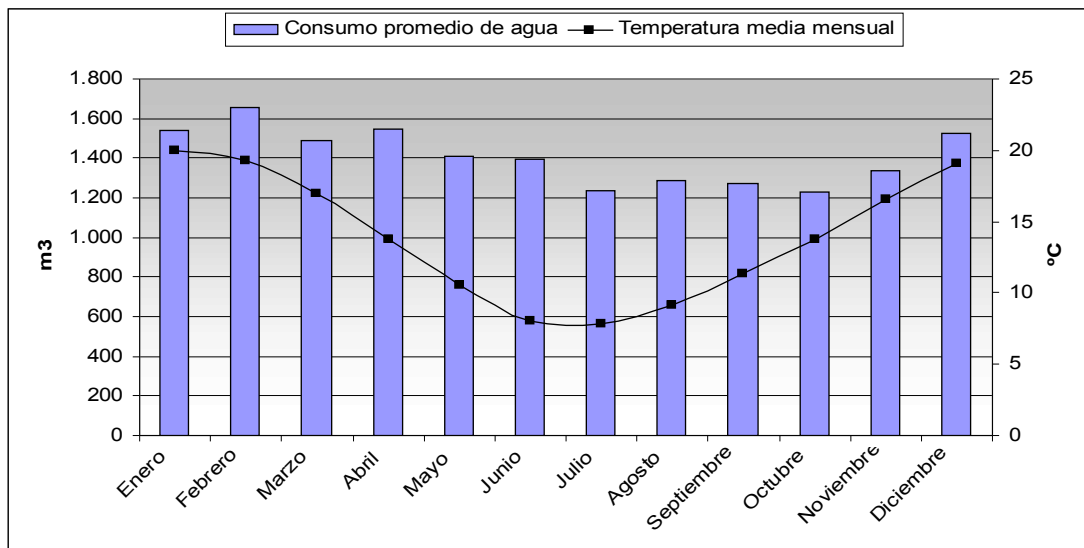


Gráfico 31: Comparación consumo promedio de agua v/s temperatura media.

Ahora con el indicador m^3/m^2 para el consumo de agua sanitaria de cada establecimiento y calculando el promedio se tiene la siguiente comparación:

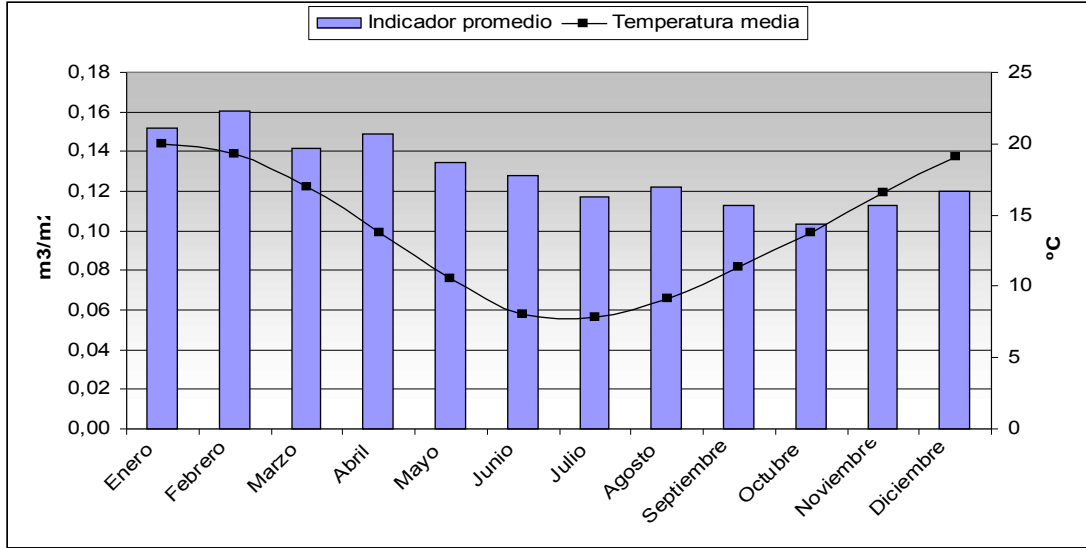


Gráfico 32: Comparación indicador promedio de agua v/s temperatura media.

De estos gráficos, se observa una cierta influencia del clima en el consumo de agua sanitaria, sobretodo en el consumo promedio. Para verificar o descartar esta influencia se realiza una regresión del consumo promedio e indicador promedio con respecto a la temperatura promedio:

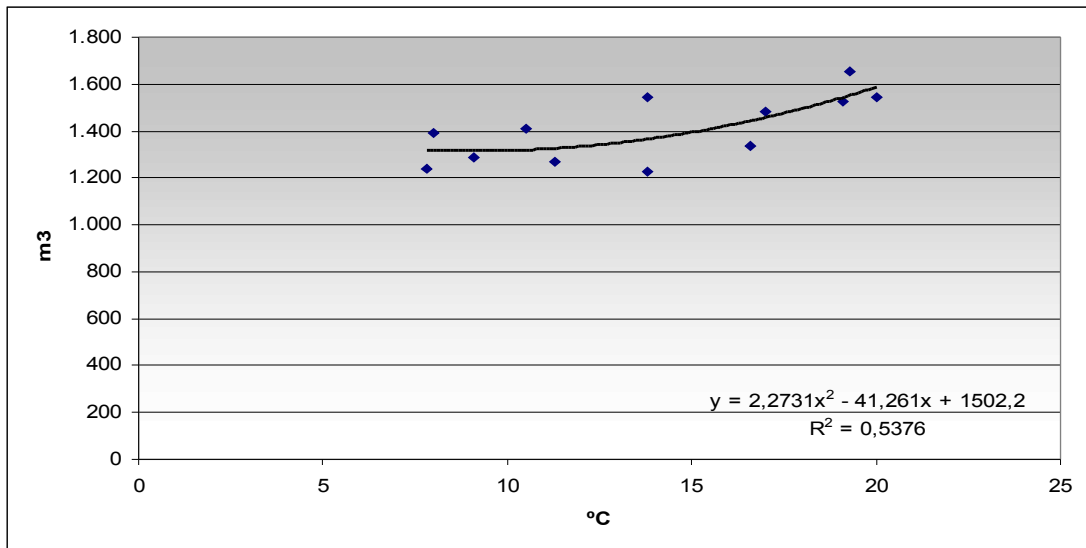


Gráfico 33: Regresión consumo promedio de agua v/s temperatura media.

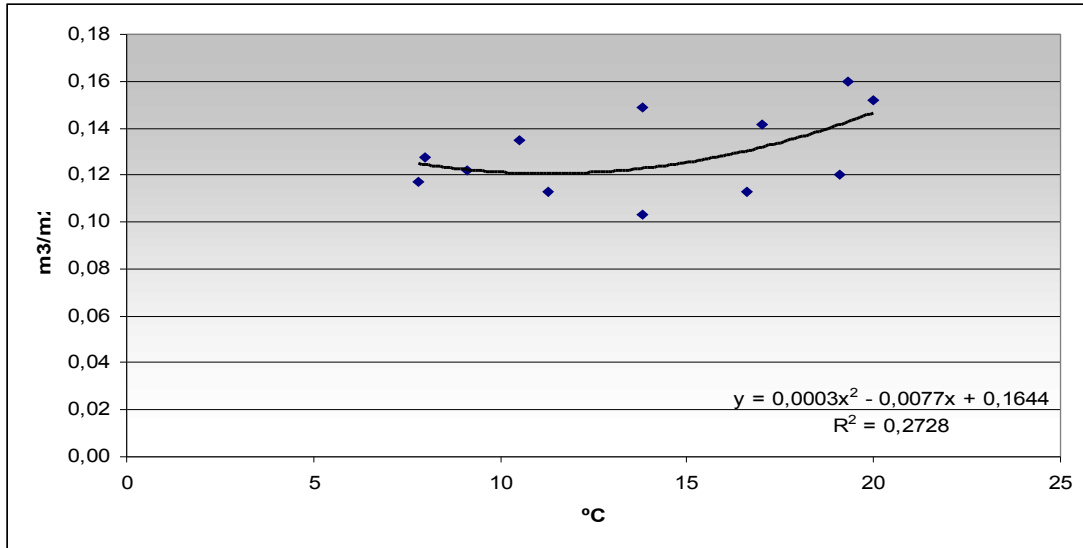


Gráfico 34: Regresión indicador promedio de agua v/s temperatura media.

En el caso del consumo promedio la correlación es mayor que para el indicador promedio (tal como se había dicho anteriormente), sin embargo los coeficientes de correlación de ambos casos son muy bajos, por lo tanto se concluye que no existe una influencia directa del clima con el consumo de agua sanitaria.

La no influencia del clima se debe a que en este tipo de edificios los usos agua son de baño y cocina principalmente. Estos usos dependen sólo de las necesidades humanas.

4.3.3.- Comparación entre establecimientos.

Con el indicador de desempeño energético validado (m^3/m^2) se pueden comparar los consumos anuales entre establecimientos. Como se dijo anteriormente, el área ocupada para este indicador es el área neta (superficie neta = superficie total – subterráneos), esta superficie neta también se puede llamar superficie sobre terreno.

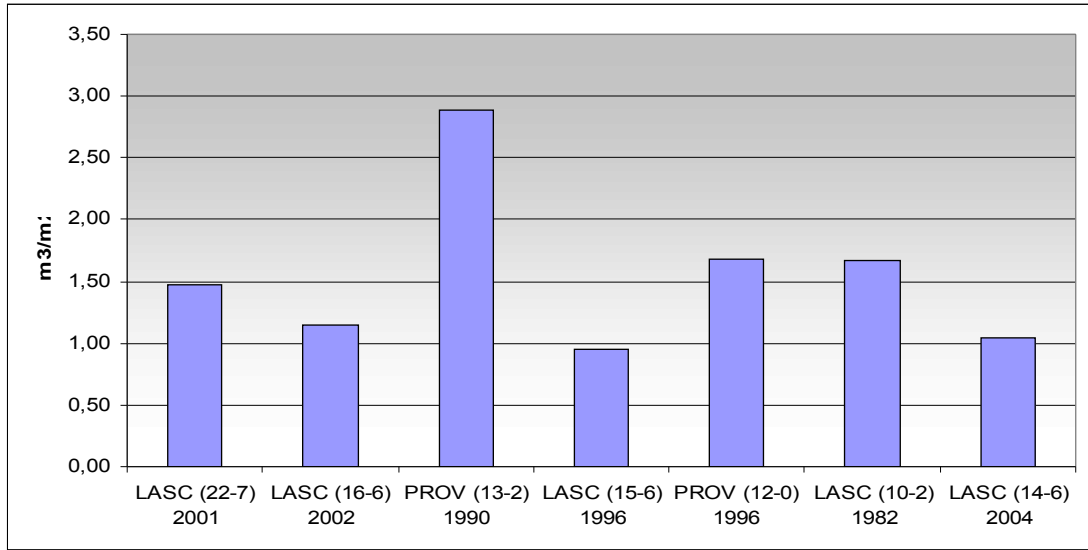


Gráfico 35: Consumo anual de agua por superficie.

De estos datos se tiene un promedio de $1,55 \text{ m}^3/\text{m}^2$.

4.4.- Costos de energía y agua sanitaria.

4.4.1.- Costos mensuales.

Con los costos mensuales de cada edificio se obtiene los siguientes gráficos con el costo total (suma de edificios) y promedio de energía y agua sanitaria:

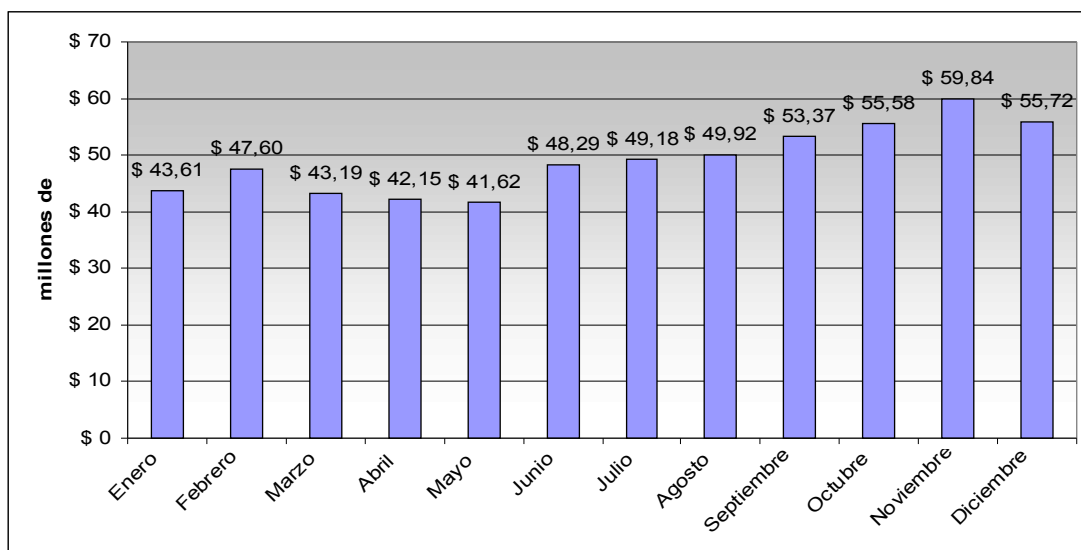


Gráfico 36: Costo total anual de energía.



Gráfico 37: Costo promedio anual de energía.

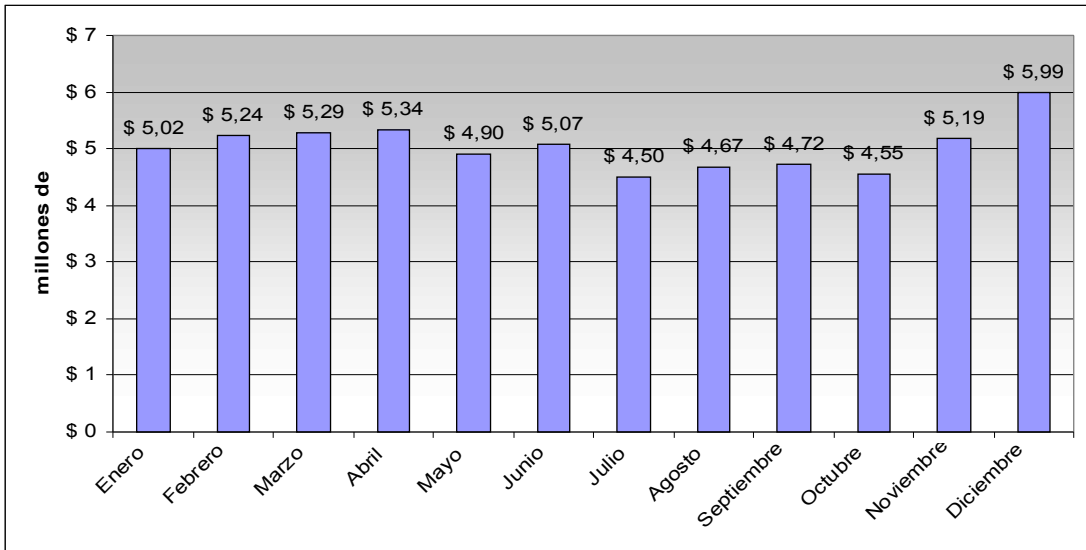


Gráfico 38: Costo total anual de agua.



Gráfico 39: Costo promedio anual de agua.

4.4.2.- Comparación entre establecimientos.

Se calculan los costos por superficie neta. El siguiente gráfico permite la comparación entre los distintos establecimientos:

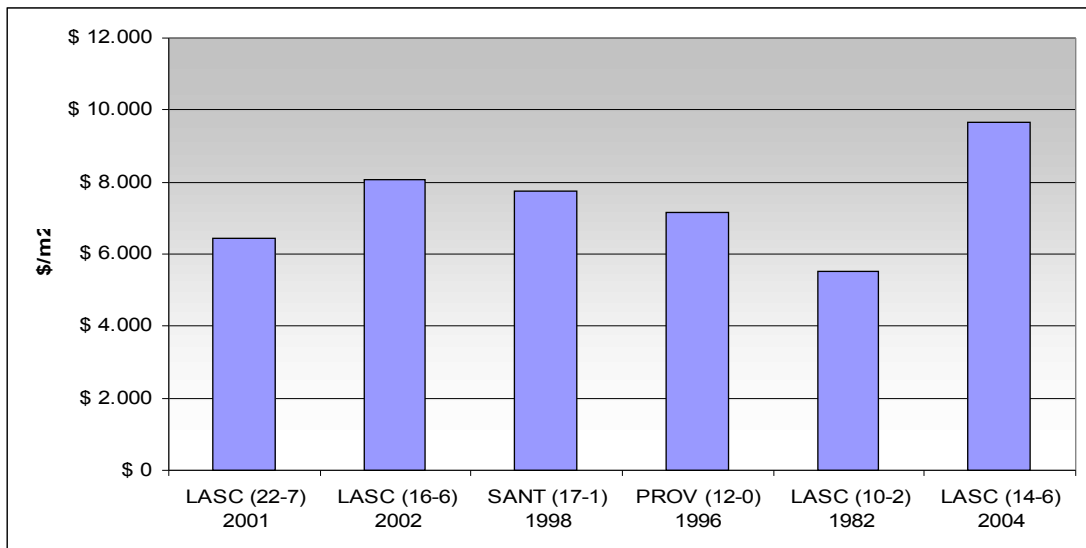


Gráfico 40: Costo anual de energía por superficie.

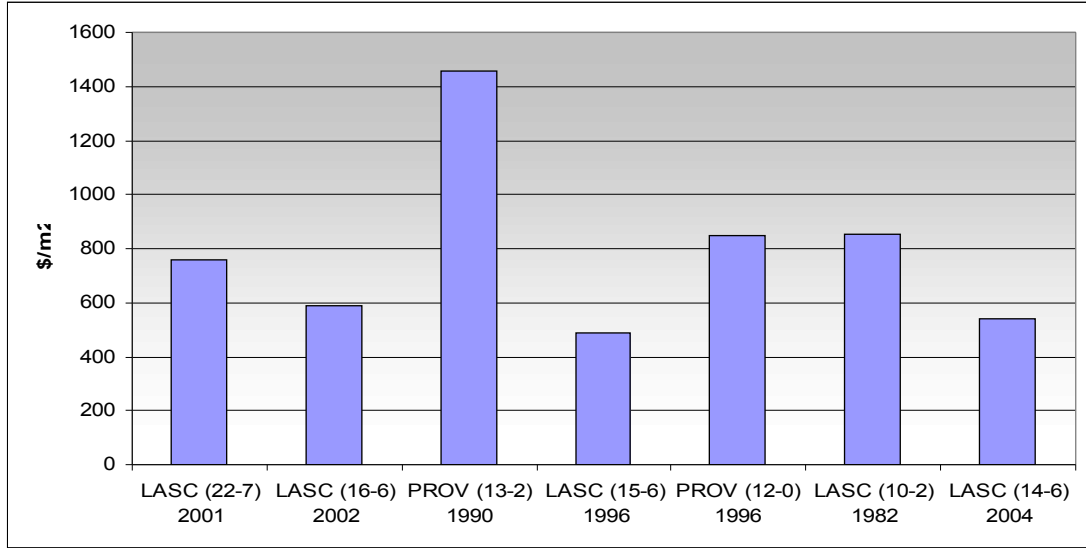


Gráfico 41: Costo anual de agua por superficie.

4.4.3.-Análisis del efecto de variación de precios unitarios.

Los establecimientos adquieren contratos con los suministradores de energía, estos contratos no son iguales entre si, por lo tanto existen diferentes precios unitarios por edificio. Una discusión en detalle sobre el tipo de contrato está fuera del alcance de este estudio, pero es interesante analizar la diferencia de costos de estos precios unitarios diferenciados con precios unitarios constante por energético.

En primer lugar se debe calcular un precio unitario por energético, la variación a lo largo del año se muestra en los siguientes gráficos:

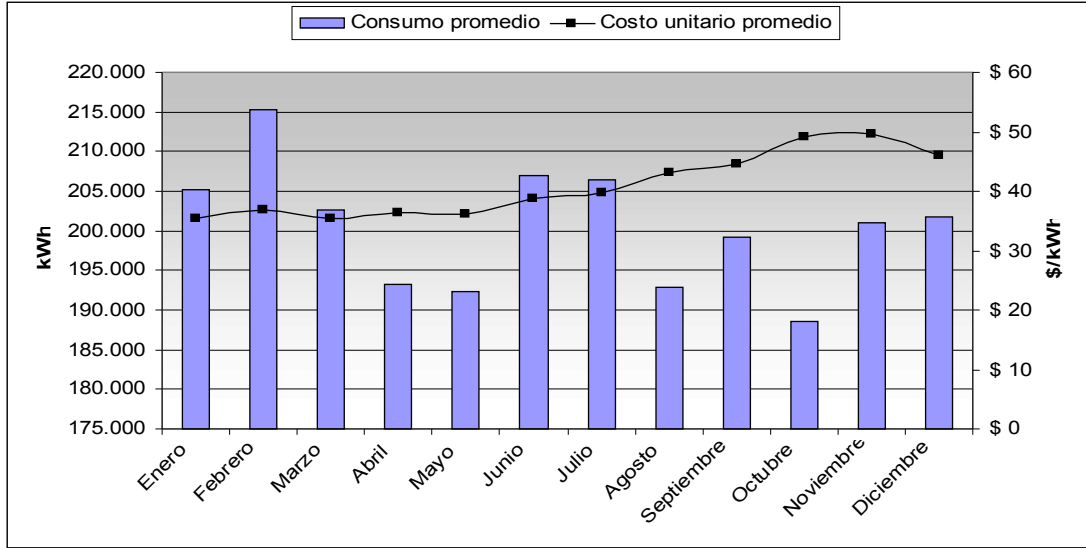


Gráfico 42: Contraste entre consumo promedio y precio unitario promedio de energía.

Precio unitario promedio = 41 \$/kWh

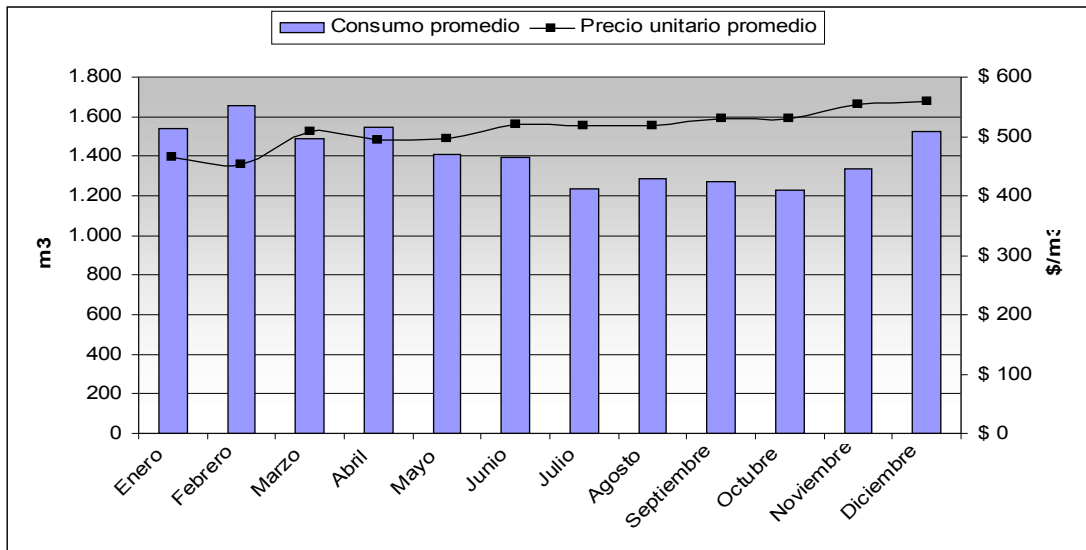


Gráfico 43: Contraste entre consumo promedio y precio unitario promedio de agua.

Precio unitario promedio = 513 \$/m³

A continuación se presentan gráficos comparativos de costos por superficie obtenidos con los precios unitarios promedio y con los precios unitarios diferenciados para los establecimientos:

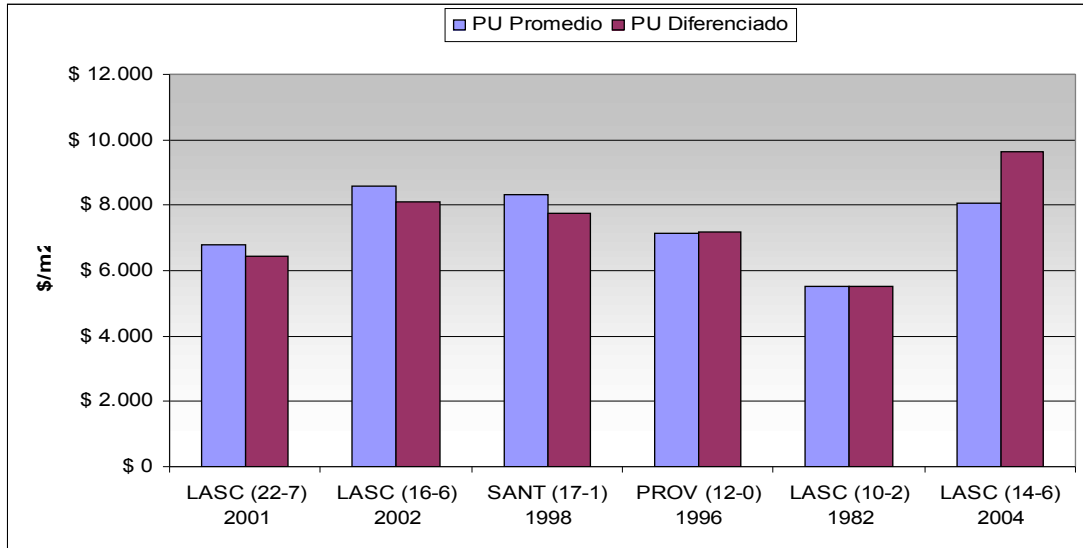


Gráfico 44: Costos por superficie anuales de energía por establecimiento.

