



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

**Estudio térmico del Edificio de Ingeniería Civil de la
Universidad de Chile**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

LUIS GUILLERMO MIRANDA OLAVE

PROFESOR GUÍA:

Miguel Bustamante S.

MIEMBROS DE LA COMISION:

GABRIEL RODRIGUEZ J.
CARLOS AGUILERA G.

SANTIAGO DE CHILE
OCTUBRE 2008

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE INGENIERO CIVIL
POR: LUIS MIRANDA OLAVE
FECHA: 23/04/2009
PROF. GUIA: SR. MIGUEL BUSTAMANTE S.

“Estudio térmico del Edificio de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile”

El presente trabajo de título tiene por finalidad estudiar el comportamiento térmico de edificios con fachada de vidrio ya construidos, los cuales presentan en la actualidad consumos importantes de energía y aún así no logran generar condiciones de confort térmico. Bajo condiciones de invierno son fríos y requieren de altos gastos de calefacción y bajo condiciones de verano son extremadamente calurosos, alcanzando fácilmente temperaturas por sobre los 30° C.

Conociendo el comportamiento empírico en este tipo de edificios, el trabajo se desarrolló bajo condiciones de verano. Se puso especial énfasis en el edificio de Ingeniería Civil de esta Universidad, el cual se instrumentó para cuantificar la respuesta térmica que ofrece.

De acuerdo al trabajo experimental realizado, puede concluirse que el uso excesivo de vidrio en las fachadas de los edificios permite el ingreso de una enorme cantidad de energía, incluso mayor a su consumo total diario, haciendo muy difícil la completa eliminación del calor acumulado mediante equipos de aire acondicionado.

Con el fin de mejorar el comportamiento térmico de este tipo de edificios, se analizaron diversas medidas de solución, tales como: fachadas ventiladas, cubiertas vegetales, incorporación de humedad al ambiente, ventilación nocturna, circulación del aire entre ambientes de los edificios e instalación de ventanas que permitan el intercambio de aire entre ambos ambientes.

Del estudio realizado se concluye que la mejor opción para ahorrar energía y obtener mejores condiciones de confort térmico en los edificios con fachada de vidrio es la ventilación nocturna. La demanda energética puede disminuirse fácilmente en un 30%. Se concluye además, la importancia que significa dar a conocer e incentivar el diseño bioclimático en las carreras de ingeniería y arquitectura, con lo cual se obtendrán diseños diferentes, acorde al estado del arte actual en esta materia, logrando con ello poder generar un mejor ambiente de trabajo para estos tipos de edificio y una mayor eficiencia energética.

Índice General de Contenidos

1. Antecedentes generales y conceptos.....	7
2. Conceptos básicos	9
2.1 Definiciones	9
2.2 Mecanismos de Transferencia de Calor	11
2.3 Efecto de invernadero.....	13
3. Importancia del confort térmico y eficiencia energética.....	15
3.1 Confort térmico	15
3.1.1 Temperatura del Aire	16
3.1.2 Humedad del Aire	16
3.1.3 Velocidad del Aire	17
3.1.4 Entorno Radiante	18
3.2 Eficiencia Energética	20
4. Técnicas de enfriamiento pasivo	24
4.1 Sistemas de acondicionamiento pasivo.....	24
4.1.1 Ventilación Natural y Forzada.....	25
4.1.3 Muros Trombe	27
4.1.4 Efecto Chimenea o Chimeneas Solares.....	29
4.1.5 Tubos Enterrados	29
4.1.6 Sistemas Evaporativos	31
4.1.7 Protección Solar	33
5. Construcción en Santiago y ejemplos de aplicaciones de técnicas de acondicionamiento pasivo.....	35
5.1 Santiago.....	35
5.1.1 Descripción del Clima de Santiago.....	35
5.1.2 Radiación Solar en Santiago	38
5.1.3 Ganancias Térmicas Asociadas al Uso.....	39
5.1.4 Comportamiento y Consumo Energético de los Edificios en Chile.....	39
5.2 Aplicaciones de técnica de Acondicionamiento Pasivo en Santiago.....	41
6. Antecedentes y Estudio Térmico del Edificio de Ingeniería Civil	50
6.1 Edificio ingeniería civil:	50
6.1.1 Descripción del edificio:	50
6.2.1 Sistema de Climatización del edificio y costos actuales	54
7. Análisis de Resultados Obtenidos (Mediciones).....	57

7.1 Mediciones.....	57
7.2 Análisis	67
8. Soluciones propuestas y Conclusiones.....	70
Bibliografía	74
ANEXO	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Aportes térmicos asociados a la iluminación	18
Gráfico 2: Relación entre la productividad y la temperatura del ambiente de trabajo	19
Gráfico 3: Relación entre el Crecimiento y el consumo energético de la U.E.	20
Gráfico 4: Relación entre el crecimiento y el consumo energético en Chile.....	21
Gráfico 5: Balance energético nacional 2007	22
Gráfico 6: Relación entre la velocidad de circulación de aire y el confort térmico.....	26
Gráfico 7: Eficiencia del sistema.....	32
Gráfico 8: Radiación Total en Superficies Verticales.....	38
Gráfico 9: Consumos promedio edificio Raúl Varela	43
Gráfico 10: Consumo promedio del edificio consorcio	45
Gráfico 11: Consumos promedio edificio Las industrias.....	47
Gráfico 12: Consumos promedio Edificio Pedro de Valdivia	47
Gráfico 13: Consumo en kWh durante el año 2006.....	54
Gráfico 14: Costo en UF del consumo eléctrico durante el año 2006	55
Gráfico 15: Fachada Poniente	58
Gráfico 16: Fachada Norte	59
Gráfico 17: Fachada Norte	60
Gráfico 18: Fachada Oriente	61
Gráfico 19: Fachada Poniente	62
Gráfico 20: Fachada Poniente	63
Gráfico 21: Fachada Poniente	64
Gráfico 22: Fachada Norte	65
Gráfico 23: Pasillos interiores del edificio en estudio	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre la temperatura y la longitud de onda	13
Figura 2: Efecto de invernadero	13
Figura 3: Muros trombe	28
Figura 4: Diseño de la chimenea solar	29
Figura 5: Diseño del uso de tubos enterrados	30
Figura 6: Esquema del sistema evaporativos	32
Figura 7: Ejemplo de doble cubierta vegetal	33
Figura 8: Elemento de sombra horizontal	34
Figura 9: Zonas térmicas en Chile	37
Figura 10: Termopanel	51

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Edificio Raúl Varela	7
Imagen 2: Tipos de elementos de sombra	34
Imagen 3: Edificio Raúl Varela	41
Imagen 4: Edificio Consorcio	44
Imagen 5: Edificio Las industrias	46
Imagen 6: Edificio Pedro de Valdivia	46
Imagen 7: Ejemplo de Fachada Ventiladas	48
Imagen 8: Ejemplo Fachada Ventiladas	49
Imagen 9: Edificio Ingeniería Civil de la Universidad de Chile	50
Imagen 10: Diseño interior del edificio en estudio	52
Imagen 11: Diseño interior del edificio en estudio	52
Imagen 12: Diseño interior del edificio en estudio	53
Imagen 13: Fachada norte del edificio en estudio	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Temperaturas y precipitaciones promedio.....	36
Tabla 2: Zonificación Térmica.....	37
Tabla 3: Resumen de consumos asociados al acondicionamiento térmico	40
Tabla 4: Características del Edificio de Ingeniería	51
Tabla 5: Envolverte del Edificio de Ingeniería Civil.....	54
Tabla 6: Resumen de Consumos en kWh y kWh/m ²	55
Tabla 7: Propiedades del Hormigón	71
Tabla 8: Potencial eliminación de calor a distintas temperaturas.....	72
Tabla 9: Calculo de ingreso de radiación	72