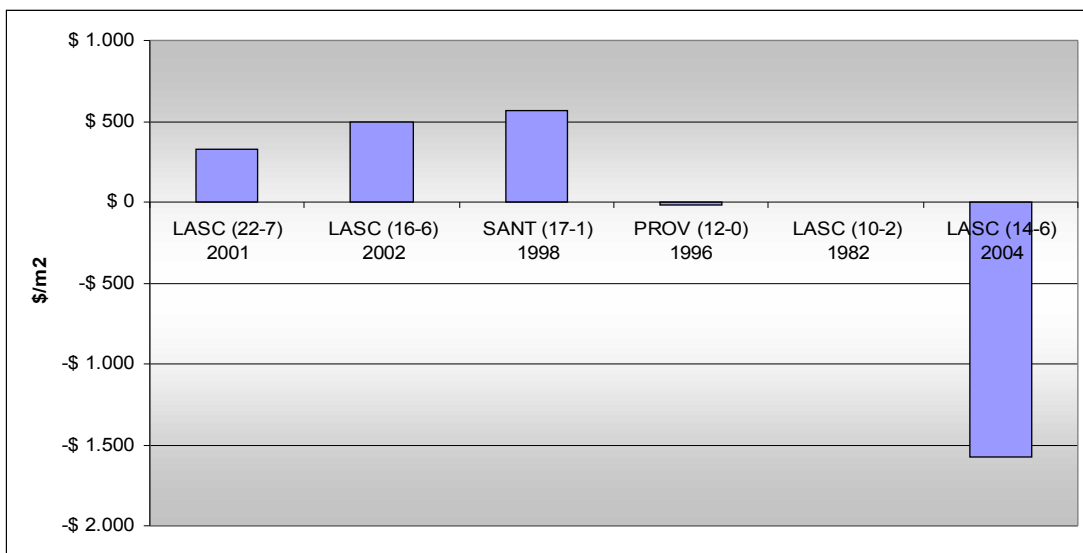


Gráfico 45: Diferencia entre PU promedio – PU diferenciado energía.

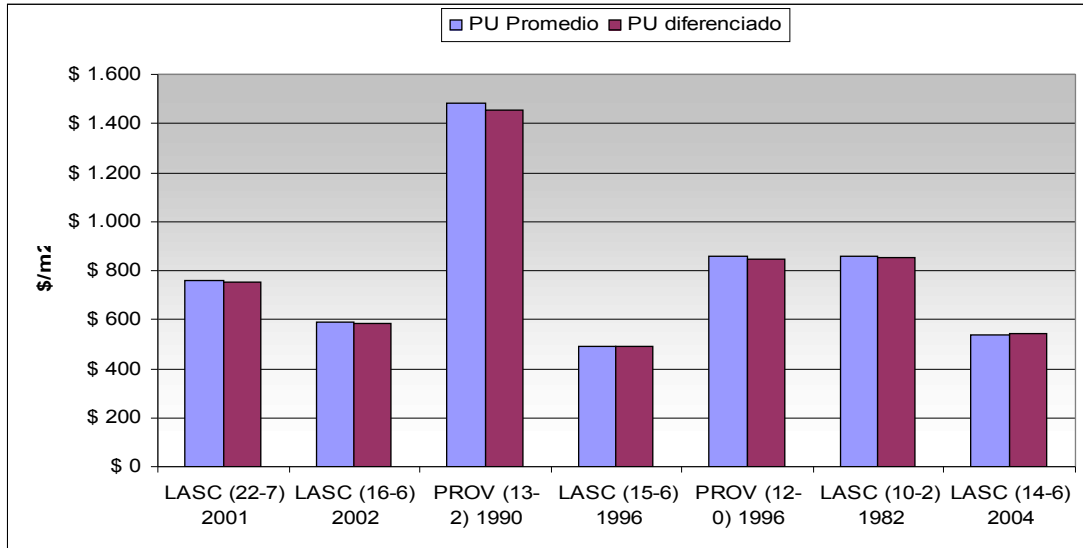


Gráfico 46: Costos por superficie anuales de agua por establecimiento.

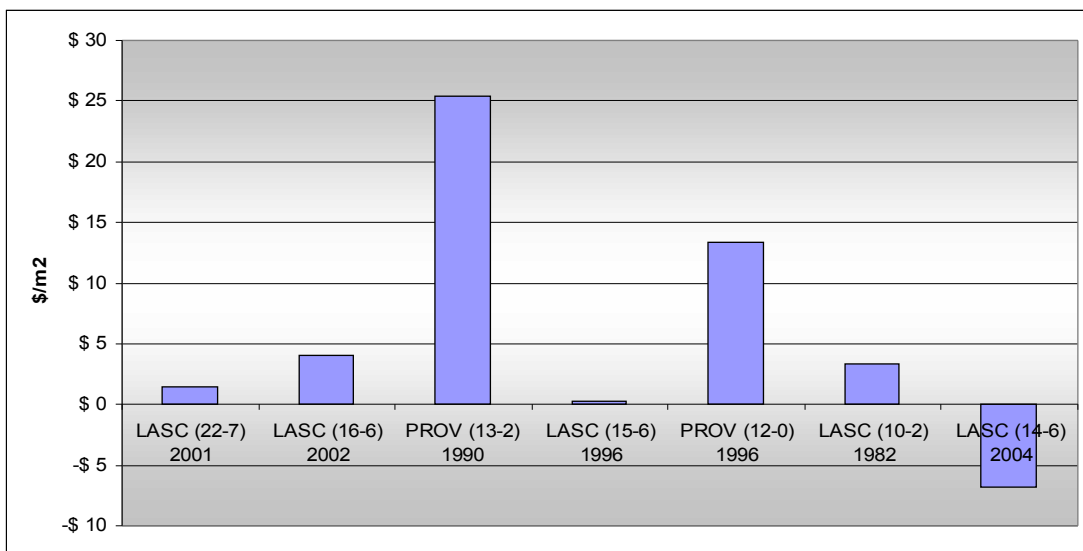


Gráfico 47: Diferencia entre PU promedio – PU diferenciado agua.

En ambos casos (energía y agua) se observa que con un precio unitario constante se registran costos mayores que con los precios unitarios diferenciados, a excepción de LASC (14-6) 2004. Se aprecian ahorros máximos de un 7,3% con respecto al costo por precio unitario diferenciado en el consumo de energía en SANT (17-1) 1998. Los ahorros en el consumo de agua son despreciables ya que la diferencia máxima con respecto al costo por precio unitario diferenciado (PROV (13-2) 1990) no sobrepasa un 2%.

En cuanto al caso de LASC (14-6) 2001, se observa una diferencia negativa de \$22.000.000 aproximadamente. Esto puede significar que ese establecimiento tiene un costo de energía muy elevado con respecto a los demás.

4.5.- Evaluación de indicadores.

Los edificios encuestados se evaluaron de acuerdo a estándares internacionales (descritos en capítulo III), clasificándolos de acuerdo a sus respectivos indicadores, ya sea de energía como de agua sanitaria.

4.5.1.-Evaluación y clasificación de indicadores de energía.

Criterio EMSD, Hong Kong


Tabla 16: Benchmarks promedios anuales de energía según EMSD.

Principal Grupo	Subgrupos	E [kWh/ m ² /año]
Oficinas Privadas	1	218
	2	113
	3 (con aire acondicionado en áreas comunes)	54
	3 (sin aire acondicionado en áreas comunes)	34
	4	152
	5	304
Oficinas Gubernamentales	-	230

Este estamento también clasifica a los edificios dependiendo del percentil que se ubica:

Tabla 17: Clasificación según EMSD.

Percentil	Interpretación
10	Más eficiente
20	
30	
40	
50	Eficiente (Moda)
60	Menos eficiente
70	
80	
90	



Se evaluaron los edificios y los resultados son los siguientes:

Tabla 18: Clasificación de edificios según EMSD.

Denominación	Subgrupo	Benchmark kWh/m ² /año	Percentil	Clasificación
LASC (22-7) 2001	1	159	entre 20 - 30	Más eficiente
LASC (16-6) 2002	1	202	entre 40 - 50	Más eficiente
SANT (17-1) 1998	5	196	menor del 10	Más eficiente
PROV (12-0) 1996	3b	168	mayor del 90°	Menos eficiente
LASC (10-2) 1982	3b	130	mayor del 90°	Menos eficiente
LASC (14-6) 2004	1	190	entre 40 - 50	Más eficiente

Criterio BRESCU, Reino Unido

Tabla 19: Clasificación de oficinas de acuerdo al consumo anual según BRESCU.

Tipo de Oficina	1		2		3		4	
Energía [kWh/m ²]	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico
Gas o Petróleo	79	151	79	151	97	178	114	210
Electricidad	33	54	54	85	128	226	234	358

Tabla 20: Clasificación de oficinas de acuerdo al costo anual según BRESCU.

Tipo de Oficina	1		2		3		4	
Energía [£/m ²]	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico	Buenas Prácticas	Típico
Gas o Petróleo	0,95	1,81	0,87	1,66	0,97	1,78	1,03	1,89
Electricidad	2,48	4,05	3,51	5,53	7,04	12,43	11,70	17,90
Total Energía	3,43	5,86	4,38	7,19	8,01	14,21	12,73	19,79

De acuerdo a estos parámetros, la clasificación es la siguiente:

Tabla 21: Clasificación de edificios de acuerdo a energía según BRESCU.

Denominación	kWh/m ² /año	Categoría	Clasificación
LASC (22-7) 2001	165,36	3	Entre buenas prácticas y típico
LASC (16-6) 2002	209,46	3	Entre buenas prácticas y típico
SANT (17-1) 1998	203,07	4	Bajo buenas practicas
PROV (12-0) 1996	174,65	3	Entre buenas prácticas y típico
LASC (10-2) 1982	134,83	3	Entre buenas prácticas y típico
LASC (14-6) 2004	197,25	3	Entre buenas prácticas y típico

Para la evaluación de los costos, se considera un valor de la libra equivalente a \$990 pesos chilenos.

Tabla 22: Clasificación de edificios de acuerdo a costos según BRESCU.

Denominación	\$/m ² /año	Categoría	£/m ²	Clasificación
LASC (22-7) 2001	\$ 6.446	3	6,51	Bajo buenas practicas
LASC (16-6) 2002	\$ 8.081	3	8,16	Entre buenas prácticas y típico
SANT (17-1) 1998	\$ 7.748	4	7,83	Bajo buenas practicas
PROV (12-0) 1996	\$ 7.166	3	7,24	Bajo buenas practicas
LASC (10-2) 1982	\$ 5.522	3	5,58	Bajo buenas practicas
LASC (14-6) 2004	\$ 9.653	3	9,75	Entre buenas prácticas y típico

Criterio Exergy, Australia

Tabla 23: Valores de eficiencia energética según Exergy.

¡Un milagro!	Menos de 100 kWh/m²
Razones para alegrarse	100-200 kWh/m²
La infeliz media	200-300 kWh/m²
Requiere tratamiento intensivo	300-400 kWh/m²
Es un dinosaurio	400 kWh/m² y más

Con este valores se clasifican los edificios como sigue:

Tabla 24: Clasificación de edificios según Exergy.

Denominación	kWh/m ² /año	Clasificación
LASC (22-7) 2001	165,36	Razones para alegrarse
LASC (16-6) 2002	209,46	la infeliz media
SANT (17-1) 1998	203,07	la infeliz media
PROV (12-0) 1996	174,65	Razones para alegrarse
LASC (10-2) 1982	134,83	Razones para alegrarse
LASC (14-6) 2004	197,25	Razones para alegrarse

Criterio Energy Star, Estados Unidos:

Al inscribirse en la página <http://www.energystar.gov>, se puede acceder al Portfolio Manager. Luego de ingresar los datos y colocar valores por defecto de cantidad de trabajadores y numero de computadores (para algunos casos), se obtiene la siguiente clasificación:

Tabla 25: Ranking de edificios según Energy Star.

Denominación	Ranking
LASC (22-7) 2001	83
LASC (16-6) 2002	86
SANT (17-1) 1998	72
PROV (12-0) 1996	sin evaluación*
LASC (10-2) 1982	sin evaluación*
LASC (14-6) 2004	46

* La superficie de oficinas debe ser mayor a 5.000 m²

Recordando la interpretación del ranking:

1-49: Grandes oportunidades de mejoría. Inversiones en nuevos equipos, junto con agresivas operaciones de bajo costo y prácticas de mantenimiento podrían tener un excelente impacto en los resultados esperados en la línea base.

50-74: Oportunidad de obtener importantes ahorros. Operaciones simples, de bajo costo y prácticas de mantención, junto con las actualizaciones de los equipos, podrían producir un ahorro significativo.

75-100: Oportunidad para obtener reconocimiento y demostrar las mejores practicas. Seguir mejorando y mantener un rendimiento superior concentrándose en las operaciones y el mantenimiento.

Resumiendo los distintos criterios de tiene:

Tabla 26: Resumen clasificación de edificios para el consumo de energía según el criterio ocupado.

Denominación	Criterio			
	EMSD	BRESCU	Exergy	Energy Star
	Percentil	Clasificación	Clasificación	Ranking
LASC (22-7) 2001	entre 20 - 30	Entre buenas prácticas y típico	Razones para alegrarse	83
LASC (16-6) 2002	entre 40 - 50	Entre buenas prácticas y típico	la infeliz media	86
SANT (17-1) 1998	menor del 10	Bajo buenas practicas	la infeliz media	72
PROV (12-0) 1996	mayor del 90	Entre buenas prácticas y típico	Razones para alegrarse	sin evaluación
LASC (10-2) 1982	mayor del 90	Entre buenas prácticas y típico	Razones para alegrarse	sin evaluación
LASC (14-6) 2004	entre 40 - 50	Entre buenas prácticas y típico	Razones para alegrarse	46

En la anterior tabla se aprecia los distintos benchmarks ocupados en los países estudiados (Hong Kong, Reino Unido, Australia y Estados Unidos) debido a las distintas clasificaciones dadas por los criterios para cada edificio. Por ejemplo para un edificio que está muy por sobre la media según el criterio ESMD, para BRESCU se encuentra entre el valor de buenas prácticas y valor típico. Posiblemente una de las razones de la no uniformidad en los criterios se debe al clima, pues en la gran mayoría existían normalizaciones de las variables debido a este factor.

Cabe mencionar que el único criterio que requería ingresar información adicional, como por ejemplo el número de trabajadores, cantidad de computadores y la ciudad más cercana (se eligió Buenos Aires), fue Energy Star. Lo que puede ayudar a decidir cual es el mejor criterio.

4.5.2.-Evaluación y clasificación de indicadores de agua.

Criterio CIRIA, Reino Unido:

Tabla 27: Indicadores para el consumo de agua según CIRIA.

			m ³ /año	litros/día
Mejores Prácticas	por empleado	[m ³ /empleado/año]	2,0	7,9
	por área	[m ³ /m ² /año]	0,4	1,6
Uso Típico	por empleado	[m ³ /empleado/año]	4,0	15,8
	por área	[m ³ /m ² /año]	0,6	2,4
Uso Excesivo	por empleado	[m ³ /empleado/año]	7,0	27,7
	por área	[m ³ /m ² /año]	0,8	3,2

Evaluando los indicadores se tiene lo siguiente:

Tabla 28: Clasificación de edificios según CIRIA.

Denominación	m ³ /m ²	Clasificación
LASC (22-7) 2001	1,48	Uso excesivo
LASC (16-6) 2002	1,15	Uso excesivo
PROV (13-2) 1990	2,89	Uso excesivo
LASC (15-6) 1996	0,96	Uso excesivo
PROV (12-0) 1996	1,68	Uso excesivo
LASC (10-2) 1982	1,67	Uso excesivo
LASC (14-6) 2004	1,04	Uso excesivo

Criterio Exergy, Australia:

Tabla 29: Clasificación del consumo de agua normalizado según Exergy.

Clasificación	Consumo de agua normalizado (kl/m ²)	% de la muestra en este nivel o mejor
1/5	1.50	80%
2/5	1.25	63%
2.5/5	1.125	50%
3/5	1.0	36%
4/5	0.75	17%
5/5	0.5	5%

Este criterio normaliza los consumos a través de los grados días de enfriamiento. Lamentablemente ese valor no se encuentra en ningún tipo de bibliografía, no obstante sabiendo que los grados días de calefacción en Santiago varían entre 750 a 1000²⁵, no es mala aproximación el valor de 1000 grados días de refrigeración.

Con esto se obtiene la siguiente clasificación:

Tabla 30: Clasificación de edificios según Exergy.

Denominación	Consumo normalizado m ³ /m ²	Clasificación
LASC (22-7) 2001	1,000	3
LASC (16-6) 2002	0,675	Entre 4 y 5
PROV (13-2) 1990	2,414	Sobre 1
LASC (15-6) 1996	0,479	Bajo 5

²⁵ MINVU. Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica [en línea] <http://www.minvu.cl/opensite_20070314093355.aspx> [consulta: 3 de Septiembre 2008]

PROV (12-0) 1996	1,200	Entre 1 y 2
LASC (10-2) 1982	1,193	Entre 1 y 2
LASC (14-6) 2004	0,568	Entre 4 y 5

Resumiendo los distintos criterios se tiene:

Tabla 31: Resumen clasificación de edificios para consumo de agua según criterio ocupado.

Denominación	Criterio	
	CIRIA	Exergy
	Clasificación	Clasificación
LASC (22-7) 2001	Uso excesivo	3
LASC (16-6) 2002	Uso excesivo	Entre 4 y 5
PROV (13-2) 1990	Uso excesivo	Sobre 1
LASC (15-6) 1996	Uso excesivo	Bajo 5
PROV (12-0) 1996	Uso excesivo	Entre 1 y 2
LASC (10-2) 1982	Uso excesivo	Entre 1 y 2
LASC (14-6) 2004	Uso excesivo	Entre 4 y 5

Nuevamente se aprecia la diversidad de criterios, pues según CIRIA todos los establecimientos tiene un uso excesivo de consumo, en cambio para Exergy solo dos tienen un consumo por sobre la media (aquellos clasificados entre 4 y 5).

4.6.- Construcción de parámetros de eficiencia energética.

Una vez obtenido los indicadores, se calcula los percentiles de la muestra para cada parámetro. Con estos percentiles se construye la curva de porcentaje acumulado.

Finalmente los percentiles del 25%, 50% y 75% son los límites para buenas prácticas, valor típico y uso excesivo, respectivamente.

4.6.1.-Parámetros consumo de energía.

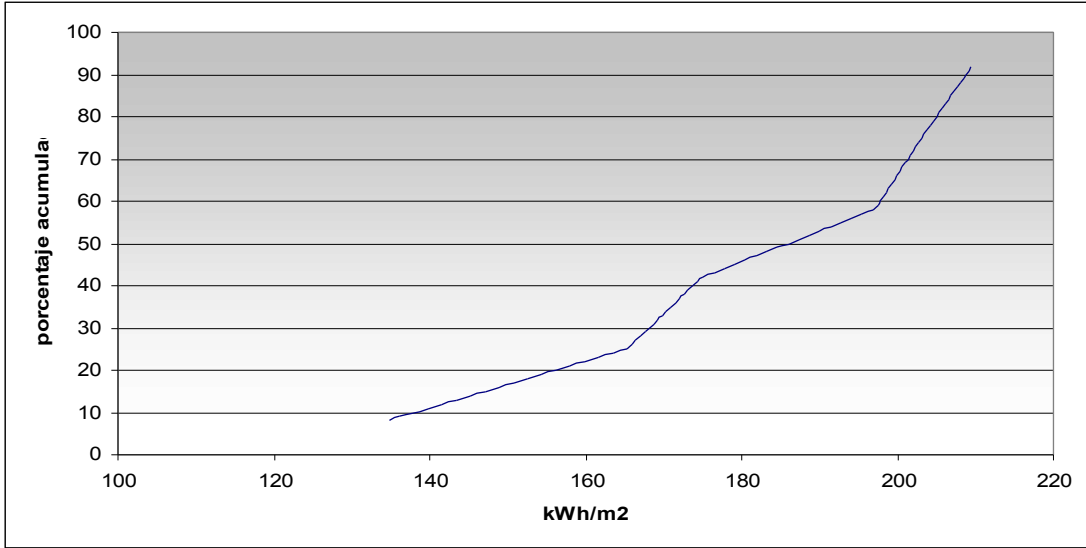


Gráfico 48: Curva para el consumo anual total de energía.

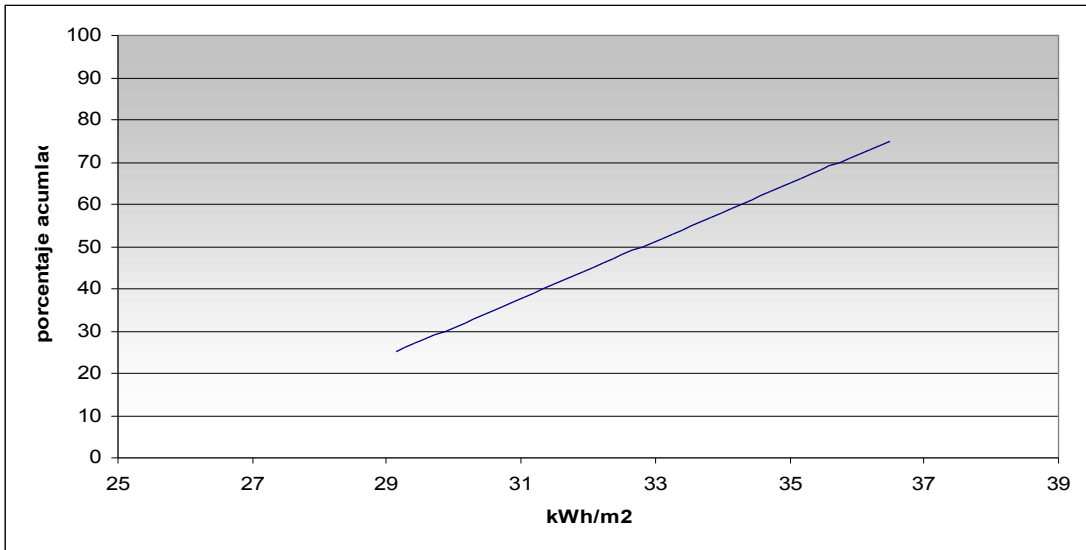


Gráfico 49: Curva para el consumo total anual de refrigeración.

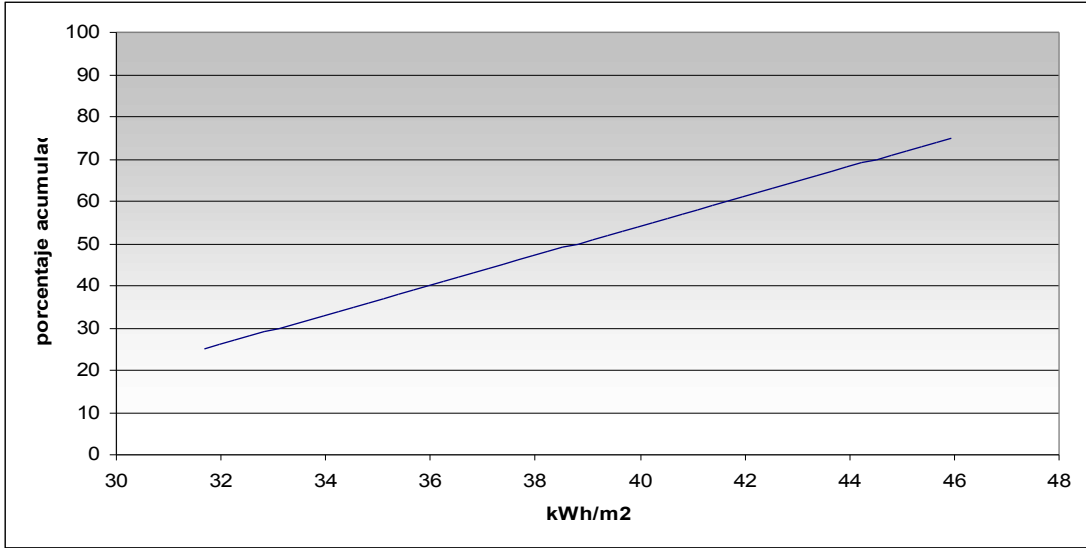


Gráfico 50: Curva para el consumo total anual de calefacción.

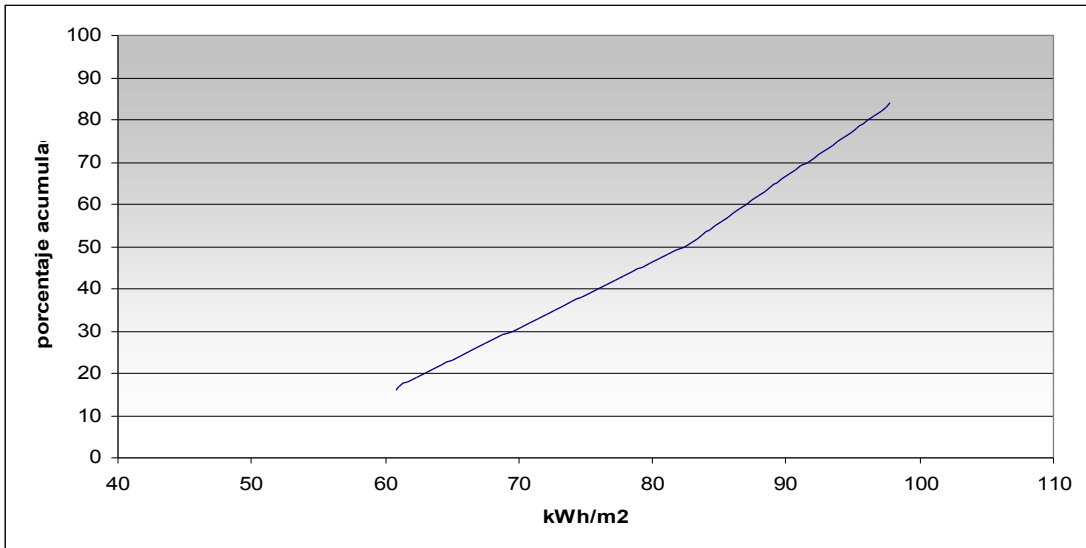


Gráfico 51: Curva para el consumo total anual de climatización.

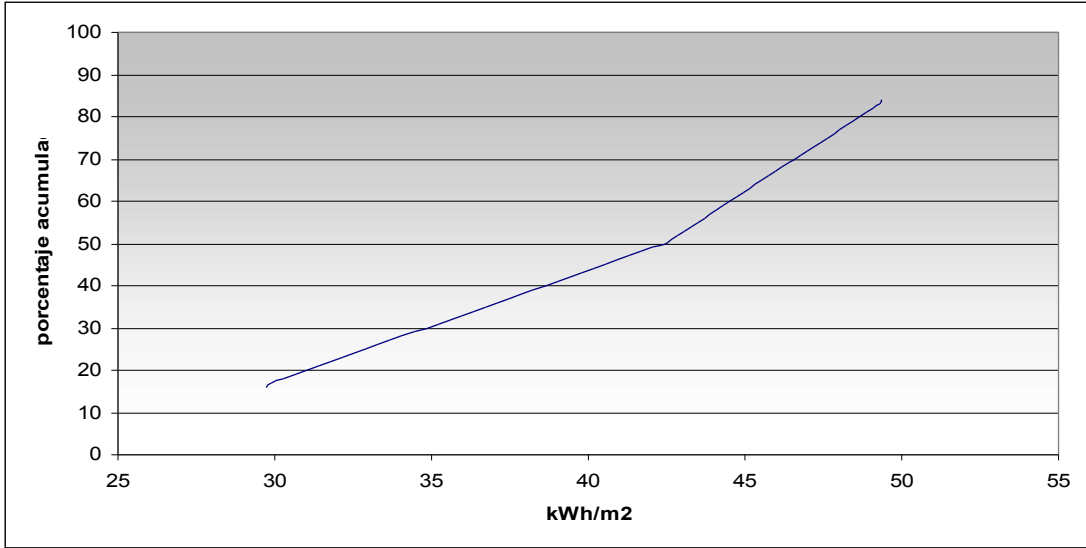


Gráfico 52: Curva para el consumo total anual de iluminación.

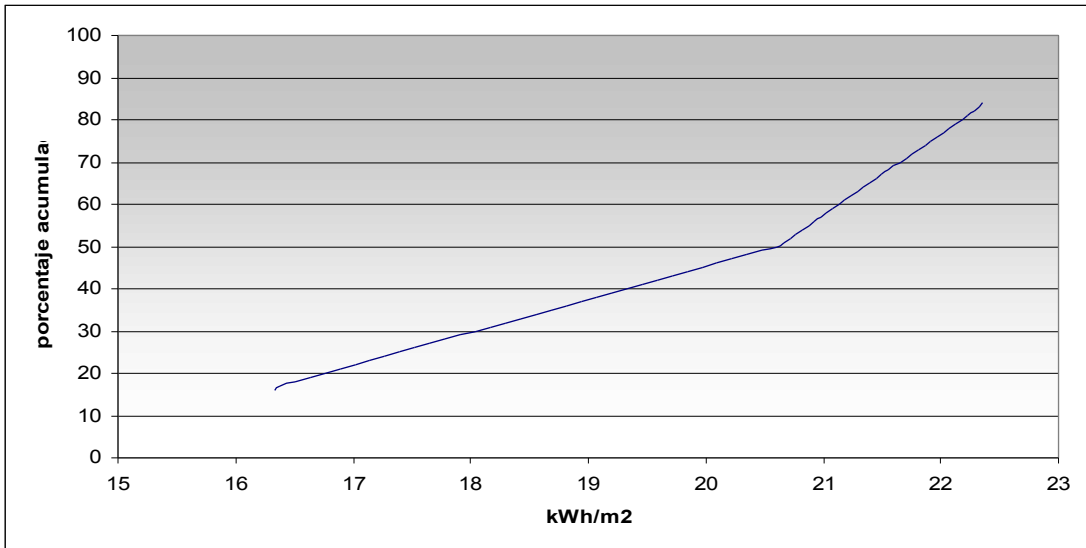


Gráfico 53: Curva para el consumo total anual de computación.

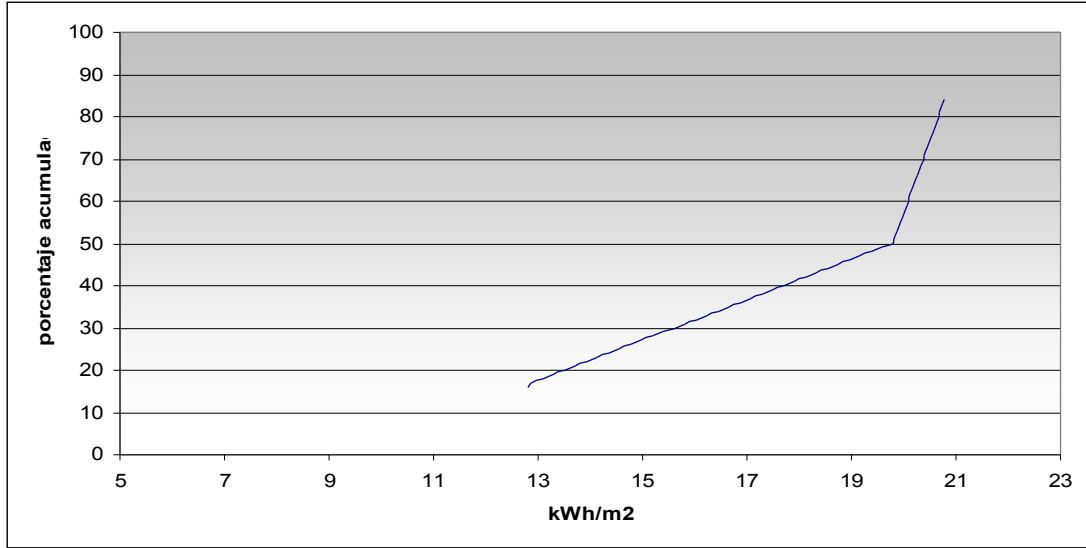


Gráfico 54: Curva para el consumo total anual para otros.

En los gráficos para los consumos desagregados (climatización, iluminación, computación y otros) se aprecian rectas que unen los puntos, esto se debe a la poca cantidad de datos (máximo 3 datos).

Tabla 32: Parámetros de eficiencia energética para el consumo anual de energía.

Consumo	Unidad	Percentil		
		25	50	75
Energía total	kWh/m ²	165,36	185,95	203,07
Refrigeración	kWh/m ²	29,13	32,81	36,48
Calefacción	kWh/m ²	31,69	38,81	45,93
Climatización	kWh/m ²	66,22	82,41	93,89
Iluminación	kWh/m ²	32,92	42,44	47,62
Computación	kWh/m ²	17,40	20,61	21,92
Otros	kWh/m ²	14,56	19,79	20,52

4.6.2.-Parámetros consumo de agua.

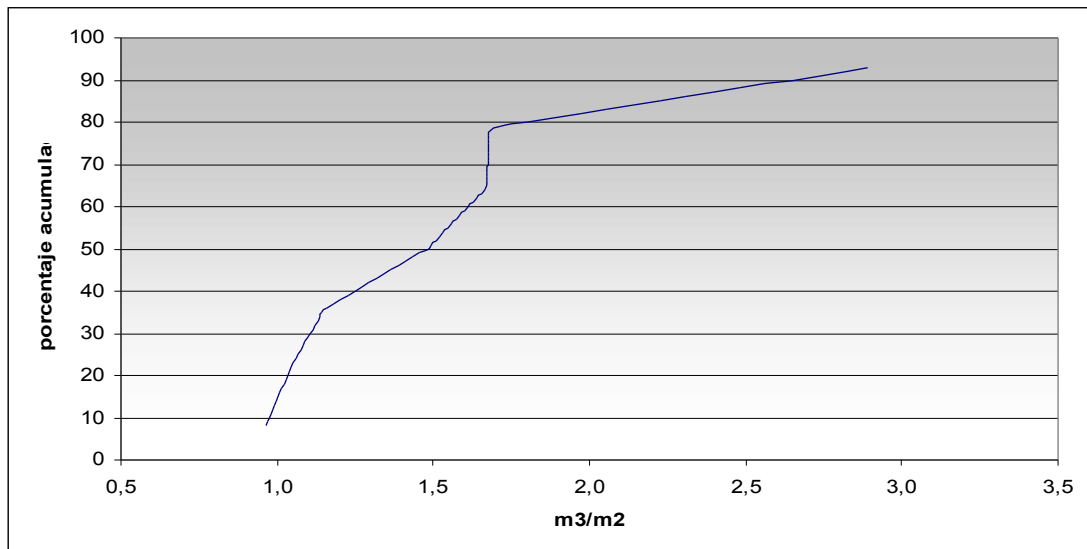


Gráfico 55: Curva para el consumo total anual para agua.

Tabla 33: Parámetros de eficiencia energética para el consumo anual de agua.

Consumo	Unidad	Percentil		
		25	50	75
Agua total	m ³ /m ²	1,07	1,48	1,68

4.7.- Modelación empírica de consumos.

Se modelarán los consumos mensuales de climatización debido a que la cantidad de observaciones para realizar el método de mínimos cuadrados es suficiente, estos datos corresponden a la configuración de unidades enfriadoras de agua y fancoils. Para los otros consumos (iluminación, computación y otros) solo se cuentan con 3 observaciones correspondientes a los consumos anuales; con esta cantidad de observaciones sólo se puede incluir una variable en el método. No obstante la metodología es la misma, sólo se deben definir las variables que influyen en esa parte del consumo.

Tanto para la refrigeración como calefacción, las variables son la temperatura media mensual y la superficie neta del establecimiento, denominadas x_1 y x_2 respectivamente. Si llamamos y al consumo, los modelos tentativos son:

- Modelo lineal:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 \quad (3)$$

- Modelo polinomial (grado 2):

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_1^2 + \beta_4 \cdot x_2^2 + \beta_5 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (4)$$

- Modelo potencial:

$$y = \beta_0 \cdot x_1^{\beta_1} \cdot x_2^{\beta_2} \Leftrightarrow \text{LOG}(y) = \text{LOG}(\beta_0) + \beta_1 \cdot \text{LOG}(x_1) + \beta_2 \cdot \text{LOG}(x_2) \quad (5)$$

- Modelo logarítmico:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{LOG}(x_1) + \beta_2 \cdot \text{LOG}(x_2) \quad (6)$$

- Modelo exponencial:

$$y = \beta_0 \cdot e^{(\beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2)} \Leftrightarrow \text{LOG}(y) = \text{LOG}(\beta_0) + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 \quad (7)$$

Para cumplir los requisitos de linealidad de los parámetros β que exige el método, los modelos potencial y exponencial deben ingresarse de la forma que aparece a la derecha del signo de equivalencia.

4.7.1.- Modelo de refrigeración.

Luego de ingresar los datos respectivos y estimar los parámetros, se tiene el siguiente resumen con los valores de R^2 y el resultado de los respectivos test para verificar el cumplimiento de las hipótesis del método (ver anexo 3) para el consumo de refrigeración:

Tabla 34: Resumen de regresiones para el consumo mensual de refrigeración.

Modelos		Lineal	Polinomial	Potencial	Logarítmico	Exponencial
R ²		0,881	0,966	0,969	0,864	0,980
Normalidad	Valor	0,512	0,678	0,570	0,424	0,392
	¿Cumple?	SI	SI	SI	SI	SI
Durbin-Watson	Valor	0,638	1,532	1,520	0,674	1,921
	¿Cumple?	NO	no concluyente	no concluyente	NO	SI
Breusch-Godfrey	Valor	0,002	0,208	0,262	0,003	0,853
	¿Cumple?	NO	SI	SI	NO	SI
White	Valor	0,152	0,143	0,324	0,266	0,482
	¿Cumple?	SI	SI	SI	SI	SI

Como se ve en el modelo polinomial, el test de Durbin-Watson no concluye si existe autocorrelación, en ese caso se consulta el test de Breusch-Godfrey. Los modelos lineal y logarítmico no cumplen con la hipótesis de la no existencia de autocorrelación, por lo tanto se deben corregir y volver a calcular la regresión (ver anexo 4). De esto se obtiene lo siguiente:

Tabla 35: Resumen de regresiones para el consumo mensual de refrigeración luego de la corrección debido a la autocorrelación.

Modelos		Lineal	Polinomial	Potencial	Logarítmico	Exponencial
R ²		0,762	-	-	0,734	-
Normalidad	Valor	0,998	-	-	0,962	-
	¿Cumple?	SI	-	-	SI	-
Durbin-Watson	Valor	1,339	-	-	1,383	-
	¿Cumple?	no concluyente	-	-	no concluyente	-
Breusch-Godfrey	Valor	0,304	-	-	0,348	-
	¿Cumple?	SI	-	-	SI	-
White	Valor	0,276	-	-	0,258	-
	¿Cumple?	SI	-	-	SI	-

Luego de esto, todos los modelos cumplen con las hipótesis del método de mínimos cuadrados. El modelo más representativo es aquel con un R² cercano a 1, por lo tanto el modelo exponencial es el mejor.

$$\beta_0 = 4.718,136$$

Los coeficientes para este modelo son los siguientes: $\beta_1 = 0,086$

$$\beta_2 = 4,620 \cdot 10^{-5}$$

Finalmente, la forma representativa del modelo:

$$y = 4.718,136 \cdot e^{(0,086 \cdot x_1 + 4,620 \cdot 10^{-5} \cdot x_2)} \quad (8)$$

Donde y: consumo mensual en kWh.

x_1 : temperatura media mensual en °C.

x_2 : área neta del establecimiento en m².

4.7.2.- Modelo de calefacción.

El procedimiento es el mismo que el anterior, por lo tanto sólo se presentan los resultados.

Tabla 36: Resumen de regresiones para el consumo mensual de calefacción.

Modelos		Lineal	Polinomial	Potencial	Logarítmico	Exponencial
R ²		0,707	0,697	0,774	0,692	0,766
Normalidad	Valor	0,426	0,612	0,469	0,665	0,507
	¿Cumple?	SI	SI	SI	SI	SI
Durbin-Watson	Valor	1,960	1,951	1,756	1,794	1,708
	¿Cumple?	SI	SI	SI	SI	SI
Breusch-Godfrey	Valor	0,743	0,810	0,700	0,840	0,628
	¿Cumple?	SI	SI	SI	SI	SI
White	Valor	0,064	0,060	0,820	0,061	0,806
	¿Cumple?	SI	SI	SI	SI	SI

Todos los modelos cumplen con las hipótesis del método. El más representativo es el potencial (R² = 0,766). Cabe que el R² es más pequeño que el caso de refrigeración debido a que se estimó el consumo de calefacción en base a una estimación anterior, por lo tanto el error involucrado en la primera estimación se incrementa con la segunda.

$$\beta_0 = 589,561$$

Los coeficientes para este modelo son los siguientes: $\beta_1 = -1,481$

$$\beta_2 = 0,840$$

Finalmente, la forma representativa del modelo:

$$y = 589,561 \cdot x_1^{-1,481} \cdot x_2^{0,840} \quad (9)$$

Donde y: consumo mensual en kWh.

x_1 : temperatura media mensual en °C.

x_2 : área neta del establecimiento m^2 .

4.7.3.-Comparación entre consumos reales y estimados.

Refrigeración:

En los siguientes gráficos se comparan los consumos reales con los obtenidos por el modelo de refrigeración:

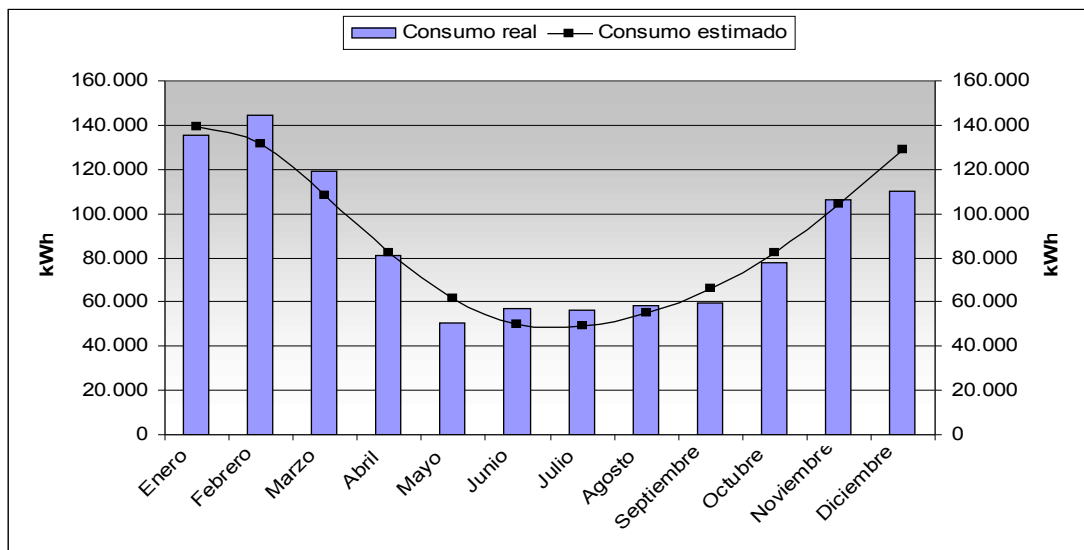


Gráfico 56: Consumos reales v/s estimados de refrigeración de LASC (22-7) 2001.

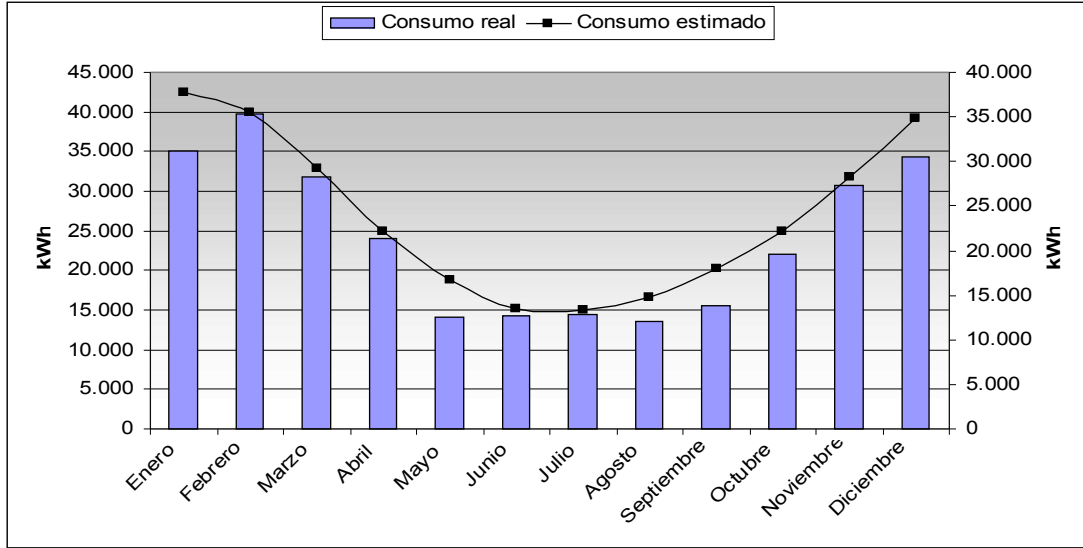


Gráfico 57: Consumos reales v/s estimados de refrigeración de LASC (16-6) 2002.

Las diferencias en términos porcentuales de cada establecimiento con respecto al consumo real son las siguientes:

Tabla 37: Diferencias porcentuales entre consumo real y estimado de refrigeración.

Mes	LASC (22-7) 2001	LASC (16-6) 2002
	Diferencia	Diferencia
Enero	2,87%	7,48%
Febrero	-8,92%	-10,45%
Marzo	-9,34%	-8,18%
Abril	1,66%	-7,47%
Mayo	21,60%	18,81%
Junio	-12,53%	-5,61%
Julio	-12,97%	-8,06%
Agosto	-5,53%	9,69%
Septiembre	11,37%	15,22%
Octubre	5,64%	0,98%
Noviembre	-2,04%	-8,40%
Diciembre	17,28%	1,92%
ANUAL	0,24%	-1,13%

Las diferencias positivas hablan de una sobreestimación del consumo, en cambio las negativas de una subestimación del consumo. Con el transcurso del año, se observan distintas diferencias, ya sean positivas o negativas, varían hasta un 22%. Sin embargo estas diferencias se compensan para que la diferencia anual sea pequeña.

Finalmente, con los consumos estimados para cada establecimiento se calcula su porcentaje de participación con respecto al consumo total para finalmente obtener su participación promedio:

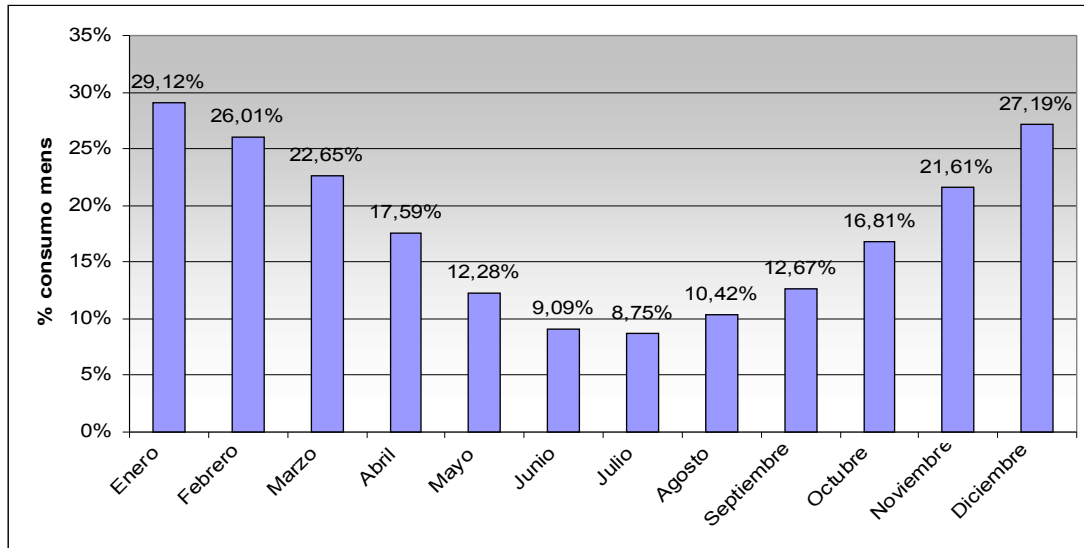


Gráfico 58: Participación promedio mensual del consumo de refrigeración estimado.

Calefacción:

En los siguientes gráficos se comparan los consumos reales con los obtenidos por el modelo de refrigeración:

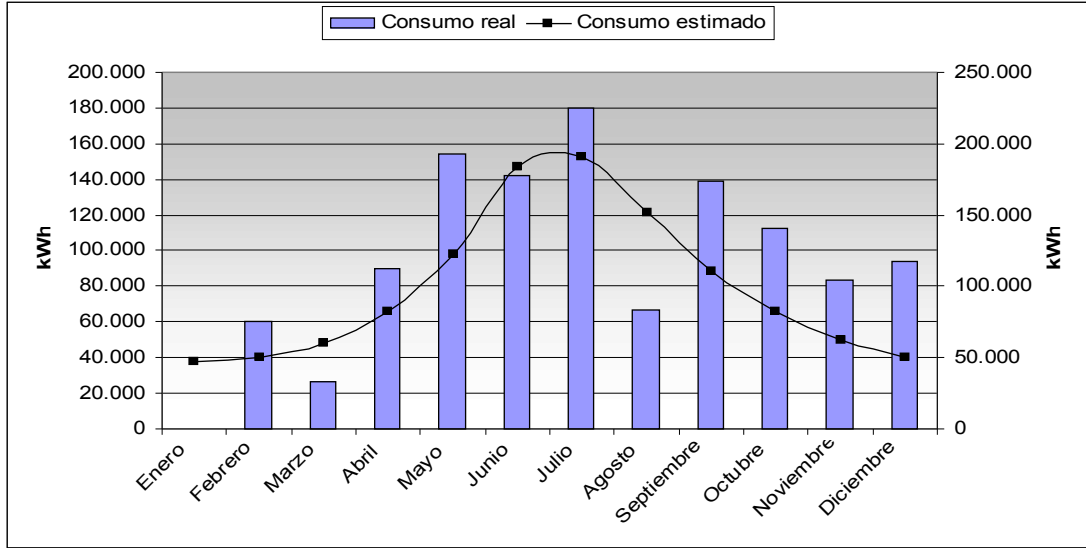


Gráfico 59: Consumos reales v/s estimados de calefacción de LASC (22-7) 2001.

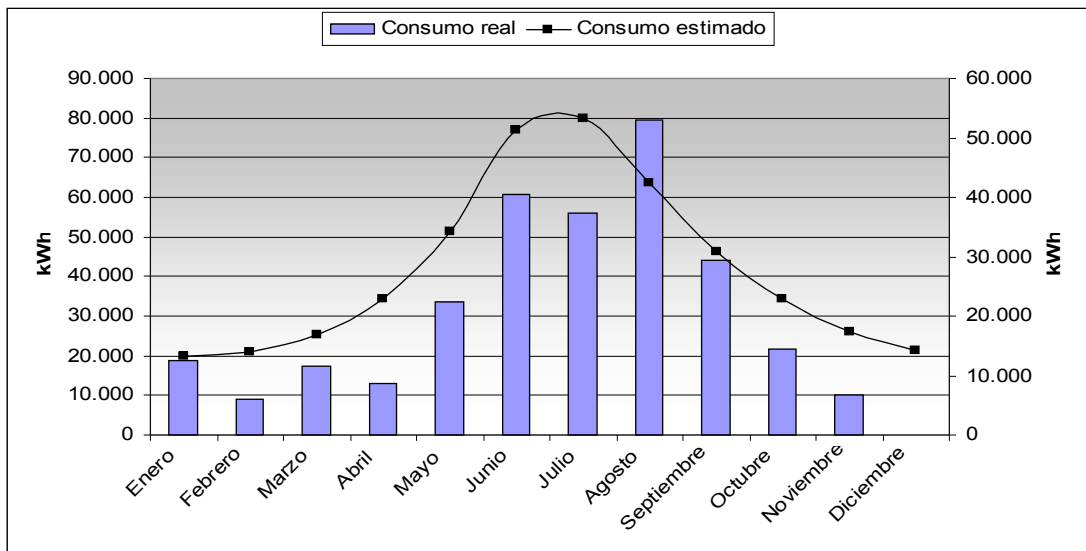


Gráfico 60: Consumos reales v/s estimados de calefacción LASC (16-6) 2002.

Las diferencias en términos porcentuales de cada establecimiento con respecto al consumo real son las siguientes:

Tabla 38: Diferencias porcentuales entre consumo real y estimado de calefacción.

Mes	LASC (22-7) 2001	LASC (16-6) 2002
	Diferencia	Diferencia
Enero	-	-30,27%
Febrero	-16,91%	52,68%
Marzo	126,94%	-3,45%
Abril	-9,15%	74,32%
Mayo	-20,42%	1,79%
Junio	28,99%	-15,57%
Julio	6,33%	-4,85%
Agosto	128,14%	-46,72%
Septiembre	-20,73%	-30,43%
Octubre	-26,83%	5,91%
Noviembre	-25,11%	73,89%
Diciembre	-46,03%	-
ANUAL	4,01%	-8,55%

La explicación de las diferencias mensuales es igual al caso de refrigeración. Anualmente se obtiene una diferencia mayor que el caso anterior explicado por el R^2 del modelo.