1. Antecedentes generales y conceptos

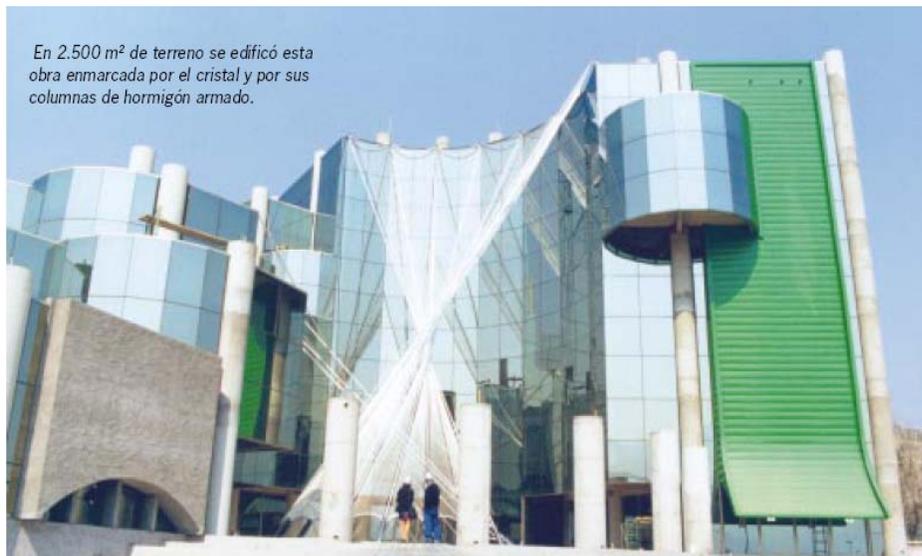
Introducción

En momentos en que la construcción sustentable esta tomando mayor fuerza y el déficit energético que sufre el país va en aumento, es necesario estudiar las soluciones que pueden implementarse en los edificios que presentan gran consumo de energía, con el fin de reducir los costos asociados a confort térmico.

Según estudios realizados, cerca del 25% de la energía que se requiere en el país es utilizada por el sector Comercial, Publico y Residencial. Las opciones que existen en la actualidad para un uso óptimo de energía junto con el desarrollo de la cada vez más importante, construcción sustentable, generan la necesidad de estudios donde se ofrezcan formas de enfrentar este desafío, generando soluciones de confort higrotérmico con bajo consumo de energía.

Un ejemplo claro de la aplicación de estas soluciones se encuentra en el edificio Raúl Varela, en el cual, gracias al uso de ideas innovadoras y tomando en cuenta el diseño bioclimático, se logró obtener condiciones de confort con un bajo costo.

Imagen 1: Edificio Raúl Varela



La demanda energética de Chile genera en la actualidad, una gran dependencia de las importaciones de la misma. Esta dependencia se debe al gran crecimiento de la economía nacional en los últimos años, el cual aumentó la demanda de energía primaria. Entre 1986 y 2000, la demanda de petróleo y sus derivados creció a una tasa promedio anual de 5,9%, y la demanda de electricidad en un 8,2%. La situación descrita es preocupante, la dependencia energética por fuentes puede sintetizarse de la manera siguiente: el país importa un 97% de sus necesidades de petróleo, un 84% de sus necesidades de carbón, y un 78% de sus necesidades de gas natural¹.

Al no haber antecedentes que indiquen que la demanda energética pueda reducirse en forma significativa, debido a la elevada tasa del país, y tomando en cuenta la importancia de la energía en el desarrollo del país, debe considerarse la opción de optimizar nuestros procesos y entre todos estos el sector construcción, en especial el acondicionamiento de espacios cerrados, genera una gran alternativa de ahorro energético. La mejora del llamado edificio enfermo (gran consumidor de energía en climatización), junto con la búsqueda de energías renovables, son los grandes retos que actualmente tiene el país. Iniciativas como el Edificio Raúl Varela son ejemplos de cómo el sector construcción puede colaborar a una mejor utilización de los recursos energéticos.

¹ Comisión Nacional de Energía

2. Conceptos básicos

Antes de la realización del siguiente estudio, es importante conocer los conceptos básicos que están relacionados con el mismo, en lo que se refiere a aspectos de confort y comportamientos térmicos de los edificios:

2.1 Definiciones

-Confort térmico: Se define como la ausencia de malestar térmico. En fisiología se dice que hay confort higrotérmico cuando no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento.

-Temperatura de confort: Para la realización de este estudio la temperatura de confort se considerará entre 18° C y 22° C.

-Conductividad térmica (λ): cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en una unidad de tiempo a través de una unidad de área de una muestra de material de espesor unitario, cuando se establece una diferencia unitaria de temperaturas entre sus caras. Se mide en (W/m* K).

-Resistencia térmica (R): La **resistencia térmica** de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

$$R = \frac{\varepsilon}{\lambda}$$

-Transmitancia térmica (U): Es la cantidad de energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie de un elemento constructivo de caras plano paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico unidad. Es el inverso a la resistencia térmica. Su expresión matemática es:

$$U = \frac{W}{S \cdot K}$$

Donde:

W: potencia en watt.

S: superficie en metros cuadrados.

K: diferencia de temperaturas en kelvin.

-Factor de pérdidas térmicas globales (G): es el cociente entre las sumas de todas las pérdidas que presenta una edificación y el volumen total de la misma.

-Aislamiento térmico: es la capacidad de oposición al paso de calor de un material o un conjunto de materiales, y que en construcciones se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y exterior.

-Envoltura térmica de un edificio: serie de elementos constructivos a través de los cuales se produce el flujo térmico entre el ambiente interior y el ambiente exterior del edificio. Está constituida básicamente por el complejo de techumbre, muros pisos y ventanas.

-Humedad absoluta: es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, se expresa en gramos de agua por kilogramos de aire seco (gr./Kg.), gramos de agua por unidad de volumen (gr./m.³) o como presión de vapor (Pa. o KPa. o mmHg.). A mayor temperatura, mayor es la cantidad de vapor de agua que permite acumular el aire.

-Humedad relativa: es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en tanto por ciento. %.

2.2 Mecanismos de Transferencia de Calor

Definición de Calor:

El calor se define como el flujo de energía que se transfiere de un sector a otro de un cuerpo o entre distintos cuerpos, el cual se genera debido a una diferencia de temperatura, este flujo de energía se produce desde una zona de mayor temperatura hacia una de menor temperatura.

Mecanismos de Transferencia de Calor:

Los mecanismos por los cuales se transmite el calor son tres: Convección, Conducción, Radiación, de los cuales dependiendo del entorno puede que una de estas formas de transmisión de energía sea predominante con respecto a las otras dos.

Transmisión por convección:

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección.

El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Por estar en presencia de un campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes de la mecánica de fluidos.

Transmisión por Conducción:

En los sólidos, la forma más importante de transferencia de calor es la conducción. Si se calienta un extremo de una varilla metálica, de forma que aumente su temperatura, el calor se transmite hasta el extremo más frío por conducción.

El parámetro que permite cuantificar la capacidad de conducción de calor se denomina conductividad térmica del material (λ). Los materiales como el oro, la plata o el cobre tienen conductividades térmicas elevadas y conducen bien el calor, mientras que materiales como el vidrio tienen conductividades cientos e incluso miles de veces menores; conducen muy mal el calor.

Transmisión por Radiación:

Consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas a través del vacío o de un medio material. Estas ondas son emitidas por todos los cuerpos y su intensidad está relacionada con la temperatura a la que se encuentra el cuerpo emisor.