Finalmente, con los consumos estimados para cada establecimiento se calcula su porcentaje de participación con respecto al consumo total para finalmente obtener su participación promedio:

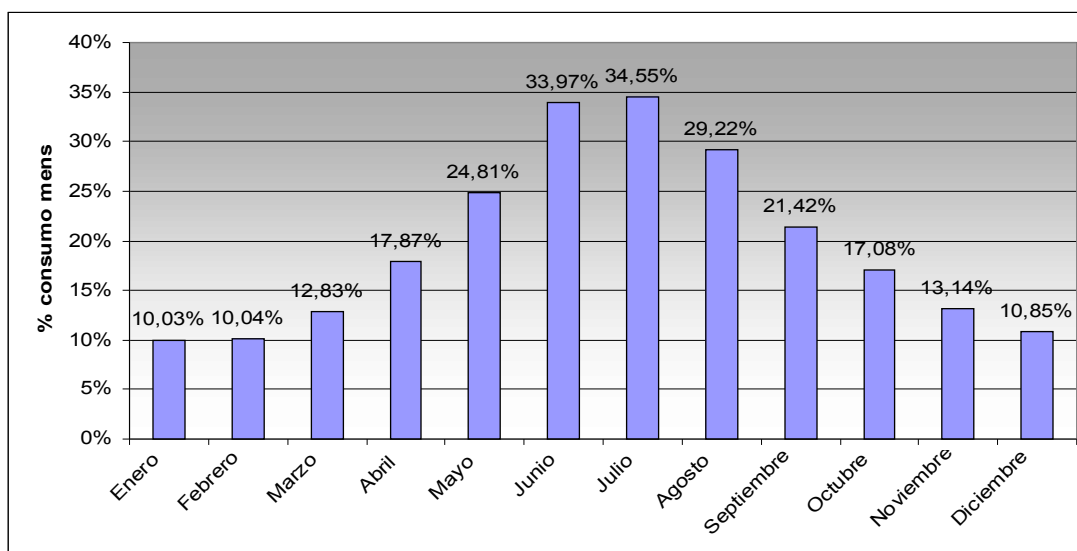


Gráfico 61: Participación promedio mensual del consumo de calefacción estimado.

4.8.- Consumos y caracterización edificios faltantes.

Para los edificios que no se cuenta con el consumo total de electricidad, y por ende su caracterización, se puede calcular de dos formas; una de ellas es con la modelación realizada para la climatización y los indicadores promedios encontrados, con ello se obtiene el consumo caracterizado y luego el consumo total. La otra forma es con la relación entre el consumo de energía y el consumo de agua sanitaria.

4.8.1.- Caracterización del consumo.

Como se dijo anteriormente, los consumo de refrigeración y calefacción se calculan con el modelo realizado para la configuración de unidades enfriadoras y fancoils (todos a excepción PROV (12-0) 1996 y LASC (10-2) 1982). Los indicadores ocupados son 40,51 kWh/m² para iluminación, 19,76 kWh/m² para computación y 17,79 kWh/m² otros. Ocupando las superficies respectivas, los resultados son los siguientes:

Tabla 39: caracterización para los edificios restantes.

Denominación	Refrigeración	Calefacción	Climatización	Iluminación	Computación	Otros	Total
PROV (13-2) 1990	261.832	263.823	525.655	324.114	103.837	142.314	1.095.920
LASC (15-6) 1996	331.047	441.427	772.474	849.525	193.187	373.016	2.188.201
PROV (12-0) 1996			345.168	143.100	57.956	62.834	609.058
LASC (10-2) 1982			333.437	220.909	69.347	96.998	720.690
LASC (14-6) 2004	383.835	546.370	930.206	996.233	238.818	437.433	2.602.690
Promedio	464.311	552.868	888.017	750.749	195.424	372.572	2.206.762

Para PROV (12-0) 1996 se ocupó el indicador encontrado en el edificio SANT (17-1) 1998 que tiene bombas de calor en cada piso, es decir tienen características similares; el indicador de climatización es 97,71 kWh/m². En el caso de LASC (10-2) 1982, al ser un edificio antiguo no tiene las mismas características que SANT (17-1) 1998, cada oficina cuenta con sus equipos splits y de ventanas, por esta razón ocupar el indicador mencionado antes sobreestimaría el consumo; se ocupa el indicador promedio de climatización de 80,31 kWh/m², aún así se considera este valor elevado para este edificio.

Luego de la aclaración, la caracterización promedio del consumo anual de la muestra (edificios caracterizados en 4.2.1 más estos últimos edificios) queda de la siguiente forma:

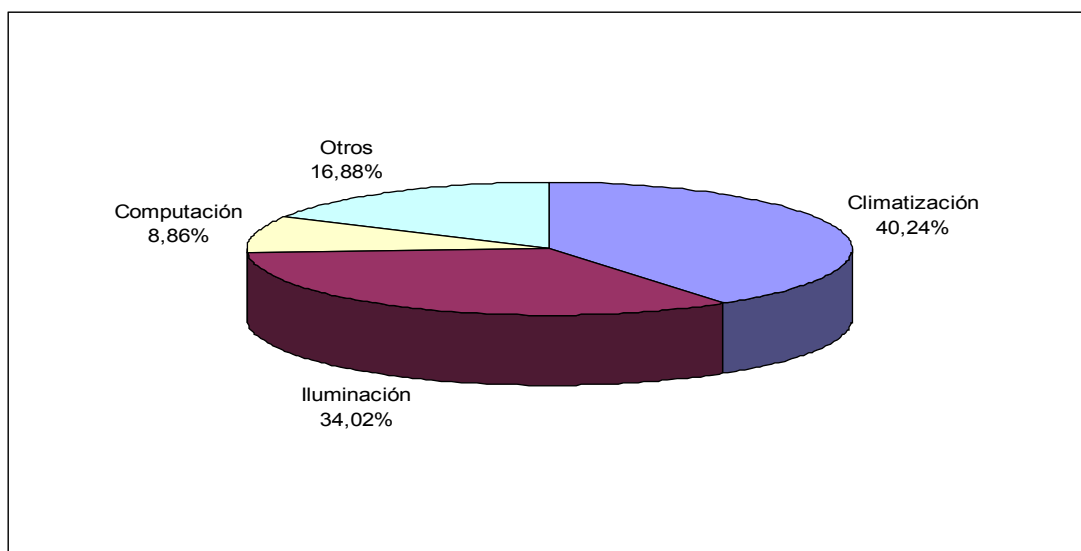


Gráfico 62: Caracterización promedio del consumo anual de energía del total de la muestra.

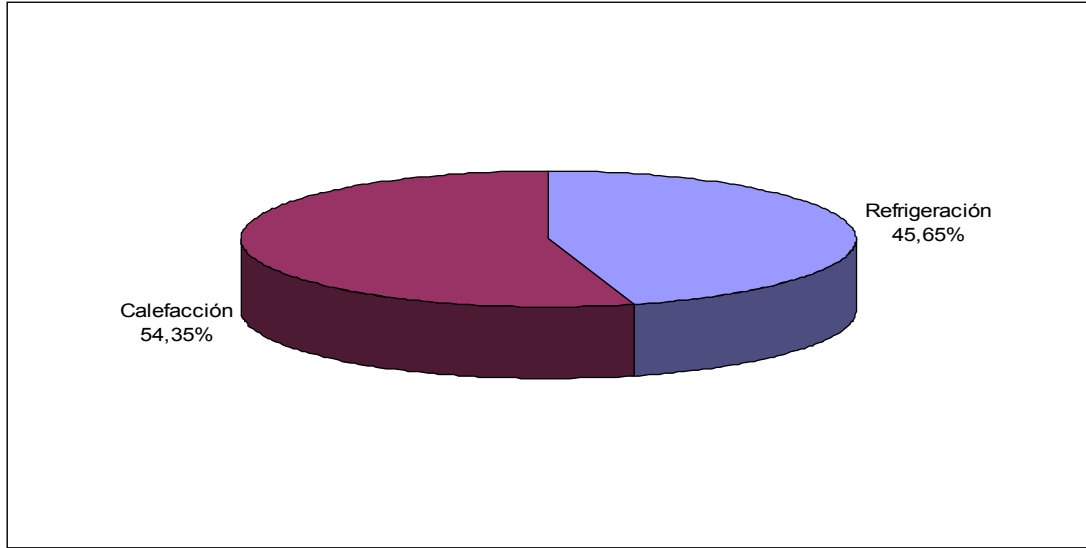


Gráfico 63: División promedio de la climatización anual para el total de la muestra.

Graficando el consumo total con la superficie neta aún se conserva la relación lineal entre las variables.

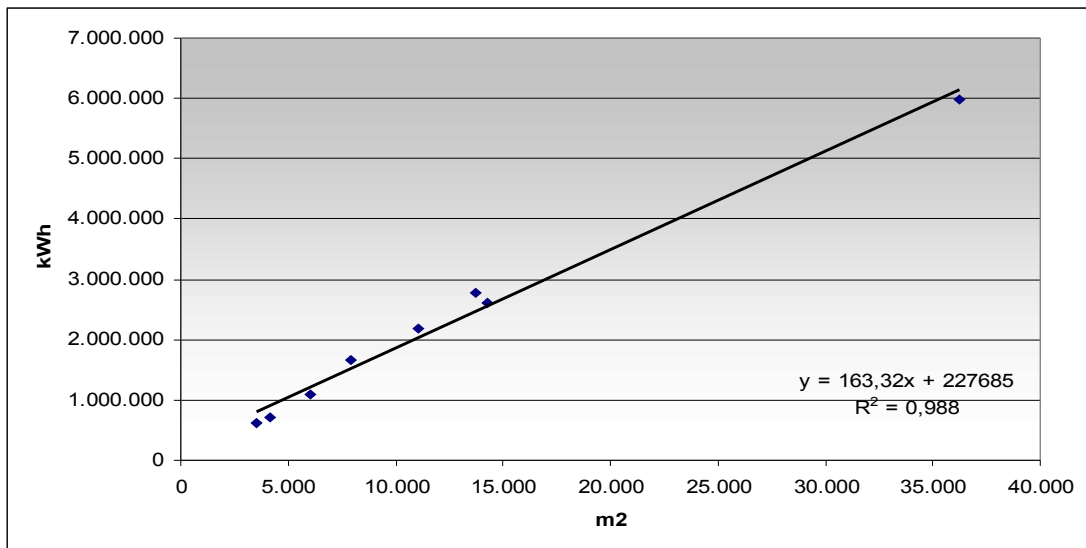


Gráfico 64: Regresión entre el consumo anual del total de la muestra v/s superficie.

4.8.2.-Relación entre el consumo de energía y consumo de agua sanitaria.

En esta relación puede estar implícito el comportamiento de los ocupantes de un edificio, por ejemplo la falta de equipos de climatización en días de elevadas temperaturas llevaría a los ocupantes a tomar agua para calmar su sed o refrescarse, también si un usuario tiene un comportamiento irresponsable dejando corriendo la llave del agua perfectamente puede dejar prendida una luminaria sin estar en el lugar de trabajo.

La siguiente regresión muestra la forma en que se relacionan:

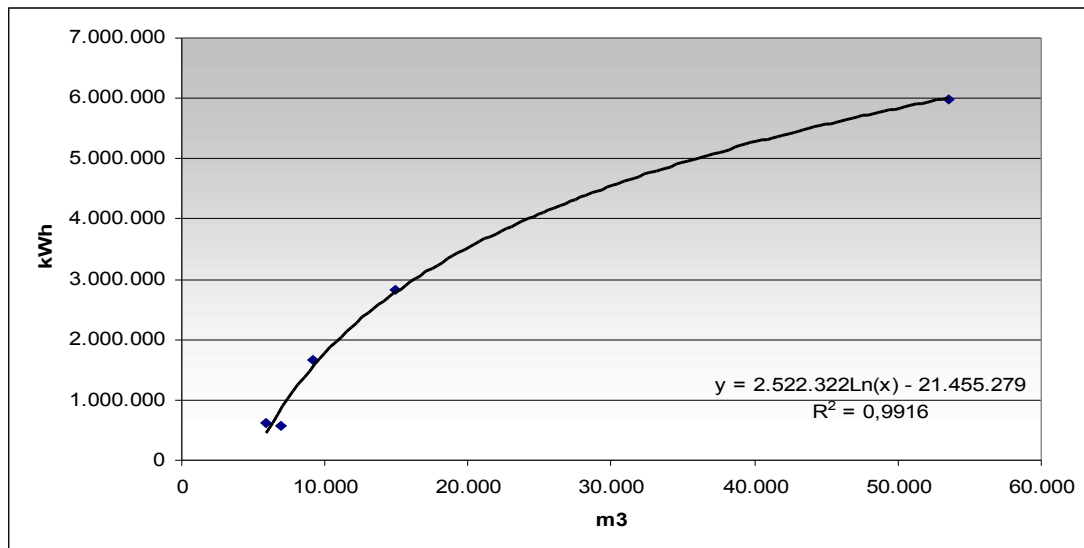


Gráfico 65: Regresión entre consumo anual de energía v/s consumo anual de agua sanitaria.

Tiene una excelente correlación ($R^2 = 0,9916$), la ecuación está escrita en el gráfico y con ella se puede calcular el consumo anual de energía de aquellos edificios que no se tiene esa información. Con la inversa de la función se puede calcular el consumo anual de agua sanitaria, la ecuación es la siguiente:

$$x = e^{-8,506+3,965 \cdot 10^{-7} y} \quad (10)$$

Donde x: consumo anual de agua sanitaria en m³.

Y: consumo anual de energía en kWh.

Con estas ecuaciones se tiene los consumos anuales de los edificios restantes:

Tabla 40: Consumos anuales estimados de energía y agua sanitaria.

Denominación	kWh	m ³
SANT (17-1) 1998	-	14.913
PROV (13-2) 1990	3.168.909	-
LASC (15-6) 1996	1.921.472	-

Con estos nuevos datos, aún se mantiene la relación de linealidad entre la superficie y los consumos anuales, tanto de energía como agua sanitaria.

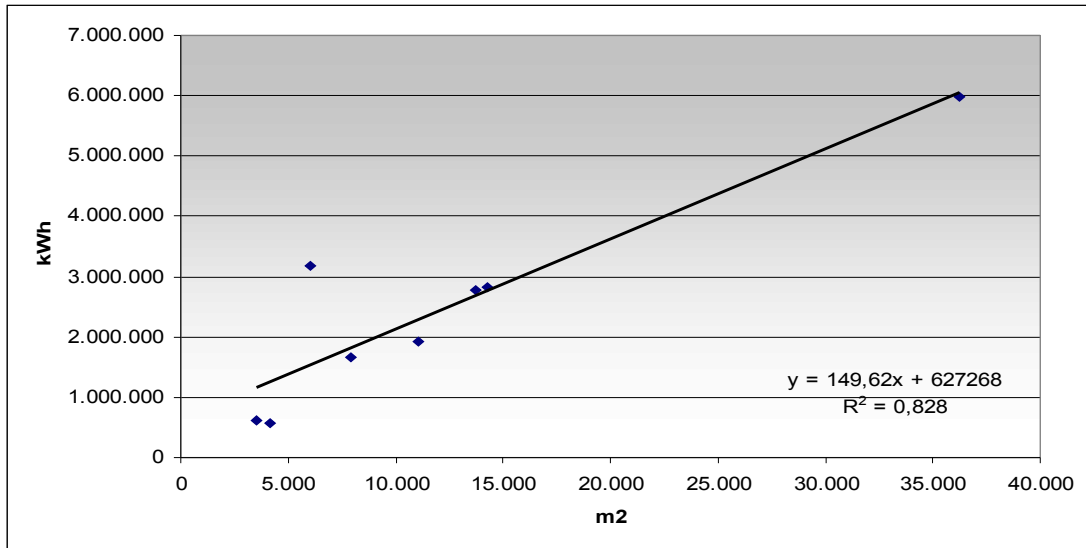


Gráfico 66: Consumo anual de energía v/s superficie para el total de la muestra.

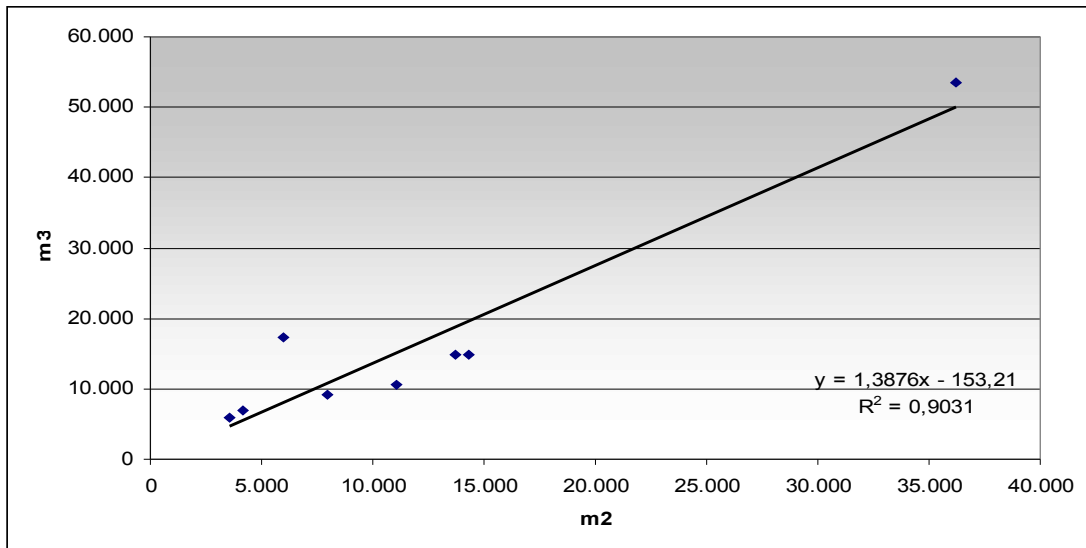


Gráfico 67: Consumo anual de agua sanitaria v/s superficie para el total de la muestra

Capítulo 5

RECOMENDACIONES Y APLICACIONES PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE OFICINA

Para una correcta gestión energética de las oficinas es necesario conocer los aspectos que determinan cuáles son los elementos más importantes a la hora de lograr la optimización energética, conocimiento que nos permita un mejor aprovechamiento de los nuestros recursos y un ahorro tanto en el consumo como en el dimensionamiento de las instalaciones.

A continuación se mostrarán medidas y aplicaciones para el mejoramiento del comportamiento energético de los edificios de oficina, las áreas de aplicación son el acondicionamiento térmico y las instalaciones principales, estas instalaciones son de iluminación, climatización, equipos de computación y agua sanitaria. Cabe destacar que estas medidas son aplicables en el diseño y en la operación del edificio.

5.1.- Acondicionamiento térmico.

Es fundamental que en todos los edificios exista acondicionamiento térmico adecuado a las zonas. Se ha estimado que la parte de energía demandada por un edificio destinada al acondicionamiento térmico de las dependencias oscila entre un 40% y un 70%, como se ve es un consumo de energía importante sobre el cual se deben optimizar los recursos para conseguir un nivel óptimo de bienestar.

Las características de acondicionamiento térmico están basadas en el confort de los usuarios. Se define el confort como la sensación agradable y equilibrada entre humedad, temperatura y calidad del aire.

- La Humedad Relativa debe estar comprendida entre los valores del 40% al 70%.
- La Calidad del Aire está condicionada por múltiples factores, siendo la más importante la adecuada renovación de aire que no debe ser inferior a 30 m³/h por persona.
- La Temperatura ideal es aquella en que nuestro cuerpo mejor desarrolla sus funciones y está comprendida entre los valores de 20 °C a 24 °C

5.1.1.-Ubicación y orientación.

En cuanto a la ubicación, se pueden clasificar en dos posibilidades, si el edificio se encuentra:

- Aislado. Todas sus fachadas son exteriores.
- Entre medianeros. Si tiene edificios colindantes calefaccionados o refrigerados.

La orientación es otra característica con peso para lograr el confort dentro del edificio. Queda claro que no se puede modificar, pero se habrá tenido en cuenta a la hora del diseño y construcción.

Las estancias ubicadas al sur suelen ser más frías que las de orientación norte y las orientación oeste más cálidas que las de orientación este.

5.1.2.-Envolvente del edificio.

La mayoría de los elementos que forman parte de la envolvente de un edificio tienen características difíciles de modificar, pero casi siempre se pueden encontrar soluciones para conseguir actuar sobre ellos y adaptar su comportamiento a las condiciones ambientales, tanto interiores como exteriores. Las deficiencias habituales y

comunes que podemos encontrar son: el mal estado del aislamiento, la formación de condensaciones o la existencia de puentes térmicos.

5.1.2.1.- Materiales aislantes.

Minimizan la transferencia de energía térmica de un cuerpo. Están caracterizados por un coeficiente de conductividad térmica (λ), valor que cuantifica la capacidad de conducir un flujo calórico, dependiente del espesor e independiente de la situación constructiva del mismo, sus unidades son “W/mK”.

A continuación una tabla con distintos materiales y su coeficiente de conductividad térmica:

Tabla 41: Materiales asilantes.

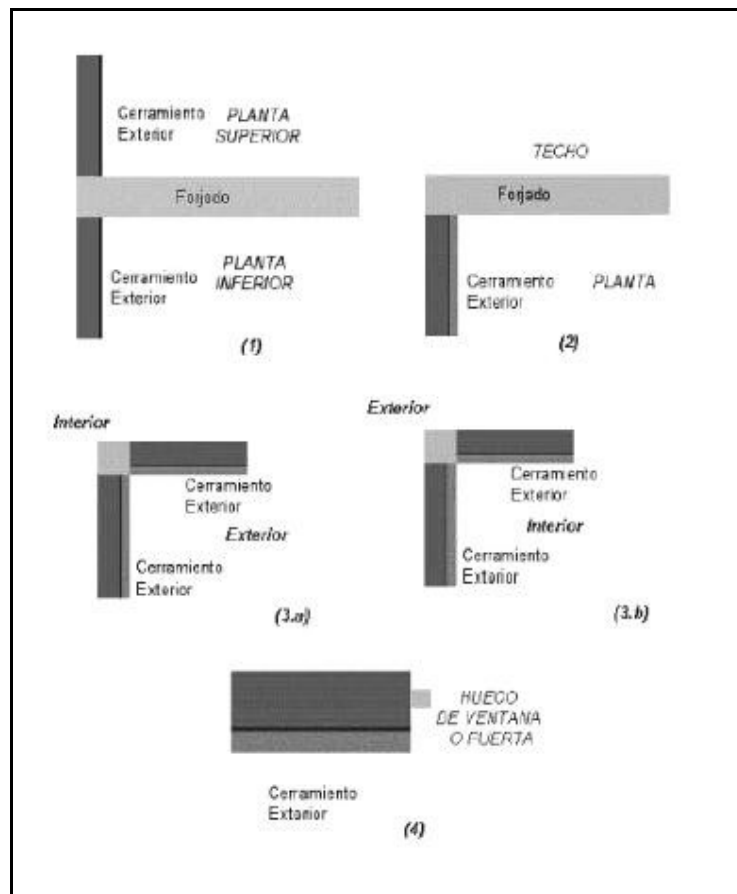
Material	λ [W/mK]	Material	λ [W/mK]
Algodón	0,040	Fibra Mineral de roca	0,040
Lino	0,040	Placa de poliestireno: espuma inyectada	0,035
Fibras de Madera Blanda	0,050	Placa de poliestirno: espuma extruida	0,040
Placas de madera blanda	0,090	Poliuretano	0,025
Fibra Mineral De vidrio	0,035	Espuma de vidrio.	0,050

Fuente: “Materiales Aislantes en la Edificación Arquitectónica”, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE, Argentina.

Es necesario definir el Coeficiente de Transmitancia Térmica (K), corresponde al valor físico del flujo calórico transmitido por un elemento constructivo, considerando su espesor total y de sus componentes, los valores “ λ ” de cada componente, su situación constructiva y su ubicación en la edificación. Su unidad es “W/m²K”. Su denominación internacional es “U”. A mayores valores de “K” menor es el asilamiento térmico.

5.1.2.2.- Puentes térmicos.

Un Puente térmico se provoca en una parte de la envolvente que tiene una resistencia térmica inferior al resto del mismo y como consecuencia, también con temperatura inferior, lo que aumenta la posibilidad de producción de condensaciones en esa zona, en épocas frías. Las posibles situaciones en las que se produce suelen ser en encuentros de cerramientos como son alféizares de ventanas, cajas de persianas, pilares no revestidos y en contacto con el exterior, forjados sobre espacios exteriores no aislados térmicamente.



Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.". Valencia, España.

Ilustración 1: Principales puentes térmicos.

5.1.2.3.- Muros.

Un buen aislamiento en los muros nos reduce considerablemente su coeficiente de conductividad térmica, evitando tener pérdidas de calor innecesarias, aumentando el rendimiento de la instalación y consecuentemente reduciendo el consumo energético.

El aislamiento térmico con productos de lana mineral (lana de vidrio o lana de roca), puede llevarse a cabo de dos formas:

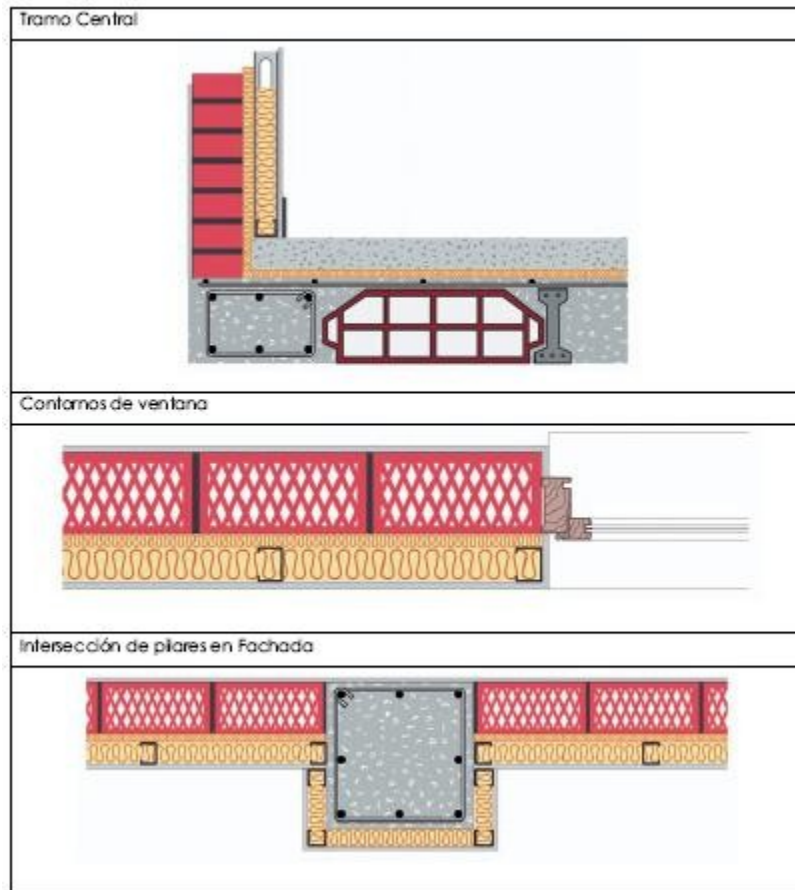
- Construcción/Rehabilitación de fachadas con aislamiento interior mediante trasdosado autoportante de placas de yeso laminado sobre perfiles metálicos y aislamiento de lana mineral.
- Construcción/Rehabilitación de fachadas con aislamiento por el exterior mediante la aplicación de un sistema de fachada ventilada con lana mineral.

Tabla 42: Ventajas y limitaciones de aislamiento por el interior y exterior.

Tipo de aislación	Ventajas	Limitaciones
Interior	Corrige defectos de construcción.	Reducción del espacio interior en 6 cm aprox.
	Incremento del aislamiento térmico del muro soportante.	
	Construcción en seco. Rápida y sin tiempos de secado.	
	No es imprescindible desalojar el edificio.	
	Resuelve los puentes térmicos integrados en fachada	
Exterior	Aplicable a cualquier tipo de fachada	Aumento de fachada hacia el exterior desde 10 cm hasta 30 cm.
	Incremento del aislamiento térmico del muro soportante.	
	Construcción en seco. Rápida y sin tiempos de secado.	
	Rehabilitación con usuarios al interior del edificio.	
	Elimina los puentes térmicos.	

Aislamiento por el interior.

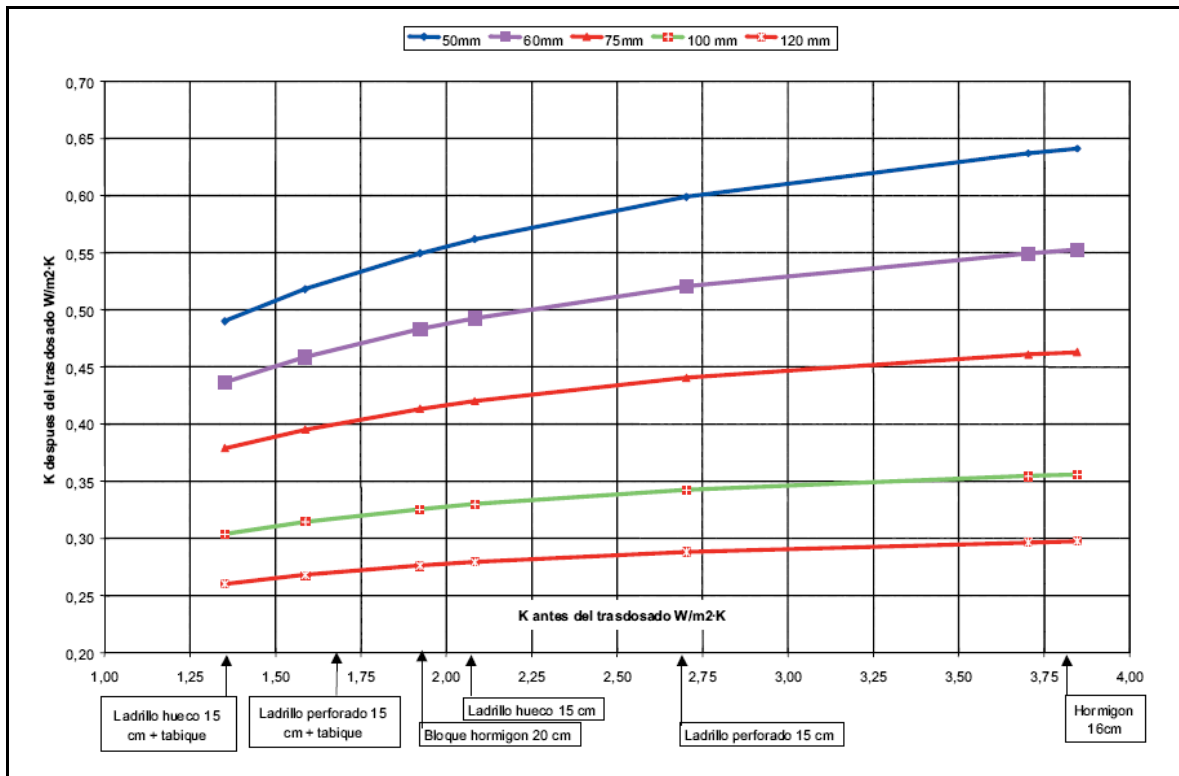
Se trata de un sistema de aislamiento por el interior utilizado muy frecuentemente como sistema de mejora del aislamiento térmico de cerramientos verticales. Está formado por placas de yeso laminado fijadas sobre perfiles metálicos independientes del muro portante con relleno del espacio intermedio con lana mineral.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos". Madrid, España.

Ilustración 2: Detalles constructivos aislamiento interior.

Las prestaciones conseguidas con este método dependen de la eficacia del muro soporte antes de efectuar el trasdosado, los gráficos siguientes permiten una evaluación de las prestaciones térmicas:



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos”. Madrid, España.

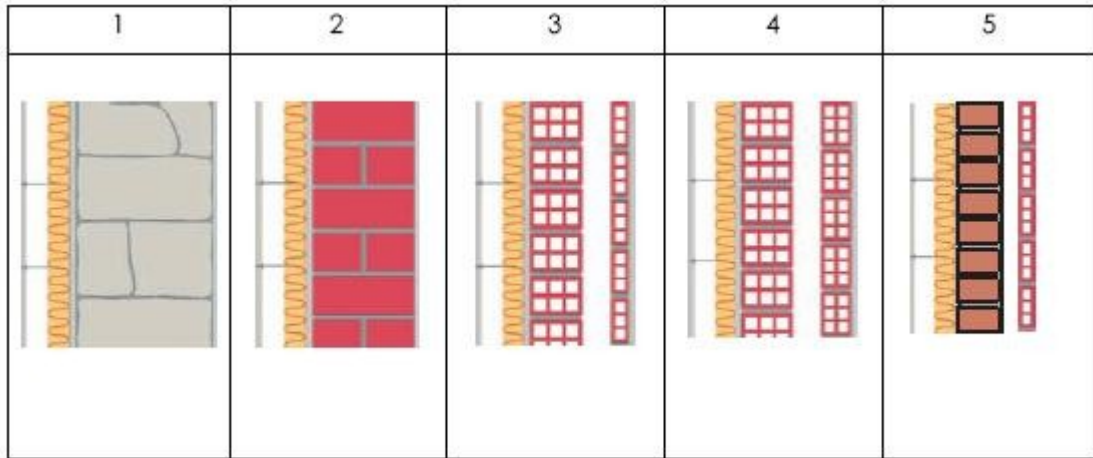
Gráfico 68: Prestaciones térmicas aislación interior.

Como se puede apreciar para el caso más extremo (hormigón 16 cm.) la transmitancia térmica con el espesor más bajo de aislación (50 mm.) se reduce en un 83% llegando al 92% para el espesor mayor.

Aislamiento por el exterior.

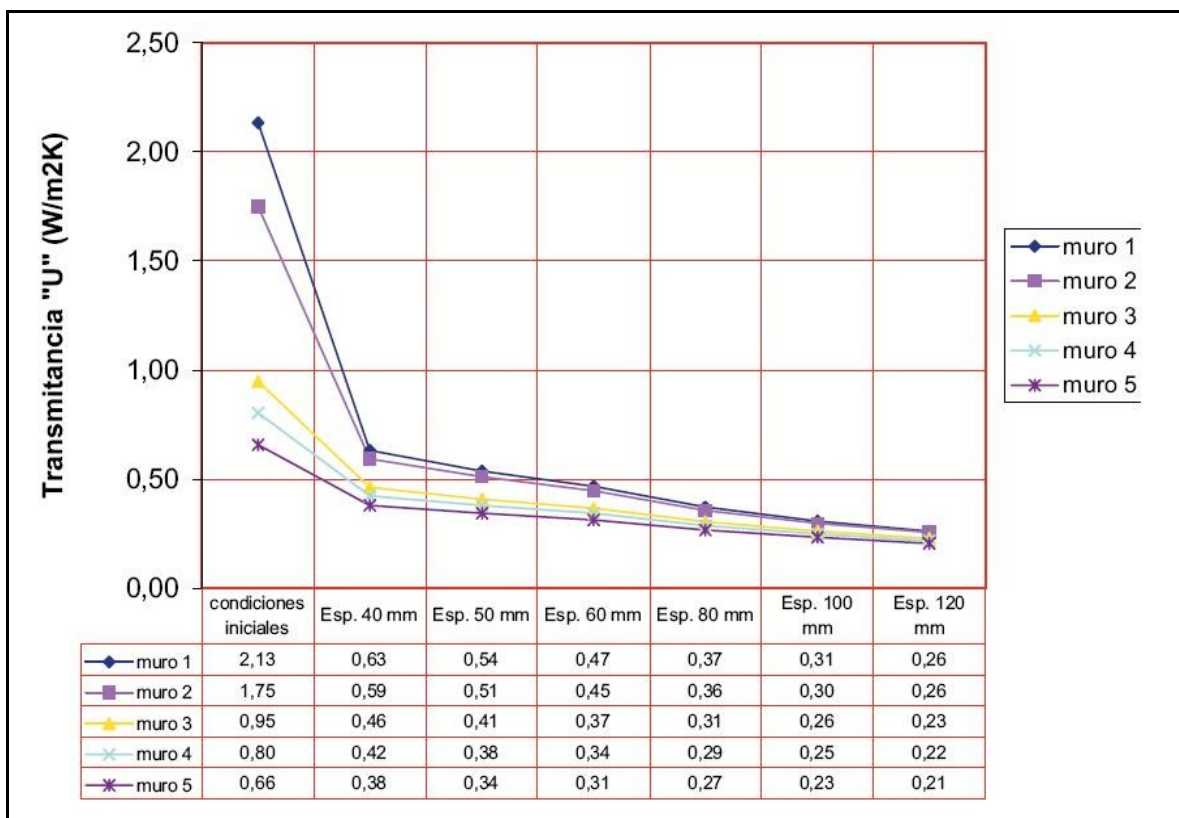
Se trata de una aplicación de aislamiento rígido o semirígido de lana mineral (Lana de vidrio / Lana de roca) por la parte externa del muro y una hoja protección formada normalmente por un revestimiento externo separando ambos materiales por una cámara de aire que circula por simple convección.

La siguiente ilustración muestra el aislamiento exterior para muros soportantes de piedra calcárea (1), ladrillo macizo (2), ladrillo perforado más tabique de ladrillo hueco con una cámara de aire entre ellos (3 y 4) y ladrillo visto más ladrillo perforado con cámara de aire entre ellos (5).



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos". Madrid, España.

Ilustración 3: Detalles constructivo aislación exterior para distintas fachadas.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos". Madrid, España.

Gráfico 69: Prestaciones térmicas aislación exterior.

Revisando el caso extremo del muro 1 con una transmitancia inicial de 2,13 W/m²K, al colocar una aislación exterior de 40 mm se reduce su transmitancia en un 70% llegando para el espesor de 120 mm a una reducción de 88%.

5.1.2.4.- Puertas, acristalamientos y tipo de carpintería.

Las puertas deben construirse principalmente con madera o aglomerados y si es posible con material aislante en su parte media. Las puertas que dan al exterior deben tener además cintas o selladores en su marco, así como elementos en su arrastre que impida la entrada de aire y polvo. En puertas o accesos donde haya mucho tránsito y el local esté climatizado es recomendable la instalación de una cortina de aire, para que afecte en la menor proporción posible al local climatizado.

Las ventanas dependen de dos factores, el tipo de carpintería y el acristalamiento.

Tipos de carpinterías.

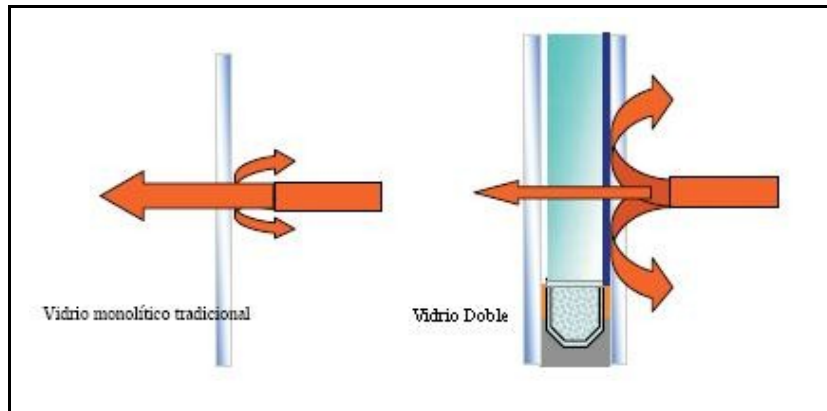
- Madera: es la más aislante de todas, pero la más propensa a la formación de puentes térmicos.
- Metálicas: dan buen resultado si son con rotura de puente térmico, pero si no, son muy susceptible de ellos.
- PVC: tiene buen comportamiento aislante, más estancas y prácticamente todas en su estructura llevan rotura del puente térmico.

Acristalamientos.

- Simple: un solo vidrio. No es muy recomendable, debido a las grandes pérdidas a través de este material.
- Doble: es el más habitual hoy en día ya que se consigue reducir las pérdidas a la mitad. Están constituidos por un vidrio de baja emisividad, normalmente situado por el interior, estos vidrios están dotados de una lámina metálica invisible que refleja al interior parte de la energía de onda larga (calefacción) incidente

disminuyendo la absorción del propio vidrio y, por lo tanto, la energía que se emite al interior.

- Triple: no es muy corriente, se suele utilizar en edificios que se quiera conseguir una alta calidad, un buen aislamiento acústico y térmico. Es el de mayor costo económico.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos”. Madrid, España.

Ilustración 4: Tipos de acristalamientos.

Tabla 43: Valores “K” para distintos tipos de ventana.

Tipo de Cristal	Carpintería	K [W/m ² K]
Acristalamiento Simple	Madera	5,00
	Metálica	5,80
	PVC	4,20
Acristalamiento Doble con Cámara de 6 mm	Madera	3,30
	Metálica	4,00
	PVC	3,02
Acristalamiento Doble con Cámara de 9 mm	Madera	3,10
	Metálica	3,90
	PVC	2,90
Acristalamiento Doble con Cámara de 12 mm	Madera	2,90
	Metálica	3,70
	PVC	2,79

Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.”. Valencia, España.

Otro parámetro que afecta el valor de la ganancia térmica es la existencia de protecciones solares, tanto interiores como exteriores. Las protecciones solares tienen como objetivo proteger las ventanas de la radiación solar directa, aunque en algunos

casos el utilizar estas medidas lleva a renunciar a la luz solar como fuente de iluminación natural.

Las protecciones solares más utilizadas son las siguientes:

Tabla 44: Tipos de protecciones solares.

	Tipo de Protección Solar	Valoración
Interior	Persianas Metálicas	MALO
	Persianas de Plástico	MALO
	Cortinas	REGULAR
Exterior	Persianas de Madera	REGULAR
	Persianas de Plástico	REGULAR
	Persianas Metálicas	REGULAR
	Toldos	BUENO
	Voladizo que dé sombra	BUENO

Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.". Valencia, España.

La utilización de Protecciones Solares es un buen sistema para reducir la fuerte radiación solar, y es más adecuado un tipo u otro en función de la orientación:

- Norte: las más adecuadas son las protecciones solares fijas o semifijas.
- Oeste o Suroeste se recomienda el uso de protecciones solares con lamas horizontales o verticales móviles.
- Este y Oeste se recomiendan aquellas que sean móviles siendo agradable, tanto al amanecer como al atardecer, la entrada de la luz solar en épocas frías o templadas, pero no en el verano.

5.1.3.- Climatización.

Aún en el caso de unas características constructivas lo más adaptadas posibles a la condiciones ambientales exteriores de un edificio, siempre es necesario la instalación de sistemas de climatización para llegar al nivel óptimo de confort térmico. Es conveniente que se preste la atención suficiente al sistema de climatización, no sólo por la importancia que tiene desde el punto de vista del confort, sino por su elevado consumo de energía, que puede llegar a alcanzar hasta un 50% del total del edificio.

5.1.3.1.- Calefacción.

Existen gran cantidad de sistemas de calefacción, pero la tendencia actual es a la utilización de bombas de calor reversible, que nos sirve tanto para calefaccionar como para refrigerar, siempre y cuando las condiciones sean adecuadas para la utilización de este tipo de instalación.

Bomba de Calor.

Es una máquina termodinámica destina a calentar o refrigerar un local a partir de una fuente externa cuya temperatura es inferior o superior a la del local a calentar.

El medio donde se extrae el calor se denomina “foco frío” y al medio al que se transfiere el calor se llama “foco caliente”. En función del fluido utilizado en las fuentes (origen-destino) existen bombas denominadas aire-aire, aire-agua, agua-aire, agua-agua, tierra-aire y tierra-agua.

Podemos clasificar las bombas de calor en función de su número de unidades y su disposición en el local a acondicionar como:

- Compactos: constan de una sola unidad.
- Partidos: están formados por dos o más unidades.

En cuanto al servicio que prestan se dividen en:

- Unitarios: equipos independientes en cada dependencia.
 - Acondicionador Portátil.
 - Acondicionador de Ventana.
 - Consola.
 - Equipos Partidos (split o multi-split).
- Individuales: cuando atiende al conjunto de locales del edificio.
 - Equipo Compacto Individual.
 - Equipo Partido Individual.

Acumuladores de calor.

Una forma de aprovechar la energía eléctrica en calefacción, alcanzando un considerable ahorro para el consumidor (hasta un 55 %), es el empleo de acumuladores de calor bajo la modalidad de Tarifa Nocturna.

El acumulador funciona de forma general, almacenando durante la noche la energía calorífica generada en resistencias calefactoras de larga duración que, inmersas en el seno de un núcleo refractario, permiten proporcionar la energía necesaria a lo largo del día al recinto a calentar, acondicionando éste a la temperatura deseada.

Tabla 45: Tipos de acumuladores.

Tipos	Definición	Distribución
Estáticos	Cesión de calor se realiza a través de una superficie interna y por convección natural.	Pasillos, salas de espera, etc. Se requiere una temperatura constante o con pocas fluctuaciones.
Dinámicos	Se fuerza una corriente de aire en su interior a través de una turbina.	Salones, bibliotecas, etc. Se necesitan variaciones de temperaturas considerables.

En cuanto a las potencias, los acumuladores dinámicos suelen ofrecer mayores valores, como se puede comprobar en la siguiente tabla:

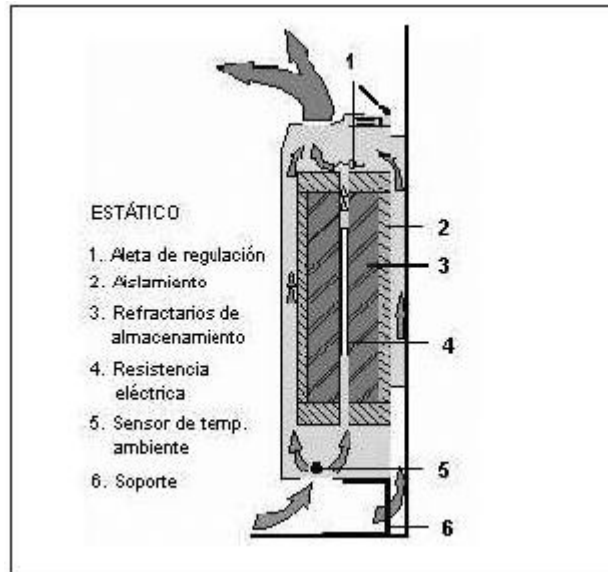
Tabla 46: Potencias de acumuladores.

Tipo de acumulador	Potencia [kW]
Estáticos	1,5
	2,5
	3,4
Dinámicos	2,0
	3,0
	4,0
	5,0
	6,0

Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.". Valencia, España.

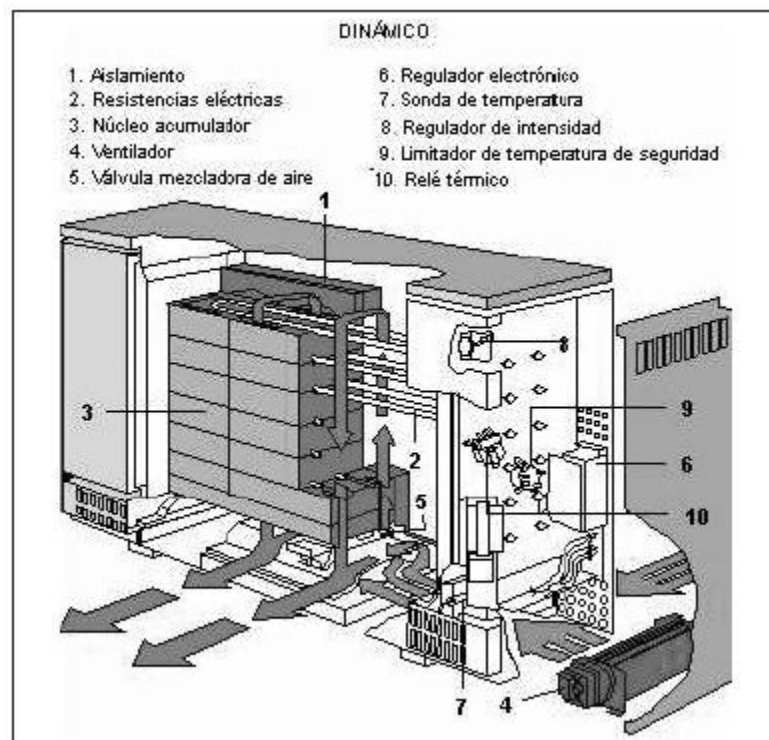
En general, el sistema de calefacción por acumulación resulta interesante en todos aquellos edificios donde el consumo de calefacción es elevado, debido a estar ubicado en

una localidad de clima frío. Hay que considerar que la inversión necesaria para su instalación es elevada, pero si se puede beneficiar de la Tarifa Eléctrica Nocturna puede ser el sistema adecuado.



Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.". Valencia, España.

Ilustración 5: Acumulador estático.



Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.”. Valencia, España.

Ilustración 6: Acumulador dinámico.

5.1.3.2.- Refrigeración.

Aunque un sistema central de refrigeración es caro, fácilmente su costo puede ser igual o mayor, para equipar cada oficina con su propio equipo de aire acondicionado. Generalmente, se prefieren los sistemas centrales de refrigeración, que permiten conseguir un ahorro en la potencia instalada.

Los sistemas más utilizados son el de enfriamiento de agua y el enfriamiento de aire.

Para mejorar el funcionamiento de un sistema de acondicionado de aire, se ha de tener en cuenta la posibilidad de la “refrigeración gratis” (free cooling) durante el día o la noche. El concepto es muy sencillo: siempre que la energía del aire exterior sea inferior a la de los locales a climatizar, ¿porqué no usar el aire exterior para enfriar los mismos?. Estamos ante el equivalente tecnológico de abrir una ventana, pero siempre controlando que realmente estamos ahorrando energía al hacerlo. Un buen uso de este sistema de refrigeración puede en un ahorro anual de un 8% del consumo energético del edificio.

Cabe mencionar que los equipos de climatización han incrementado su eficiencia energética por el avance tecnológico:

Tabla 47: Incremento de eficiencia kW/kW.*

Equipo	1980	2006
Equipos Split	2,3	2,5
Equipos Compactos Verticales, Cubierta, etc.	2,6	2,8
Enfriadores aire-agua	2,7	3,1
Enfriadores agua-agua	3,0	4,0
Enfriadores Centrífugas	5,0	7,0

* Eficiencia: razón entre la potencia de refrigeración y la potencia eléctrica.

Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos”. Madrid, España.

5.1.4.- Recomendaciones de uso eficiente.

5.1.4.1.- Recomendaciones de carácter general.

- Comprobar el estado de los aislamientos y sustituirlos en caso necesario. Recordar que un sólo centímetro de aislamiento térmico es tan resistente a las pérdidas de calor como un muro de hormigón de medio metro de espesor.
- Instalar en la medida de lo posible, dobles ventanas o doble acristalamiento. El 40% de las fugas de calor de un edificio se produce a través de las ventanas y los cristales exteriores. El doble acristalamiento reduce esas pérdidas a la mitad y le permite ahorrar por tanto un 20 % de la energía en calefacción, además de evitar ruidos molestos.
- Comprobar que las ventanas y puertas cierran herméticamente, para su mejor estanqueidad.
- Instalar carpintería de PVC con rotura de puente térmico.
- En caso de tener otro tipo de carpintería instalar burletes adhesivos en los cierres de ventanas. Permiten ahorrar entre un 5 % y un 10 % de energía que es calor que se escapa justamente a través de las rendijas y cierres de las ventanas y puertas exteriores.
- Abrir las ventanas sólo el tiempo necesario, en condiciones normales, son suficientes diez minutos para renovar completamente el aire de una estancia de unos 12 m² aproximadamente.
- Instalar toldos o persianas para impedir las radiaciones directas del sol, disminuyen las necesidades de refrigeración.
- Procurar mantener la humedad del ambiente entre el 30 % y el 65 %.
- Evite fuentes de calor innecesarias en verano, como la iluminación excesiva.
- Distribuya las estancias de mayor uso, con orientación norte, o este.

5.1.4.2.- Climatización.

Utilizar sistemas de edificio inteligente

- Considerar la aplicación de sistemas de automatización del edificio para control, gestión o uso óptimo y el mantenimiento de los distintos sistemas de ingeniería del edificio. *El sistema de control y de gestión de la energía* tiene como objetivo optimizar el funcionamiento de los equipos instalados en el edificio desde el punto de vista de su consumo energético y ahorro en mantenimiento (ya que el continuo control del equipamiento facilita la detección de posibles fallos y permite planificar mejor las tareas de mantenimiento).
- Considerar el uso de termostatos sin graduación: sólo las opciones de frío-calor, acompañado de sistemas de edificio inteligente, como por ejemplo si en invierno la ventana está abierta, de forma automática parar la calefacción para que el usuario reaccione y cierre la ventana.

Recomendaciones

- Subir la temperatura de la calefacción no significa que obtener mayor confort en invierno, no pase frío en verano disminuyendo la temperatura del aire acondicionado.
- Tener en cuenta que por cada grado por encima de 20 °C estará gastando de forma innecesaria un 5% más de energía en calefacción, y cada grado que haya por debajo de los 25 °C estará gastando un 8 % más de energía en refrigeración.
- Establezca unas temperaturas de confort, ni muy altas ni muy bajas. Establezca unas temperaturas de confort, alrededor de 20 °C en invierno y 25 °C en verano.
- Instale termostatos junto con programadores para evitar calentar o enfriar en los horarios en los que no se trabaje.
- Organice los horarios de uso de las diferentes dependencias para un mayor rendimiento de la instalación y un menor consumo.

Calefacción

- Apague la calefacción por la noche y no la encienda por la mañana hasta que la oficina esté ventilada y se hayan cerrado las ventanas.

- Si se sustituyen los radiadores eléctricos por acumuladores, puede ahorrar más de la mitad de los gastos de calefacción.
- El aprovechamiento de la luz natural, produce un ahorro en iluminación y es una fuente de calor gratuito durante el invierno.

Refrigeración

- Desconectar el acondicionador cuando no haya nadie en la oficina que esté refrigerando.
- Aislar los techos y muros expuestos al sol representa un ahorro de hasta un 30 % en el consumo de aire acondicionado.
- En los edificios y locales en cuyas fachadas predomina el cristal, es muy efectivo utilizar vidrios polarizados o colocar cristales con control solar que reducen la transmisión de calor y dejan pasar la luz necesaria. Esta medida proporciona ahorros del 20 % en el consumo de aire acondicionado.
- En verano, si es posible, ventilar el local a primeras horas de la mañana cuando el aire de la calle es más fresco.
- Instalar cierres automáticos en las puertas y mantenga cerradas las ventanas para reducir, en la medida de lo posible, la entrada de aire caliente durante el día.
- Si la temperatura es menor de 25 °C, es preferible abrir las ventanas que conectar el acondicionador.
- Limpie y revise periódicamente su sistema de aire acondicionado (cada 2 ó 3 meses) podría suponer un ahorro de entre un 3 % y un 10 % del consumo eléctrico.

5.2.- Iluminación.

Un buen sistema de iluminación proporciona suficiente luz en el lugar correcto en el momento que se necesita. Una inadecuada iluminación artificial, en salas donde se

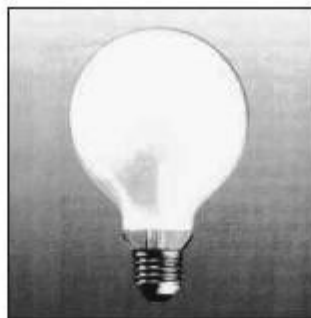
trabaja con pantallas de visualización, provoca en los operarios una serie de trastornos que se ponen de manifiesto a nivel de fatiga visual.

5.2.1.- Tipos de lámparas.

Las lámparas se diferencian en el modo de generar la luz, su vida media de uso y por supuesto su potencia.

Tabla 48: Resumen de características de distintos tipos de luminarias.

Tipo	Vida media en horas	Observaciones
Incandescentes	1.000	Aprovecha solo el 5% de energía para producir luz, el 95% restante se obtiene calor.
Halógenas	2.000	Aportación de calor considerable a tener en cuenta en su aplicación en interiores.
Fluorescentes compactas	10.000	Alcanzan el 80% del flujo luminoso en un minuto.
Fluorescentes	10.000	Requiere de un balastro para limitar el flujo de corriente.



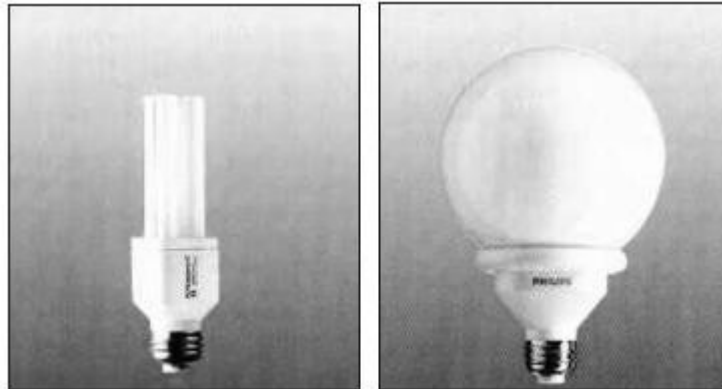
Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.". Valencia, España.

Ilustración 7: Tipos de lámparas incandescentes (estándar, esférica y vela).



Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.”. Valencia, España.

Ilustración 8: Tipos de lámparas Halógenas.



Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.”. Valencia, España.

Ilustración 9: Tipos lámparas fluorescentes compactas.

En la siguiente tabla se expresa la equivalencia entre lámparas fluorescentes compactas y lámparas incandescentes:

Tabla 49: Cuadro Comparativo.

Lámparas Fluorescentes Compactas	Lámparas Incandescentes	Ahorro de Energía
[W]	[W]	[%]
3	15	80%
5	25	80%
7	40	83%
11	60	82%
15	75	80%

20	100	80%
23	150	85%

Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.". Valencia, España.

5.2.1.1.- Ejemplo práctico.

Ejemplo de ahorro de costos para 10.000 horas de uso.

En una oficina con 6 puntos de luz incandescente, cada uno de 60 W, funcionando 8 horas diarias a lo largo del año, tendremos:

Tabla 50: Características de lámparas.

	Fluorescente Compacta	Incandescente
Consumo	11 W	60 W
Vida Útil	10.000 h	1.000 h
Precio compra ²⁶	\$ 2.190	\$ 290
Costo en lámparas de 10.000 h	\$ 2.190	290 · 10 = \$ 2.900

Situación actual: 6 puntos de luz incandescente de 60 W cada uno.

Costo de la energía:

$$6 \text{ puntos} \cdot 60 \text{ W} = 360 \text{ W}$$

$$360 \text{ W} \cdot 10.000 \text{ horas} = \mathbf{3.600 \text{ kWh}}$$

con un precio estimado de **45 \$/kWh** tendremos **\$ 162.000**

$$\text{Costo de sustitución: } 6 \cdot 2.900 = \mathbf{\$ 17.400}$$

Costo Total: **\$ 179.400**

Realizando el cambio por luminarias compactas de bajo consumo tendremos:

Costo de la energía:

$$6 \text{ puntos} \cdot 11 \text{ W} = 66 \text{ W}$$

$$66 \text{ W} \cdot 10.000 \text{ horas} = \mathbf{660 \text{ kWh}}$$

con un precio estimado de **45 \$/kWh** tendremos **\$ 29.700**

$$\text{Costo de sustitución: } 6 \cdot 2.190 = \mathbf{\$ 13.140}$$

Costo Total: **\$ 42.840**

²⁶ HOMCENTER SODIMAC. Ampolletas, tubos. [en línea].

<http://www.sodimac.cl/webapp/commerce/command/CategoryDisplay?cgnbr=catt11-10&cgmenbr=542&area=492475&depto=102184&Area_Familia=cattiluminacion&Path_Familia=Mundolluminacion&ubic=102184&ubicdpto=102184> [Consulta: 22 Julio 2008]

Ahorro: \$ 179.400 – \$ 42.840 = \$ 136.560*

Es decir, se consigue un ahorro económico del 76%.

5.2.2.- Sistemas de iluminación.

Según la disposición y ubicación de las luminarias, se pueden diferenciar tres sistemas de básicos del alumbrado de interior:

- *Alumbrado general, proporcionado por una distribución regular de luminarias.*
Este tipo de alumbrado ha sido adoptado por la mayoría de las oficinas generales. Se emplea un alumbrado directo para así poder conseguir la iluminancia horizontal y uniformidad deseada.
Tiene la ventaja de poder usar cualquier parte de la oficina como puesto de trabajo, por lo que en el caso de una reestructuración de la planta, no sería necesario un cambio del alumbrado.
- *Alumbrado general localizado, proporcionado por una distribución irregular de las luminarias en relación con las zonas de trabajo.*
Con este tipo de alumbrado se pueden conseguir ciertos ahorros, ya que las luminarias se colocan alrededor de los puestos de trabajo, o en donde determinadas luminarias se puedan desconectar. Al diseñar una instalación de este tipo se ha de tener especial precaución en que las iluminancias requeridas en los diversos puestos sean las adecuadas.
- *Alumbrado general más Alumbrado Local, en el que se completa un nivel de alumbrado general con luminarias en los puestos de trabajo.*
Este tipo de alumbrado surge debido al interés que se está creando por ahorrar energía. Se debe tener en cuenta que el alumbrado local del puesto de trabajo necesario para complementar el general de bajo nivel, deberá permitir que la tarea se realice confortablemente para cualquier posición del trabajador, lo que

* UF = \$ 21.026 para el 6 de Octubre de 2008.

significa que para evitar deslumbramientos, la luz debe apantallarse de tal forma que no alcance directamente sus ojos cuando este sentado en posición normal de trabajo.

5.2.3.- Control de iluminación.

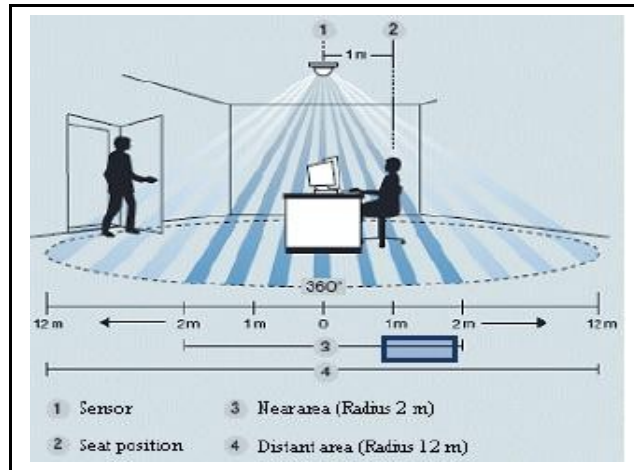
5.2.3.1.- Sistemas control relacionados con el grado de ocupación.

Estos sistemas utilizan unos detectores de presencia, a menudo ultrasónicos, infrarrojos, microondas o acústicos para controlar las luces. Normalmente, encienden la luz cuando detectan a alguien y la apagan otra vez cuando ya no detectan el ocupante durante un tiempo determinado. Los sistemas de control relacionados con el grado de ocupación son adecuados para, por ejemplo, zonas de almacén, pasillos y servicios.



Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.”. Valencia, España.

Ilustración 10: Sensor de presencia.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos”. Madrid, España.

Ilustración 11: Funcionamiento sensor de presencia.

5.2.3.2.- Sistemas control relacionados con la luz del día.

Este tipo de control se basa en una serie de fotocélulas y se puede utilizar para apagar las lámparas cuando la luz del día es suficiente. Algunos desarrollos recientes han introducido los controladores de oscurecimiento, que mantienen un nivel constante de iluminación oscureciendo algunas luces para compensar la luz natural disponible.



Fuente: AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en los Municipios de la Comunidad Valenciana.”. Valencia, España.

Ilustración 12: Fotocélula.

5.2.3.3.- Sistemas de gestión de la iluminación.

En edificios de usos múltiples, es cada vez más interesante disponer de un sistema que permita el manejo y el control energético de las instalaciones de iluminación, de forma similar a los implantados por otras instalaciones como las de climatización.

Las ventajas de estos sistemas centralizados son:

- Posibilidad de encendido/apagado de zonas mediante ordenes centrales, bien sean manuales o automáticas (control horario).
- Modificaciones de circuito de encendido a nivel central sin obras eléctricas.
- Monitorización de estados de los circuitos y consumos de los mismos.

5.3.- Equipos de computación.

5.3.1.- Configuración de equipos en modo de ahorro²⁷.

El computador consume energía siempre que esté encendido pero dado que la mayoría de las veces los periodos en los que hemos abandonado temporalmente el puesto de trabajo para realizar otra función son cortos y es exagerado desconectar el computador cada pocos minutos, se recomienda apagarlo en los siguientes casos:

- Horas de comida. Durante los periodos de comida o equivalentes.
- En caso de reuniones o actividades similares de duración superior a una hora.
- Fin de la jornada laboral.
- Fines de semana o días de ausencia del puesto de trabajo.

Los modos de ahorro para el computador son dos, el modo “sleep” y “stand by” con reducciones del 65% y 97% de energía respectivamente. Sin embargo, el tiempo que estarán los computadores en este modo dependerá fundamentalmente del tipo de usuario y su actividad cotidiana. En este sentido, se considera que los cargos directivos por su asistencia regular a reuniones de coordinación tendrán funcionando sus computadores más tiempo en modo stand by que el computador de una secretaria, que está la mayor parte del tiempo trabajando efectivamente en su computador.

El modo “sleep” es un modo de bajo consumo en el cual el computador sigue encendido pero elimina la mayor cantidad de operaciones posibles. En la práctica sigue encendido, consumiendo menos energía y el monitor en negro. Se desactiva este modo cuando recibe una señal del mouse o del teclado al volver.

El modo “stand by” es un modo en que el computador está prácticamente apagado. Presenta dos modalidades, la modalidad apagado propiamente tal, en la cual todos los programas se cierran y al encender nuevamente el equipo, éste se reinicia tal como si fuese encendido por primera vez; y el estado de hibernación en el cual se guarda

²⁷ TBE CHILE. Junio 2006. Eficiencia Energética en Chile – Estudio: Auditoría Energética para el Edificio Institucional de Teatinos 120. Santiago de Chile. 22p.

en el disco duro el estado actual de Windows, es decir, al encender nuevamente la computadora se enciende con los programas y ventanas que estaban activos al momento de entrar en inactividad.

Para activar estos modos de energía se realiza lo siguiente²⁸:

1. En el escritorio, hacer clic con el botón derecho y seleccionar propiedades.
2. En **Propiedades de pantalla** seleccionar la pestaña de **Protector de pantalla**.
3. En la pestaña de **Protector de pantalla** seleccionar **Ninguno**. La ausencia de un protector de pantalla favorece la desactivación de la señal del monitor, lo que contribuye a un ahorro de energía y protege la pantalla.



Ilustración 13: Activación modo sleep.

4. Hacer clic en el botón de **Energía** situado junto al logotipo de Energy Star para acceder a las opciones de ahorro de energía.

²⁸ TBE CHILE. Junio 2006. Eficiencia Energética en Chile – Estudio: Auditoría Energética para el Edificio Institucional de Teatinos 120. Santiago de Chile. 38p.



Ilustración 14: Activación modo stand by.

5. Luego en **Propiedades de Opciones de Energía** selecciona la combinación de energía a adoptar para ajustarla a preferencias. Se recomienda apagar el monitor luego de 15 minutos, apagar discos duros nunca y pasar a la inactividad luego de 15 minutos.
6. En **Opciones avanzadas** se puede fijar lo que el equipo debe hacer al presionar el botón encendido y suspender el sistema (modo de espera) del equipo, si el computador cuenta con este modo.

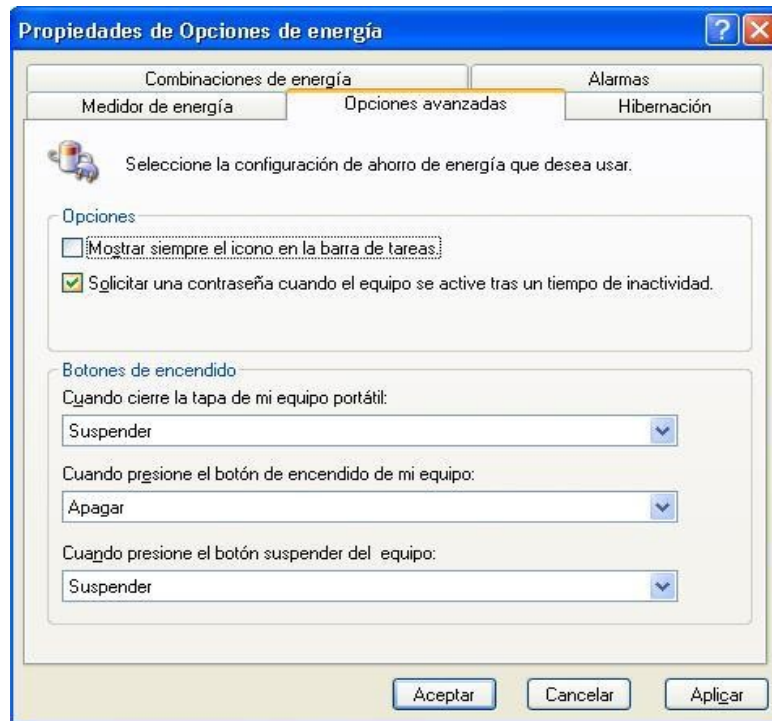


Ilustración 15: Opciones avanzadas.

7. Al hacer clic en la pestaña **Hibernación** se activa esta característica.

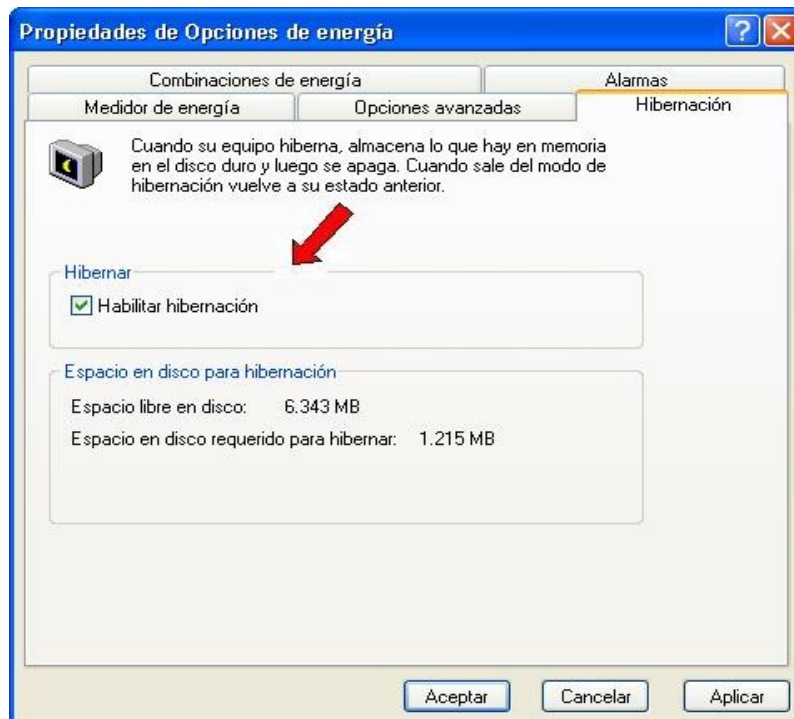


Ilustración 16: Hibernación.

5.4.- Agua sanitaria.

Tanto por responsabilidad social, como personal, ecológica o económica, es importante saber qué hacer para reducir la demanda de agua en nuestras instalaciones, y este apartado persigue dar a conocer acciones, técnicas y sistemas que permitan a los responsables, gestores, directores y técnicos de los edificios o empresas, minimizar los consumos de agua.

Muchas veces se plantean actuaciones complejas, normativas internas, campañas de concienciación excesivamente costosas y trucos para intentar reducir los consumos de agua, cuando hay actuaciones que pasan desapercibidas por los usuarios y que a la vez aumentan el confort de uso.

5.4.1.- Acciones y consideraciones para ahorrar agua.

Dentro de la infinidad de posibles acciones y temas a considerar se detallan los más importantes que pueden servir a modo de ejemplo:

- En las instalaciones de agua caliente sanitaria, como de agua fría hay que preocuparse de que cuando se diseñen o reformen, se considere como muy importante la eficiencia, tanto en el diseño como en la forma de uso; utilizando los adelantos técnicos más avanzados en el momento: Sin olvidar la facilidad de mantenimiento y sus costos.
- Prever las necesidades hídricas de producción, detectando en que procesos se podría aprovechar la energía de unos procesos a otros (mediante intercambiadores de calor).
- Reutilización y/o reciclaje de aguas servidas, si no se considera en la fase de diseño posteriormente suele hacerse inviable por los altos costos que implicaría, al no estar la estructura ni canalización del edificio para ello; mientras que si se

preocupa de incluirlas en el proyecto, el costo sería mínimo, ofreciendo beneficios por ahorro de por vida.

- Instalación de contadores (de ser posible electrónicos), que permitirían la segregación y control de consumos y fugas, adecuando los diámetros de éstos a las necesidades reales.
- Selección de los equipos y adecuación de las instalaciones de climatización al tipo de explotación que va a tener el edificio.
- Desarrollo de programas de mantenimiento preventivo que permitan una corrección y detección inmediata de anomalías, excesos de consumos, fugas, etc.
- Prever, programar y comprobar las temperaturas de calentamiento, acumulación y distribución del agua caliente sanitaria, adecuándolas a las demandas de agua esperada.
- Realizar campañas de sensibilización ambiental dentro del edificio, empresas o usuarios de éste, formando al personal para que resuelva los problemas mas habituales que pueda encontrarse, demostrando a los clientes y visitantes la sensibilidad y preocupación por el tema, lo que mejorará la imagen pública del centro, edificio o empresas instaladas en el mismo.
- Instalar, prever o implementar equipos y medidas economizadoras de agua, como las que se detallan en el siguiente apartado, pus facilitan la minimización de los gastos y consumo de agua, generando beneficios por ahorro de agua por toda la vida.

5.4.2.- Equipos para ahorrar agua.

5.4.2.1.- Griferías de lavamanos.

A continuación se presenta una tabla con los distintos tipos de griferías

Tabla 51: Descripción y características de distintos tipos de griferías para lavamanos.

Tipo	Descripción	Características	Mejorías
Tradicional con cartucho ecológico	Apertura en frío en posición central y en dos etapas.	Reduce consumos de agua y deriva consumos de agua caliente no premeditada a consumos de agua fría. Ahorros entre 50% y 70%.	Incorporar perlizadores en boca de salida.
Termostáticos	Mezclan automáticamente agua fría y caliente, para lograr temperatura deseada.	Equipos más costosos, pero aportan elevado confort	
Electrónicos	Ajustan la demanda real de agua debido a la activación por infrarrojos.	Ahorros por más del 65%	Incorporando perlizadores el ahorro sube a 78%
Temporizados	Caudal regulable o pre-ajustable, con temporización ajustada a demanda.	Minimiza consumos entre 20% a 40%	Puede incorporar perlizadores. Posibles mejorías para bajar el tiempo de cierre.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos". Madrid, España.

Ilustración 17: Perlizadores.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos”. Madrid, España.

Ilustración 18: Explicación gráfica de los cartuchos ecológicos.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos”. Madrid, España.

Ilustración 19: Grifería por infrarrojo.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. "Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos". Madrid, España.

Ilustración 20: Mejoras posibles en griferías temporizadas.

5.4.2.2.- Inodoros (WC).

El inodoro es el elemento que más consume agua, su descarga media estadística suele estar entre los 9 y 10 litros.

Los inodoros se ocupan tanto para micción como para deposiciones, lo que hace que si el sanitario no dispone de elementos para seleccionar el tipo de descarga, ésta sea igual tanto para retirar sólidos, como para retirar líquidos, cuando estos últimos sólo necesitarían un 20 o 25 % del agua del contenido del tanque.

Esta circunstancia hace que toda medida que permita seleccionar si se desea retirar sólidos o líquidos, en función de la utilización realizada, permitirá ahorrar más de 60-70 % del contenido del tanque o descarga.

Sistema con doble pulsador.

Sin lugar a dudas la opción más ecológica y racional para el uso de los inodoros. Aunque por desgracia algunos fabricantes no permiten la selección y graduación del tipo de descarga; hay otros que es complicado saber cuál es el botón que descarga una parte u otra; incluso existen unos mecanismos, que hay que pulsar los dos botones a la vez para producir una descarga completa.

En promedio, una persona va 5 veces al WC, de las cuales 4 son micciones y 1 deposición, por lo tanto discriminar la descarga a realizar produce ahorros en el consumo de agua. En el siguiente ejemplo, a nivel estadístico de una persona se ve el ahorro que se puede obtener:

Tanque normal:	5 Descargas	x	9 l/Desc.	=	45 l/Día.
Tanque 2 pulsadores:	1 Descargas	x	9 l/Desc.	=	9 l/Día.
	4 Descargas	x	3 l/Desc.	=	12 l/Día.

Diferencia: $45 - (9 + 12) = 24$ litros ahorrados, por lo tanto estamos hablando de un 53% de ahorro.

En el mercado hay infinidad de trucos, técnicas y sistemas que consisten en reservar, ocupar, o evitar la salida de un determinado nivel o capacidad de agua, al utilizar la cisterna, aunque con estas técnicas se puede sacrificar el servicio ofrecido.

5.4.2.3.- Técnicas sin agua.

Hoy en día existen tecnologías que permiten eliminar la necesidad de utilizar el agua para procesos sanitarios, como es el caso de los mingitorios, o urinarios, los cuales se utilizan tres veces más que los inodoros y que son un gran foco de consumo, utilizados por la población masculina, la cual no siempre hace un uso correcto del mismo.

En la actualidad podemos encontrar urinarios secos, sin necesidad de utilizar o consumir agua. Su tecnología consiste en una serie de cartuchos donde se recoge la orina, la cual atraviesa un líquido aceitoso que actúa a modo de trampa de olores, sellando los posibles gases de evacuación o desagüe y evitando los malos olores de las micciones.



Fuente: COMUNIDAD DE MADRID 2007. “Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos”. Madrid, España.

Ilustración 21: Urinario Seco.

Esta tecnología, lo único que requiere es un mantenimiento en cuanto a limpieza diaria

5.4.3.- Consejos generales para economizar agua.

En los puntos de consumo

- Instalar equipos termostáticos siempre que sea posible, pues aumentan el confort y ajustan el consumo energético a la demanda real.
- Los equipos temporizados son ideales pues evitan los olvidos de cierre.
- Instalar medidas correctoras de consumo como perlizadores, inodoros con doble pulsación, etc.

- Un hábito frecuente es tirar al inodoro gasas, compresas, tampones o los envoltorios de éstos, junto con papeles y plásticos, con lo que se pueden producir atascos en tuberías tanto de bajantes como en fosas y sifones, provocando obstrucción en las rejillas de entrada y filtros, ocasionando diversos problemas higiénicos y mecánicos. Es recomendable que todos estos residuos vayan directamente a la basura; para ello además de sensibilizar a los usuarios, los centros han de poner medios para poder facilitar esta labor.

Capítulo 6

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El concepto de eficiencia energética es relativamente nuevo en Chile, está siendo incorporado a través de campañas y un programa país cuya meta es lograr un mejoramiento en la eficiencia energética anual de 1,5%. Las personas también se han enterado de esta tendencia a ahorrar energía, aunque la eficiencia energética la asocian a razonamientos y con ello disminuciones en el nivel de confort, es ahí donde hay que colocar énfasis en la difusión correcta de este concepto y como con cambios pequeños, como son el recambio de ampollitas, las personas pueden ser parte activa de esta tendencia.

También deben ser parte activa las empresas, tanto privadas como públicas, organizaciones y corporaciones, creando y realizando acciones para contribuir a estas tendencias. En este sentido la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción ha iniciado un foco de trabajo orientado a impulsar el desarrollo de la eficiencia energética en el sector construcción, como parte de este desarrollo impulsó este estudio basado en la metodología de benchmarking.

El mercado de las oficinas en Santiago ha tenido un crecimiento en los últimos 5 años, debido al buen momento económico del país que ha contribuido que distintas firmas tengan un interés en asentarse en esta ciudad y según lo proyectado, este mercado seguirá creciendo en los próximos años a través de distintos proyectos en marcha. Por esta razón es importante estudiar, conocer y establecer parámetros de eficiencia energética de este mercado. Actualmente en Chile no existe ningún registro de consumos y costos de energía de este sector por lo tanto este estudio, junto a otros, forman parte de un grupo pionero.

La realización del estudio, específicamente en el levantamiento de datos, permitió observar la gestión energética de distintos administradores y el grado de adiestramiento de estos. La principal conclusión es que existen muchas diferencias entre los administradores, mientras que algunos tiene las estadísticas de consumos de distintos años y conocimientos de los sistemas utilizados, otros ni siquiera tiene la superficie del establecimiento a la mano, mirando los costos como algo que sucede sin ponerle atención ni tomar medidas para su uso eficiente. Las respuestas del tipo “*lo que consumen los usuarios es problema de ellos*” no ayudan a crear una conciencia del uso eficiente de la energía.

La gestión energética requiere de capacitación para los jefes de operación, conocimiento de eficiencia energética y las medidas que pueden tomar para racionalizar el uso.

Otro punto importante observado durante el levantamiento de datos es la poca colaboración de parte de usuarios, los cuales debido al desconocimiento de este tipo de estudios no logran ver los beneficios a largo plazo. La mayoría de los usuarios solo buscan en estos estudios beneficios directos de corto plazo para su empresa, lo que no ayuda en esta nueva tendencia mundial.

Finalmente en cuanto a la gestión energética, se sugiere a los administradores y jefes de operaciones:

- Realizar un estudio hacia atrás, es decir contabilizar el consumo de energía en años anteriores, junto con su costo; luego construir el indicador kWh/m² para ver su evolución en el tiempo. Con esto lograrán observar si con el paso del tiempo los consumos de energía han ido en aumento y así tomar medidas de ahorro, también pueden visualizar el cumplimiento de metas impuestas por planes ahorro ya implementados.
- Anualmente realizar un catastro de equipos consumidores de energía, en espacios comunes y oficinas, con ello se tiene un control de la caracterización del consumo (climatización, iluminación, computación y otros). Además de este catastro, se

debe contabilizar el consumo y costo de la energía para sumarlo a la estadística de años anteriores y continuar observando su evolución.

- Compartir los datos de los edificios de un mismo administrador con el fin de realizar un sistema de benchmarking para observar las mejores prácticas.
- Compartir los datos de los edificios de distintos administradores con el único objetivo de obtener un mejor sistema de benchmarking. Esta recomendación es más difícil de llevar cabo pues esta información es considerada confidencial, por lo tanto produciría desconfianza el hecho de darla. Se debe obtener un ambiente de total confianza entre administradores para la realización de esta sugerencia.

Este estudio sólo contó con una pequeña muestra de 8 edificios, lo que para cualquier trabajo estadístico no lleva a concluir un comportamiento representativo de los edificios de oficina de Santiago, por lo tanto lo más destacables es el procedimiento y metodología para comprender el desempeño energético y la generación de indicadores.

El abastecimiento de energía encontrado en este tipo de edificios es la electricidad. Su caracterización promedio para la muestra es la siguiente:

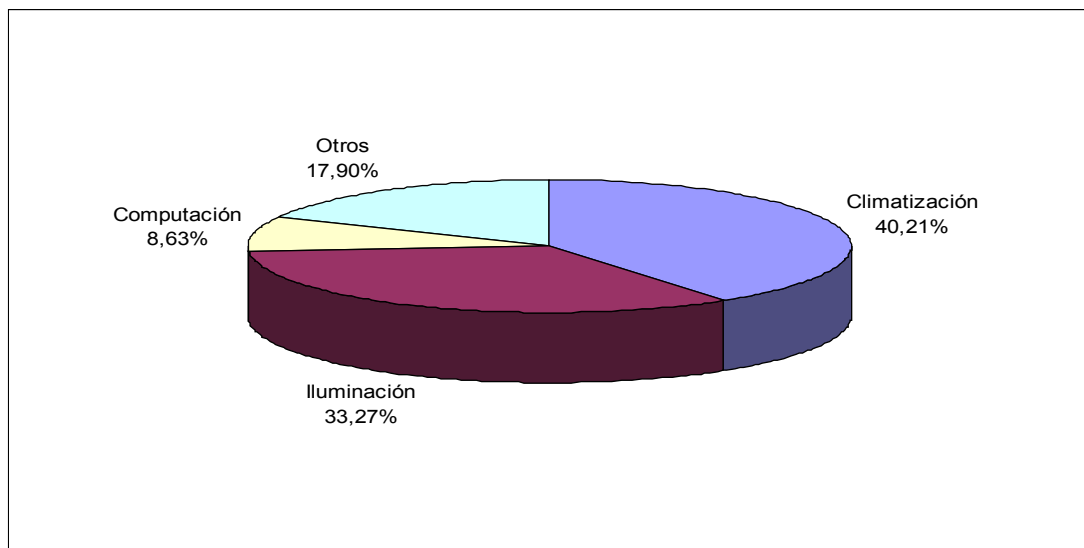


Gráfico 70: Caracterización del consumo anual de energía de la muestra.

La climatización es la que se lleva una mayor parte en el consumo, es en este punto donde hay que poner énfasis, pues depende de la calidad, eficiencia y grado de mantención de los equipos empleados. La utilización por parte de los usuarios también es importante, para ello se debe establecer temperaturas de confort, ni muy altas ni muy bajas, alrededor de 20 °C en invierno y 25 °C en verano, se debe tener en cuenta que por cada grado por encima de 20 °C estará gastando de forma innecesaria un 5% más de energía en calefacción, y cada grado que haya por debajo de los 25 °C estará gastando un 8 % más de energía en refrigeración.

La iluminación toma un segundo lugar en el consumo de energía, aquí las acciones sugeridas son la instalación de sensores de presencia y fotocélulas. Además del recambio de ampolletas.

Y en cuarto lugar, luego de Otros, esta el uso de equipos de computación, la instalación de pantallas planas, así como la configuración en modo de ahorro puede llevar a reducciones importantes del consumo. Como se puede observar, esta medida es exclusiva de los usuarios.

Los indicadores anuales promedio de energía son los siguientes:

Tabla 52: Indicadores de energía para la muestra en kWh/m².

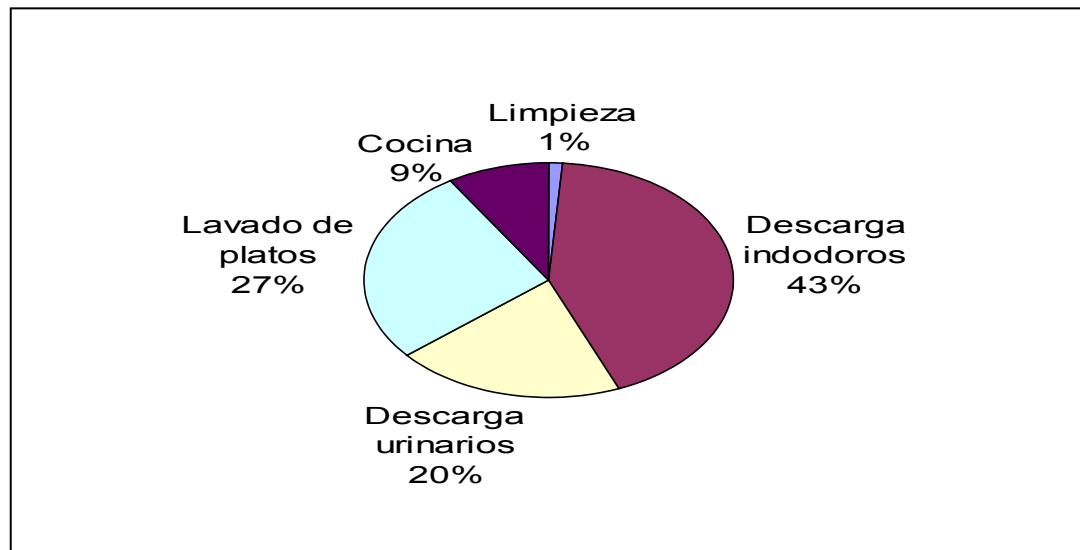
Refrigeración	Calefacción	Climatización	Iluminación	Computación	Otros
32,80	38,81	80,31	40,51	19,76	17,79

Cabe mencionar que estos indicadores se calcularon con distintas superficies, así se asegura una mejor representatividad.

Para el consumo total de energía el indicador promedio anual es de 180,77 kWh/m². En cuanto a la comparación de este indicador por establecimiento puede llevar a conclusiones erradas en cuanto a la eficiencia; por ejemplo supongamos un edificio sin ningún sistema de climatización, su indicador será más bajo que otro que tiene ese sistema, por lo tanto se podría deducir que este establecimiento es el mejor de todos por su bajo indicador. Por esta razón sería interesante separar los edificios por tipos de

equipos utilizados y estudiar la influencia de éstos, para este estudio no valía la pena hacer esta separación debido a la reducida muestra.

En cuanto al consumo anual de agua sanitaria su indicador es de $1,55 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Para este consumo no se realizó una caracterización debido a que sólo representa el uso de baños y cocinas. Sin embargo estudios internacionales lo caracterizan como sigue:



Fuente: CIRIA. "Key Performance Indicators for water use in offices". Reino Unido, 2006.

Gráfico 71: Caracterización del consumo de agua.

Al comparar los índices encontrados con estándares internacionales se observó distintas exigencias en los diferentes países estudiados, produciendo para un edificio clasificaciones distintas ocupando criterios diferentes. Las razones de esta diferencia se deben principalmente al clima y las exigencias que coloca cada país para establecer parámetros de eficiencia energética. Por esta razón resulta necesario fijar propios parámetros de eficiencia, pero siempre teniendo en cuenta lo exigido en otros países, así se tendrá en cuenta nuestro clima y nuestra realidad.

En lo referente a la generación de propios indicadores de eficiencia, con una muestra de mayor tamaño los valores que definen las buenas prácticas, valor típico y uso excesivo de los consumos de energía y agua sanitaria serían más representativos, de todas formas, se presentan los siguientes para la muestra estudiada:

Tabla 53: Parámetros de eficiencia.

Consumo	Unidad	Buenas Prácticas	Valor Típico	Uso Excesivo
ENERGIA	kWh/m ²	165,36	185,95	203,07
AGUA	m ³ /m ²	1,07	1,48	1,68

Para los consumos caracterizados se tiene los siguientes parámetros de eficiencia:

Tabla 54: Parámetros de eficiencia para consumos caracterizados.

Consumo	Unidad	Buenas Prácticas	Valor Típico	Uso Excesivo
Refrigeración	kWh/m ²	29,13	32,81	36,48
Calefacción	kWh/m ²	31,69	38,81	45,93
Climatización	kWh/m ²	66,22	82,41	93,89
Iluminación	kWh/m ²	32,92	42,44	47,62
Computación	kWh/m ²	17,40	20,61	21,92
Otros	kWh/m ²	14,56	19,79	20,52

Para proyectar los consumos de refrigeración y calefacción se ideó una metodología basada en el método de mínimos cuadrados, cuyos resultados son siguientes:

- Modelo de Refrigeración:

$$y = 4.718,136 \cdot e^{(0,086 \cdot x_1 + 4,620 \cdot 10^{-5} \cdot x_2)} \quad (8)$$

- Modelo de Calefacción:

$$y = 589,561 \cdot x_1^{-1,481} \cdot x_2^{0,840} \quad (9)$$

donde y es el consumo en kWh, x₁ es la temperatura media mensual en °C y x₂ el área neta del establecimiento.

Estos modelos cumplen con las hipótesis del método y están avalados por el valor R². Si lo vemos por este valor, el modelo de refrigeración tiene una mejor correlación (R²=0,980) que el modelo de calefacción (R² = 0,774), este ultimo tiene una correlación más baja debido a que es una aproximación de otra aproximación.

Para los otros tipos de consumo (iluminación y computación) no se pudo obtener un modelo ya que la cantidad de datos permitía tener solo una variable predictiva, debido a esta limitación no valía la pena realizar el análisis. No obstante la metodología es la misma, solo se deben elegir las variables predictivas; por ejemplo para la iluminación las variables predictivas podrían ser el porcentaje de utilización de distintos tipos de luminarias, así mismo, para el caso de computación el porcentaje de utilización de pantallas normales, planas y notebooks.

El diseño de edificios es la parte crucial en la toma de decisiones para lograr el equilibrio entre confort y bajo consumo, es aquí donde se debe estudiar las inversiones y el tiempo de retorno de éstos para lograr niveles de eficiencia proyectados. Además de tener en cuenta en esta etapa factores como el tipo de climatización y equipos a utilizar, hay que tener presente la arquitectura pues se puede aprovechar la luz solar, corrientes de aire, etc. Una buena disposición de los espacios en una determinada ubicación geográfica, la forma del edificio y los parámetros constructivos (aislaciones, cristales, etc.) contribuyen a una disminución del consumo y aumento del confort térmico y acústico.

Sobre el diseño se sugiere:

- Lograr una buena coordinación entre la arquitectura y el sistema de climatización y extracción con la finalidad de disminuir el consumo y aumentar el confort.
- Terminar con la tendencia arquitectónica actual de edificios completamente vidriados en su envolvente. Aunque se coloquen termopaneles, cuya transmitancia se reduce en promedio un 34% con respecto a vidrio normal, su valor continúa siendo elevado.
- Tomar en cuenta si consideramos un tercio de la envolvente compuesta por muros con aislación térmica se mejora la transmitancia de la envolvente y con ello disminuciones en el consumo. Por esta razón la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en el artículo 4.1.10, definen un porcentaje máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente, para vidrios monolíticos y doble vidriado hermético con distintos valores de U.

En resumen, las principales conclusiones de este estudio son:

- 1- Existen marcadas diferencias en la gestión energética de los edificios. Se necesita uniformidad y capacitación para una correcta gestión.
- 2- La mayor parte del consumo esta asociada a la climatización. Es aquí donde poner énfasis en la calidad, eficiencia, mantención y buen funcionamiento de lo equipos.
- 3- El indicador kWh/m² no muestra la relación entre eficiencia y confort pues esconde el grado de habitabilidad de los edificios. Por eso es necesario agrupar los edificios de características similares.
- 4- Se deben fijar propios parámetros de eficiencia energética para este tipo de edificación.
- 5- La etapa de diseño es fundamental para prevenir futuros excesos de consumo. Se debe lograr un equilibrio entre la arquitectura y el tipo de instalaciones a utilizar.

En trabajos futuros se debería corregir ciertas falencias que en este estudio se detectaron, como por ejemplo:

- Lograr una mejor cooperación entre la corporación a realizar el estudio y administradores.
- Que los administradores o jefes de operaciones realicen gestiones con los usuarios de los edificios para que estén dispuestos a colaborar.
- Tanto administradores como usuarios tomen conciencia de los potenciales niveles de ahorro que pueden obtener con estudios de este tipo.
- Dedicar más tiempo a este tipo de estudio aumentando en forma considerable el tamaño de la muestra para obtener indicadores que realmente representen a la población de edificios de oficina de Santiago.

Por último realizar este tipo de estudios en distintas zonas geográficas del país, así se tendrá una visión mas completa del comportamiento de esta tipología.

Referencias bibliográficas

- [1] AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA. 2007. Guía de ahorro y eficiencia energética en los municipios de la comunidad valenciana. Valencia, España. 13p.
- [2] PROGRAMA PAÍS EFICIENCIA ENERGÉTICA [en línea] <<http://www.programapaiseficienciaenergetica.cl/>> [consulta: 20 abril 2008]
- [3] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Balance Nacional de Energía [en línea] <http://www.cne.cl/archivos_bajar/balances/BNE2007.xls> [consulta: 1 septiembre de 2008]
- [4] VERGARA, MARÍA ANGÉLICA. 2005. Sustentabilidad: La respuesta responsable a la Crisis energética. Alumundo (16):24-27.
- [5] PROGRAMA DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES EN ENERGÍA. 2003. Consideraciones acerca del concepto de eficiencia energética [en línea] Santiago. <http://www.prien.cl/documentos/GTZ_Eficiencia%20y%20desarrollo.pdf> [consulta: 9 mayo 2008]
- [6] MILIARIUM, INGENIERÍA CIVIL Y MEDIO AMBIENTE. Eficiencia energética y energías renovables [en línea] <http://www.miliarium.com/monografias/Energia/Eficiencia_Energetica_Renovables/Welcome.htm> [consulta: 9 mayo 2008]
- [7] PROGRAMA PAÍS EFICIENCIA ENERGÉTICA [en línea] <<http://www.programapaiseficienciaenergetica.cl/>> [consulta: 9 mayo 2008]
- [8] COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. Energía y medio ambiente: Eficiencia energética [en línea] <http://www.cne.cl/medio_amb/eficiencia.php> [consulta: 9 mayo 2008]
- [9] ALEXANDER CIFUENTES. Benchmarking [en línea] <<http://www.monografias.com/trabajos10/bench/bench2.shtml>> [consulta: 30 abril 2008]
- [10] Asociación nacional de Pymes. México, [en línea] <http://www.contactopyme.gob.mx/benchmarking/conceptos/ben_mod.asp> [consulta: 30 abril 2008]
- [11] GUSTAVO MORALES. Benchmarking [en línea] <<http://www.monografias.com/trabajos3/bench/bench.shtml>> [consulta: 30 abril 2008]
- [12] AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA. 2007. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana. Valencia, España. 2p.
- [13] FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. 2007. Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos. Madrid, España. 5p.
- [14] ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES DEPARMENT [en línea] <<http://www.emsd.gov.hk/emsd/eng/about/index.shtml>> [consulta: 04 Agosto 2008]

- [15] ELECTRICAL AND MECHANICAL SERVICES DEPARTMENT [en línea] <<http://www.emsd.gov.hk/emsd/eng/pee/classa.shtml>> [consulta: 04 Agosto 2008]
- [16] CARBON TRUST [en línea] <<http://www.carbontrust.co.uk/about/>> [consulta: 05 Agosto 2008]
- [17] CIRIA [en línea] <<http://www.ciria.org.uk/about.htm>> [consulta: 05 Agosto 2008]
- [18] EXERGY AUSTRALIA [en línea] <<http://www.xgl.com.au/about/index.html>> [consulta: 05 Agosto 2008]
- [19] ENERGY STAR. Portfolio Manager – Quick Reference Guide – Offices Building [en línea] <http://www.energystar.gov/ia/business/comm_real_estate/downloads/quick_ref_guide.pdf> [consulta: 05 Agosto 2008]
- [20] TBE CHILE. Junio 2006. Eficiencia Energética en Chile – Estudio: Auditoría Energética para el Edificio Institucional de Teatinos 120. Santiago de Chile. 11p.
- [21] CONFIGURAR EQUIPOS. Consumo de un ordenador [en línea] <<http://www.configurarequijos.com/doc900.html>> [consulta: 24 agosto de 2008]
- [22] DANIEL CLEMENTE. ¿Cuánto gasta un ordenador? [en línea] <<http://www.danielclemente.com/consumo/>> [consulta: 24 agosto de 2008]
- [23] RECAL CHILE, EQUIPOS DE CLIMATIZACIÓN. Fancoil [en línea] <http://www.recal.cl/fancoil_fan_coil.html> [consulta: 24 agosto de 2008]
- [24] BUILDING RESEARCH ENERGY CONSERVATION SUPPORT UNIT. 2000. Energy use in Offices. Reino Unido. 22p.
- [25] MINVU. Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica [en línea] <http://www.minvu.cl/opensite_20070314093355.aspx> [consulta: 3 de Septiembre 2008]
- [26] HOMCENTER SODIMAC. Ampolletas, tubos. [en línea]. <http://www.sodimac.cl/webapp/commerce/command/CategoryDisplay?cgnbr=catt11-10&cgmenbr=542&area=492475&depto=102184&Area_Familia=cattiluminacion&Path_Familia=Mundolluminacion&ubic=102184&ubicdpto=102184> [Consulta: 22 Julio 2008]
- [27] TBE CHILE. Junio 2006. Eficiencia Energética en Chile – Estudio: Auditoría Energética para el Edificio Institucional de Teatinos 120. Santiago de Chile. 22p.
- [28] TBE CHILE. Junio 2006. Eficiencia Energética en Chile – Estudio: Auditoría Energética para el Edificio Institucional de Teatinos 120. Santiago de Chile. 38p.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA. 2007. Guía de ahorro y eficiencia energética en los municipios de la comunidad valenciana. Valencia, España. pp. 194
2. AGENCIA VALENCIANA DE LA ENERGÍA. 2007. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética de la Comunidad Valenciana. Valencia, España. pp. 18
3. BUILDING RESEARCH ENERGY CONSERVATION SUPPORT UNIT. 2007. Energy use in Offices. Reino Unido. pp. 23
4. CANAVOS, G. C. 1984. Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. México, McGraw-Hill. pp. 652
5. CIRIA. 2006. Key Performance Indicators for water use in offices. Reino Unido. pp. 22
6. COMUNIDAD DE MADRID. 2007. Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Oficinas y Despachos. Madrid, España. pp. 331
7. EXERGY. 2005. Water Benchmarks for Offices and Publics Building. Australia. pp. 24
8. LARRAÍN VIAL, S. A. 2007. Aplicación metodológica para la determinación del desempeño energético en hoteles. Memoria de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
9. MACKENZIE HILL. Diciembre 2007. Mercado de oficinas. Santiago, Chile. pp. 16
10. MILLER, I. R.; FREUND, J. E. Y JOHNSON, R. Probabilidad y estadística para ingenieros. 1988. 4ª ed. México, Prentice Hall. Pp. 625.
11. PAREJA FERNANDEZ, P. A. 2007. Desarrollo de índice de desempeño del consumo energético y de agua sanitaria en edificios de oficina de Santiago. Memoria de Ingeniero Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

12. TBE CHILE. Junio 2006. Eficiencia Energética en Chile – Estudio: Auditoría Energética para el Edificio Institucional de Teatinos 120. Santiago de Chile. pp. 43
13. CHILE. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 2008. Ley 20.251: Ley General de Urbanismo y Construcciones. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, septiembre 2008.

<http://www.cne.cl>

<http://www.minvu.cl>

<http://www.ppee.cl/>

<http://www.mackenziehill.com/>

<http://www.aven.es/>

<http://www.madrid.org>

<http://www.emsd.gov.hk>

<http://www.cibse.org>

<http://www.carbontrust.co.uk>

<http://www.ciria.org>

<http://www.xgl.com.au>

<http://www.environment.gov.au>

<http://www.energystar.gov/>

ANEXO 1: ENCUESTA DE BENCHMARKING

ENCUESTA DE BENCHMARKING

Indicadores de Eficiencia Energética en Edificios de Oficina



A.- IDENTIFICACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO	
Nombre Comercial: _____	
Dirección: _____ (Calle) (Nº) (Comuna)	
E-mail Contacto: _____	Teléfono: _____
Datos Representate Legal:	
Nombre: _____	Teléfono: _____
Cargo: _____	E-mail: _____

B.- ANTECEDENTES Y DIMENSIONES DEL ESTABLECIMIENTO	
Año Construcción: _____	
Superficie Total: _____ (m2)	
Número de Pisos Edificio: _____	
Número de Pisos Subterráneos: _____	

C.- CARACTERÍSTICAS DEL ESTABLECIMIENTO	
Número Total de Oficinas: _____	
Marcar en caso de existir:	
Ascensores: <input type="checkbox"/>	Nº de Ascensores: _____
Estacionamientos: <input type="checkbox"/>	

D.- CARACTERÍSTICAS PISOS

	N° pisos	I	II	III	IV	V
	i al j	[m ²]	[m ²]	n°	[m ²]	[m]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						

Nombre/Descripción Piso Tipo:

1 _____	6 _____	11 _____
2 _____	7 _____	12 _____
3 _____	8 _____	13 _____
4 _____	9 _____	14 _____
5 _____	10 _____	15 _____

- I** Superficie Total Piso
- II** Superficie Oficina Tipo
- III** Número de Oficinas por Piso
- IV** Superficie Pasillos
- V** Altura Piso

E.- CARACTERÍSTICAS OTROS ESPACIOS

Indicar suma total en metros cuadrados de espacios de uso común calefaccionados y/o con aire acondicionado:

Hall de Acceso:	_____	m ²
Comercio	_____	m ²
Otros:		
_____	_____	m ²
_____	_____	m ²
_____	_____	m ²

F.- CARACTERISRICAS DE LA ENVOLVENTE

Marcar selección con una X

Tipos de cristales

Cristal simple

Cristal doble

Cristal triple

Otro: _____

Tipo de carpintería

Tipo de Sistema:

Carpintería de madera

Carpintería de aluminio

Carpintería de PVC

Aislación térmica en muros y antepechos

Tiene

No tiene

G.- CARACTERIZACIÓN SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Marcar selección con una X

Sistema:

- Caldera
- Bomba de Calor
- Estufa
- Chimenea tipo Bosca

Otro: _____

Año de instalación de los equipos: _____

Tipo de Sistema:

- 1.- a.- Individual
- b.- Colectivo
- 2.- a.- Regulado en Oficina
- b.- No regulado en Oficina

Tipo de Caldera: (sólo si sistema de calefacción es a través de Caldera)

- 1.- Caldera Combinada (calefacción y producción de agua caliente)
- 2.- a.- Calefacción Radial (circulación agua caliente a través del piso)
- b.- Calefacción por Placas (ubicadas en la pared):

Fuente de Energía:

- Electricidad
- Gas Natural
- Gas Licuado Propano - Butano (GLP)
- Combustible
- Leña
- Solar

Combustible: _____

Otro: _____

Período de Funcionamiento del Sistema:

- 1.- Todo el Año
- 2.- Por Período

2.1.- Fecha Inicio Funcionamiento: _____
2.2.- Fecha Término Funcionamiento: _____

Rango Potencia Equipo _____ kW

G.- CARACTERIZACIÓN SISTEMA DE CALEFACCIÓN (continuación...)

Breve Descripción del Sistema:

H.- CARACTERIZACIÓN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Marcar selección con una X

Sistema:

- Bomba de Calor
- Equipo de ventana
- Equipo Split
- Equipo portátil
- Ventilador

Otro: _____

Año de instalación de los equipos: _____

Tipo de Sistema:

- 1.- a.- Individual
- b.- Colectivo
- 2.- a.- Regulado en Oficina
- b.- No regulado en Oficina

Fuente de Energía:

- Electricidad
- Gas Natural
- Gas Licuado Propano - Butano (GLP)
- Combustible
- Agua

Combustible: _____

Otro: _____

Período de Funcionamiento del Sistema:

- 1.- Todo el Año
- 2.- Por Período

2.1.- Fecha Inicio Funcionamiento: _____

2.2.- Fecha Término Funcionamiento: _____

H.- CARACTERIZACIÓN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN (continuación)

Rango Potencia Equipo _____ kW

Breve Descripción del Sistema:

J.- CONSUMOS ENERGÉTICOS OPERACIONALES

MES	ELECTRICIDAD		GAS	
	kWh	\$	m3	\$
1 Ene-07				
2 Feb-07				
3 Mar-07				
4 Abr-07				
5 May-07				
6 Jun-07				
7 Jul-07				
8 Ago-07				
9 Sep-07				
10 Oct-07				
11 Nov-07				
12 Dic-07				

MES	AGUA SANITARIA		COMBUSTIBLE	
	m3	\$	Lt.	\$
1 Ene-07				
2 Feb-07				
3 Mar-07				
4 Abr-07				
5 May-07				
6 Jun-07				
7 Jul-07				
8 Ago-07				
9 Sep-07				
10 Oct-07				
11 Nov-07				
12 Dic-07				

Tipo de Combustible (Petróleo, Parafina etc.): _____



LUMINARIAS DE ESPACIOS COMUNES				
Iluminación				
Piso	Tipo	Nº	Potencia [W]	Tiempo de encendido
_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____

CARACTERÍSTICAS DE OFICINAS

OFICINA _____

Superficie m2 _____

	N°	Potencia [W]	Tiempo de Funcionamiento Diario
Ampolletas	_____	_____	_____
	_____	_____	_____
	_____	_____	_____
Computadoras	_____	_____	_____
Impresoras	_____	_____	_____
	_____	_____	_____
Data Show	_____	_____	_____
Aire Acondicionado	_____	_____	_____
	_____	_____	_____
Calefacción	_____	_____	_____
	_____	_____	_____

Marcar en caso de existir:

Baños: N° de Baños: _____

Cocina:

Calefacción y refrigeración

Equipos de frío-calor, especificar

llenar solo si el edificio no tiene sistema centralizado de climatización

Cantidad	Tipo (bomba de calor o con resistencia eléctrica)	Modelo (ventana o split)	Potencia (W)	Eficiencia	Capacidad (BTU/hr)	Año adquisición

ANEXO 2: FÓRMULAS DE CÁLCULOS DE CONSUMOS ENERGÉTICOS

- Potencia en corriente continua:

$$P = V \cdot I \quad (11)$$

P: potencia en watt (W).

V: diferencia de potencial en volts (V), normalmente 220 V.

I: intensidad de corriente en Amper (A)

- Potencia trifásica:

$$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (12)$$

P: potencia en Watt (W).

V: diferencia de potencial en volts (V), normalmente 380 V.

I: intensidad de corriente en Amper (A).

- Consumo de energía:

$$E = P \cdot t \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

E: energía consumida en kilowatt-hora (kWh).

P: potencia nominal en watt (W).

t: tiempo de operación en horas (h).

ANEXO 3: ESTADÍSTICA

3.1.- Medidas de posición.

Las medidas de posición son unos estadísticos que sintetizan la información sobre datos que se analizan, facilitando su manejo. Una medida de posición es un indicador que se usa para señalar que porcentaje de datos dentro de la muestra se encuentra a un lado y al otro del mismo.

Entre estas medidas se encuentra:

- Cuartiles: se denotan usualmente como Q_1 , Q_2 , Q_3 , en los cuales queda por debajo un 25%, 50% y 75% de los datos, respectivamente.
- Deciles: se denotan como D_1 , D_2, \dots, D_9 , en los cuales queda por debajo un 10%, 20%, ..., 90% de los datos, respectivamente.
- Percentiles: se denotan como P_i , en los cuales queda por debajo un $i\%$ de los datos. El valor de i toma valores de 1 a 99.

Antes de ejemplificar el cálculo de percentiles, se debe explicar lo que es una tabla de frecuencias.

Tabla de frecuencias:

Una tabla de frecuencias es una ordenación en forma de tabla de los datos estadísticos, asignando su frecuencia correspondiente.

Principalmente existen dos tipos de frecuencia:

- *Frecuencia absoluta*: número de veces que aparece un determinado valor en un estudio estadístico. Se representa por f_i .

La suma de las frecuencias absolutas es igual al total de datos:

$$\sum_{i=1}^n f_i = N \quad (14)$$

- *Frecuencia acumulada*: es la suma de las frecuencias absolutas de todos los valores inferiores o iguales al valor considerado. Se representa por F_i

$$F_j = \sum_{i=1}^j f_i \quad (15)$$

Cálculo de percentiles

Para datos agrupados en tablas de frecuencia, se calculan mediante la fórmula:

$$P_k = L_k + \frac{k \cdot \left(\frac{N}{100} \right) - F_k}{f_k} \cdot c_k \quad (16)$$
$$k = 1, 2, 3, \dots, 99$$

P_k : percentil k .

L_k : límite real inferior de la clase del percentil k .

N : número de datos.

F_k : frecuencia acumulada de la clase que antecede a la clase del percentil k .

f_k : frecuencia absoluta de la clase del percentil k .

c_k : longitud del intervalo de la clase k .

Ejemplo:

Consideremos la siguiente tabla de frecuencias:

Clase	Intervalo	f_i	F_i
1	[50,60)	8	8
2	[60,70)	10	18
3	[70,80)	16	34
4	[80,90)	14	48
5	[90,100)	10	58
6	[100,110)	5	63
7	[110,120)	2	65

$N = 65$.

- Percentil 35:

$$\frac{65 \cdot 35}{100} = 22,75$$

De este valor se deduce que el percentil 35 está en la clase 3. Aplicando la fórmula se tiene:

$$P_{35} = 70 + \frac{22,75 - 18}{16} \cdot 10 = 72,97$$

De esta forma se procede para otros percentiles.

Existen programas computacionales que a una serie de datos son capaces de calcular los percentiles requeridos.

En el caso de MATLAB, se requiere ingresar dos vectores, uno con los datos a procesar y el otro con valores enteros comprendidos entre 1 y 100. Por ejemplo:

```
x=[7,12,4,8,3,10,11,5,13,1,12,3,5,1,17,4,8,8,7,19,8,1,7]; // vector de datos.  
y=[15,25,60,80]; // vector de percentiles.
```

```
prctile(x,y) // función que calcula los percentiles de x especificados en el
              vector y.
```

```
ans =
```

```
2.9000 4.0000 8.0000 11.9000 // percentiles del vector.
```

Para calcular todos los percentiles se creó una función en MATLAB, tiene como input el vector de datos y output un vector con los 100 percentiles. Esta función es la siguiente:

```
function p = percentiles(muestra)
for i = 1:100
    y(i) = i;
end
p=prctile(muestra,y);
```

Luego en el panel de comandos del programa se ejecuta:

```
Z=percentiles(x);
```

3.2.- Prueba de hipótesis estadísticas.

Una hipótesis estadística es una afirmación con respecto a alguna característica desconocida de una población de interés. La esencia de probar una hipótesis estadística es el decidir si la afirmación se encuentra apoyada por la evidencia experimental que se obtiene a través de una muestra aleatoria.

La afirmación se le llama *hipótesis nula* y se escribe como H_0 . La hipótesis nula debe considerarse como verdadera a menos que exista suficiente evidencia en contra.

Las posibles decisiones que se pueden tomar con la hipótesis nula H_0 se resumen en la siguiente tabla:

	<i>Se acepta H_0</i>	<i>Se rechaza H_0</i>
<i>H_0 verdadera</i>	Decisión correcta	Error de tipo I
<i>H_0 falsa</i>	Error de tipo II	Decisión correcta

No pueden cometerse ambos errores en forma simultánea. Las decisiones con respecto a una hipótesis estadística es un proceso inferencial y siempre se encuentra sujeto a un error. La decisión de rechazar H_0 no necesariamente significa que H_0 sea falsa; pero la evidencia muestra con base en la cual se toma la decisión proporciona un grado de confiabilidad con el que se puede proceder como si H_0 es fuese falsa.

La probabilidad de rechazar H_0 , dado que H_0 es cierta, se define como la probabilidad (o tamaño) del error de tipo I y se denota por α , $0 \leq \alpha \leq 1$.

La probabilidad de no rechazar H_0 , dado que H_0 es falsa, se define como la probabilidad (o tamaño) del error de tipo II y se denota por β , $0 \leq \beta \leq 1$.

Para construir una regla de decisión apropiada en la prueba de hipótesis estadística, también es necesario establecer una *hipótesis alternativa* que refleje el valor posible o intervalo de valores del parámetro de interés si la hipótesis nula es falsa.

Para abordar problemas consistentes en probar hipótesis de manera sistemática, sería útil proceder como se esboza en las siguientes cinco etapas:

- 1- Formulamos una hipótesis nula siempre y una hipótesis alterna apropiada que aceptamos cuando la hipótesis nula debe ser rechazada.
- 2- Especificamos la probabilidad de un error de Tipo I; si es posible, conveniente o necesario, podemos especificar también las probabilidades de errores del Tipo II para alternativas particulares.

La probabilidad de un error de Tipo I se denomina también **nivel de significancia**, y comúnmente está fijado en $\alpha = 0,05$ ó $\alpha = 0,01$.

- 3- Con base en la distribución muestral de un estadístico apropiado, construimos un criterio para probar la hipótesis nula contra la alternativa determinada.

- 4- Calculamos de los datos el valor del estadístico sobre el cual se basa la decisión.
- 5- Decidimos rechazar la hipótesis nula, aceptarla o nos abstenemos de tomar una decisión.

3.3.- Método mínimos cuadrados.

Dada una muestra aleatoria de observaciones Y_1, Y_2, \dots, Y_n en los puntos de observación $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1k}, x_{21}, x_{22}, \dots, x_{2k}, \dots, x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nk}$, respectivamente, con base en el modelo lineal general, se tienen las n ecuaciones siguientes:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (17)$$

$$i = 1, \dots, n$$

Matricialmente se tiene: $Y = X\beta + \varepsilon \quad (18)$

El método de los mínimos cuadrados consiste en hacer mínima la suma de los cuadrados residuales, o también llamados perturbaciones (ε_i), es decir, encuentra los estimadores que hagan que esta suma sea lo más pequeña posible. Para esto se igualan a cero las derivadas parciales de cada ε_i^2 con respecto a cada estimador ($\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$), obteniéndose n ecuaciones denominadas *ecuaciones normales* de la forma:

$$(X'X)B = X'Y \quad (19)$$

Donde B es un vector de los estimadores de mínimos cuadrados de β , finalmente si $(X'X)$ tiene inversa, la solución para B esta dada por:

$$B = (X'X)^{-1} X'Y \quad (20)$$

Hipótesis del modelo

Hipótesis 1: *El modelo es lineal tanto en los parámetros como en las variables.*

Esto es, las variables entran en el modelo de forma lineal ya sea en sus variables originales ó ya sea después de alguna transformación previa y los parámetros asociados a dichas variables también aparecen de forma lineal. Esta hipótesis es fundamental debido a que si el modelo no cumple este supuesto habrá que utilizar técnicas no lineales que suponen un mayor grado de complicación que los lineales. Por ejemplo, el modelo $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$ es lineal mientras que el modelo $y = \beta_1 x^{\beta_2} + \varepsilon$ no es una relación lineal.

Hipótesis 2: Regresores no estocásticos.

Las observaciones de x_i son fijas en muestras repetidas, lo que equivale a realizar el análisis estadístico condicionado a la muestra que se ha observado. De este modo, sólo se supone que el modelo de regresión y sus supuestos se aplican al conjunto particular de las x que se han observado. Así, la matriz X definida es de constantes conocidas.

Hipótesis 3: La esperanza de las perturbaciones condicionada a la información es cero.

$$E[\varepsilon_i] = 0$$

Este supuesto conlleva que las observaciones de x no contienen información sobre el valor esperado de ε_i . El hecho de que la media condicionada sea cero implica que la media no condicionada sea también nula. Utilizando la ley de esperanzas iteradas

$$E[\varepsilon_i] = E_x[E[\varepsilon_i / x]] = E_x[0] = 0$$

A partir de este supuesto se deduce:

$$Cov(x, \varepsilon) = Cov(x, E[\varepsilon / x]) \Rightarrow Cov(x, \varepsilon) = 0$$

El incumplimiento de esta hipótesis afectará a la insesgadez de los estimadores, que será una de las propiedades deseables de los estimadores.

Hipótesis 4: Las perturbaciones son esféricas.

Este supuesto se refiere a que las perturbaciones presentan varianza constante y están incorreladas entre sí. Esta hipótesis encierra dos supuestos:

4.1- Perturbaciones homocedásticas: $Var(\varepsilon_i / x) = \sigma_\varepsilon^2$ para $i=1,2,\dots,n$ y

4.2- Perturbaciones incorreladas o ausencia de autocorrelación: $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j / x) = 0$ para $i \neq j$.

Si se satisface esta hipótesis, se dice que las perturbaciones son esféricas.

Hipótesis 5: *Las perturbaciones recogidas en ε de distribuyen en forma normal.*

Esta hipótesis se establece por conveniencia, debido a que las derivaciones de los contrastes son mucho más sencillas. Además permite la estimación del modelo lineal y gaussiano por máxima verosimilitud.

Hipótesis 6: *El número de observaciones debe ser mayor que el número de parámetros a estimar.*

Las cantidad de las observaciones de la variable respuesta Y_i ($i = 1, \dots, n$) debe ser mayor en una unidad a la cantidad de regresores x_j , es decir, se debe cumplir que $n > j + 1$

3.3.1.- Test de hipótesis sobre el modelo de mínimos cuadrados.

Se deben realizar distintos test para el método de mínimos cuadrados. Con éstos se descartan parámetros no significativos y se verifican las hipótesis del método.

Test sobre β_i :

$$H_0: \beta_i = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0, \text{ para algún } \beta_i$$

p-valor $< \alpha$ se rechaza H_0

p-valor $> \alpha$ NO se rechaza H_0

Este test verifica la relación entre la variable respuesta con los regresores, pues en el caso que algún coeficiente β sea 0, no existe relación con el regresor asociado a aquel coeficiente.

Test de normalidad:

H_0 : Residuos siguen una distribución normal.

H_1 : Residuos no siguen una distribución normal.

p-valor $< \alpha$ se rechaza H_0

p-valor $> \alpha$ NO se rechaza H_0

Este test busca verificar la hipótesis 5.

Test de Durbin-Watson:

Busca detectar errores de autocorrelación (los residuos siguen algún patrón), es decir la hipótesis 4.2. La suposición es que los errores forman una serie autoregresiva de primer orden: $\varepsilon_t = \rho\varepsilon_{t-1} + \eta_t$, con η error aleatorio puro que no se encuentra correlacionado con ninguna componente. Para este modelo, se planean las hipótesis:

H_0 : $\rho = 0$.

H_1 : $\rho > 0$.

Se calcula un valor de esta estadística a partir de la expresión:

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (21)$$

Durbin y Watson tabularon los límites inferior y superior d_L y d_U , respectivamente, para probar H_0 . Estas tablas se encuentran al final del anexo y están en función de α ($\alpha = 0,005$), tamaño n de la muestra y el número k de regresores. Dados estos límites, la decisión para H_0 se toma de la siguiente forma:

Si $d < d_L$, rechazar H_0 .

Si $d > d_U$, no se puede rechazar H_0 .

Si $d_L < d < d_U$, la prueba no es concluyente.

Test de Breusch-Godfrey:

También se ocupa para probar la hipótesis 4.2 (no existencia de autocorrelación).

H_0 : No hay autocorrelación de orden p (número de retardos).

H_1 : Hay autocorrelación.

p-valor $< \alpha$ se rechaza H_0

p-valor $> \alpha$ NO se rechaza H_0

Test de White:

Sirve para probar la hipótesis 4.1 (homocedasticidad).

H_0 : Existe homocedasticidad.

H_1 : No existe homocedasticidad.

p-valor $< \alpha$ se rechaza H_0

p-valor $> \alpha$ NO se rechaza H_0

3.3.1.1.- Corrección debido a la autocorrelación.

Cuando exista errores de autocorrelación se pueden ocupar métodos para corregir este problema. Uno de ellos es el enfoque de Cochrane y Orcutt, el cuál es un método iterativo que incluye la transformación de la variable respuesta y predicción en el modelo original.

Con los residuos obtenidos de la ecuación de regresión estimada originalmente se el siguiente valor:

$$r = \frac{\sum_{t=2}^n e_{t-1}e_t}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (22)$$

Luego los valores transformados:

$$\begin{aligned} y'_t &= y_t - ry_{t-1} \\ x'_{it} &= x_{it} - rx_{i(t-1)} \end{aligned} \quad (23)$$

Con estos valores transformados, se vuelve a calcular la regresión y la estadística de Durbin-Watson. Si no es posible rechazar la hipótesis nula de autocorrelación cero, el problema llega a su fin. De otra forma se repite hasta que H_0 no pueda rechazarse. Si se requiere más de una iteración, se sugiere buscar otros procedimientos.

Finalmente es necesario escribir la ecuación de regresión estimada en términos de las variables originales. Para ello se tiene los siguientes estimadores:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{b'_0}{1-r} \\ b_i &= b'_i \end{aligned} \quad (24)$$

3.3.1.2.- Límites de la estadística de Durbin-Watson.

ESTADÍSTICO d DE DURBIN-WATSON: PUNTOS DE SIGNIFICANCIA DE d_L Y d_U AL NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 0.05

n	$k' = 1$		$k' = 2$		$k' = 3$		$k' = 4$		$k' = 5$		$k' = 6$		$k' = 7$		$k' = 8$		$k' = 9$		$k' = 10$	
	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U	d_L	d_U
6	0.610	1.400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0.700	1.356	0.467	1.896	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	0.763	1.332	0.559	1.777	0.368	2.287	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	0.824	1.320	0.629	1.699	0.455	2.128	0.296	2.588	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	0.879	1.320	0.697	1.641	0.525	2.016	0.376	2.414	0.243	2.822	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	0.927	1.324	0.658	1.604	0.595	1.928	0.444	2.283	0.316	2.645	0.203	3.005	—	—	—	—	—	—	—	—
12	0.971	1.331	0.812	1.579	0.658	1.864	0.512	2.177	0.379	2.506	0.268	2.832	0.171	3.149	—	—	—	—	—	—
13	1.010	1.340	0.861	1.562	0.715	1.816	0.574	2.094	0.445	2.390	0.328	2.692	0.230	2.985	0.147	3.266	—	—	—	—
14	1.045	1.350	0.905	1.551	0.767	1.779	0.632	2.030	0.505	2.296	0.389	2.572	0.286	2.848	0.200	3.111	0.127	3.360	—	—
15	1.077	1.361	0.946	1.543	0.814	1.750	0.685	1.977	0.562	2.220	0.447	2.472	0.343	2.727	0.251	2.979	0.175	3.216	0.111	3.438
16	1.106	1.371	0.982	1.539	0.857	1.728	0.734	1.935	0.615	2.157	0.502	2.388	0.398	2.624	0.304	2.860	0.222	3.090	0.155	3.304
17	1.133	1.381	1.015	1.536	0.897	1.710	0.779	1.900	0.664	2.104	0.554	2.318	0.451	2.537	0.356	2.757	0.272	2.975	0.198	3.184
18	1.158	1.391	1.046	1.535	0.933	1.696	0.820	1.872	0.710	2.060	0.603	2.257	0.502	2.461	0.407	2.667	0.321	2.873	0.244	3.073
19	1.180	1.401	1.074	1.536	0.967	1.685	0.859	1.848	0.752	2.023	0.649	2.206	0.549	2.396	0.456	2.589	0.369	2.783	0.290	2.974
20	1.201	1.411	1.100	1.537	0.998	1.676	0.894	1.828	0.792	1.991	0.692	2.162	0.595	2.339	0.502	2.521	0.416	2.704	0.338	2.885
21	1.221	1.420	1.125	1.538	1.026	1.669	0.927	1.812	0.829	1.964	0.732	2.124	0.637	2.290	0.547	2.460	0.461	2.633	0.380	2.806
22	1.239	1.429	1.147	1.541	1.053	1.664	0.958	1.797	0.863	1.940	0.769	2.090	0.677	2.246	0.588	2.407	0.504	2.571	0.424	2.734
23	1.257	1.437	1.168	1.543	1.078	1.660	0.986	1.785	0.895	1.920	0.804	2.061	0.715	2.208	0.628	2.360	0.545	2.514	0.465	2.670
24	1.273	1.446	1.188	1.546	1.101	1.656	1.013	1.775	0.925	1.902	0.837	2.035	0.751	2.174	0.666	2.318	0.584	2.464	0.506	2.613
25	1.288	1.454	1.206	1.550	1.123	1.654	1.038	1.767	0.953	1.886	0.868	2.012	0.784	2.144	0.702	2.280	0.621	2.419	0.544	2.560
26	1.302	1.461	1.224	1.553	1.143	1.652	1.062	1.759	0.979	1.873	0.897	1.992	0.816	2.117	0.735	2.246	0.657	2.379	0.581	2.513
27	1.316	1.469	1.240	1.556	1.162	1.651	1.084	1.753	1.004	1.861	0.925	1.974	0.845	2.093	0.767	2.216	0.691	2.342	0.616	2.470
28	1.328	1.476	1.255	1.560	1.181	1.650	1.104	1.747	1.028	1.850	0.951	1.958	0.874	2.071	0.798	2.188	0.723	2.309	0.650	2.431
29	1.341	1.483	1.270	1.563	1.198	1.650	1.124	1.743	1.050	1.841	0.975	1.944	0.900	2.052	0.826	2.164	0.753	2.278	0.682	2.396
30	1.352	1.489	1.284	1.567	1.214	1.650	1.143	1.739	1.071	1.833	0.998	1.931	0.926	2.034	0.854	2.141	0.782	2.251	0.712	2.363
31	1.363	1.496	1.297	1.570	1.229	1.650	1.160	1.735	1.090	1.825	1.020	1.920	0.950	2.018	0.879	2.120	0.810	2.226	0.741	2.333
32	1.373	1.502	1.309	1.574	1.244	1.650	1.177	1.732	1.109	1.819	1.041	1.909	0.972	2.004	0.904	2.102	0.836	2.203	0.769	2.306
33	1.383	1.508	1.321	1.577	1.258	1.651	1.193	1.730	1.127	1.813	1.061	1.900	0.994	1.991	0.927	2.085	0.861	2.181	0.795	2.281
34	1.393	1.514	1.333	1.580	1.271	1.652	1.208	1.728	1.144	1.808	1.080	1.891	1.015	1.979	0.950	2.069	0.885	2.162	0.821	2.257
35	1.402	1.519	1.343	1.584	1.283	1.653	1.222	1.726	1.160	1.803	1.097	1.884	1.034	1.967	0.971	2.054	0.908	2.144	0.845	2.238
36	1.411	1.525	1.354	1.587	1.295	1.654	1.236	1.724	1.175	1.799	1.114	1.877	1.053	1.957	0.991	2.041	0.930	2.127	0.868	2.216
37	1.419	1.530	1.364	1.590	1.307	1.655	1.249	1.723	1.190	1.795	1.131	1.870	1.071	1.948	1.011	2.029	0.951	2.112	0.891	2.198
38	1.427	1.535	1.373	1.594	1.318	1.656	1.261	1.722	1.204	1.792	1.146	1.864	1.088	1.939	1.029	2.017	0.970	2.098	0.912	2.180
39	1.435	1.540	1.382	1.597	1.328	1.658	1.273	1.722	1.218	1.789	1.161	1.859	1.104	1.932	1.047	2.007	0.990	2.085	0.932	2.164
40	1.442	1.544	1.391	1.600	1.338	1.659	1.285	1.721	1.230	1.786	1.175	1.854	1.120	1.924	1.064	1.997	1.008	2.072	0.952	2.149
45	1.475	1.566	1.430	1.615	1.383	1.666	1.336	1.720	1.287	1.776	1.238	1.835	1.189	1.895	1.139	1.958	1.089	2.022	1.038	2.088
50	1.503	1.585	1.462	1.628	1.421	1.674	1.378	1.721	1.335	1.771	1.291	1.822	1.246	1.875	1.201	1.930	1.156	1.986	1.110	2.044
55	1.528	1.601	1.490	1.641	1.452	1.681	1.414	1.724	1.374	1.768	1.334	1.814	1.294	1.861	1.253	1.909	1.212	1.959	1.170	2.010
60	1.549	1.616	1.514	1.652	1.480	1.689	1.444	1.727	1.408	1.767	1.372	1.808	1.335	1.850	1.298	1.894	1.260	1.939	1.222	1.984
65	1.567	1.629	1.536	1.662	1.503	1.696	1.471	1.731	1.438	1.767	1.404	1.805	1.370	1.843	1.336	1.882	1.301	1.923	1.266	1.964
70	1.583	1.641	1.554	1.672	1.525	1.703	1.494	1.735	1.464	1.768	1.433	1.802	1.401	1.837	1.369	1.873	1.337	1.910	1.305	1.946
75	1.598	1.652	1.571	1.680	1.543	1.709	1.515	1.739	1.487	1.770	1.458	1.801	1.428	1.834	1.399	1.867	1.369	1.901	1.339	1.935
80	1.611	1.662	1.586	1.688	1.560	1.715	1.534	1.743	1.507	1.772	1.480	1.801	1.453	1.831	1.425	1.861	1.397	1.893	1.369	1.925
85	1.624	1.671	1.600	1.696	1.575	1.721	1.550	1.747	1.525	1.774	1.500	1.801	1.474	1.829	1.448	1.857	1.422	1.886	1.396	1.916
90	1.635	1.679	1.612	1.703	1.589	1.726	1.566	1.751	1.542	1.776	1.518	1.801	1.494	1.827	1.469	1.854	1.445	1.881	1.420	1.909
95	1.645	1.687	1.623	1.709	1.602	1.732	1.579	1.755	1.557	1.778	1.535	1.802	1.512	1.827	1.489	1.852	1.465	1.877	1.442	1.903
100	1.654	1.694	1.634	1.715	1.613	1.736	1.592	1.758	1.571	1.780	1.550	1.803	1.528	1.826	1.506	1.850	1.484	1.874	1.462	1.898
150	1.720	1.746	1.706	1.760	1.693	1.774	1.675	1.788	1.665	1.802	1.651	1.817	1.637	1.832	1.622	1.847	1.608	1.862	1.594	1.877
200	1.758	1.778	1.748	1.789	1.738	1.799	1.728	1.810	1.718	1.820	1.707	1.831	1.697	1.841	1.686	1.852	1.675	1.863	1.665	1.874