Ley de Stefan-Boltzmann:

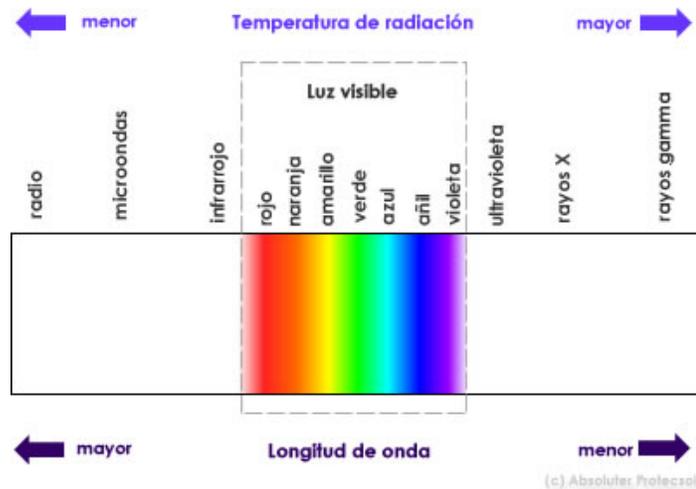
$$E_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

En esta ley se establece que la energía radiante de los cuerpos depende de la temperatura de los mismos elevada a la cuarta potencia.

2.3 Efecto de invernadero

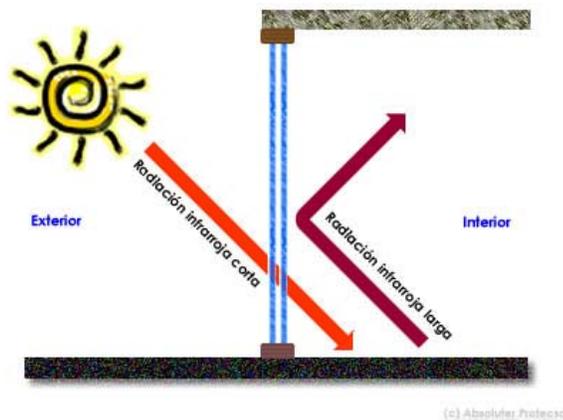
Todo material emite radiación electromagnética, cuya intensidad depende de la temperatura a la que se encuentre. Cuanto mayor es su temperatura, menor es la longitud de onda de la radiación que emite.

Figura 1: Relación entre la temperatura y la longitud de onda



El vidrio ordinario es transparente a la radiación infrarroja de longitud de onda más corta, más próxima a la luz visible, pero, prácticamente opaco a la radiación infrarroja de longitud de onda más larga. Los elementos calentados dentro de los edificios emiten calor a una longitud de onda mucho más larga que la recibida desde el Sol, por lo que éstas no pueden pasar a través del vidrio quedando atrapadas dentro del edificio, provocando un aumento en la temperatura interior del mismo.

Figura 2: Efecto de invernadero



La energía solar incidente en la superficie se puede presentar de tres formas distintas:

Radiación Directa:

Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

Radiación Difusa:

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

Radiación Reflejada:

La radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre y otros objetos. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

Radiación Global:

La radiación global es la suma de las tres radiaciones.

3. Importancia del confort térmico y eficiencia energética

En el presente capítulo se mostrarán las variables que influyen en confort de las personas y como la obtención de éste ha provocado un aumento considerable en los consumos energéticos del país

3.1 Confort térmico

El confort térmico es un concepto que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo. Al momento de diseñar una edificación una prioridad es que ésta genere condiciones térmicas confortables y que los usuarios, en términos generales, no sientan ni frío ni calor. En la actualidad la responsabilidad de conseguir esto se deja en manos de los sistemas activos de climatización, lo que ha permitido al hombre llegar a zonas en las cuales el clima es la principal barrera para establecerse.

La sensación térmica varía en función de una serie de parámetros, los cuales se pueden clasificar como se muestra a continuación.

- Parámetros físicos como la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del aire y el entorno radiante.
- Parámetros circunstanciales como la actividad, la vestimenta y el tiempo de permanencia en el ambiente.
- Parámetros fisiológicos como la edad, el sexo y otras características de las personas.
- Parámetros psicológicos y sociológicos como las expectativas, la condición social.

Todas éstas variables afectan en la percepción del ambiente, y se explicarán las principales de ellas a continuación.

3.1.1 Temperatura del Aire

A la temperatura del aire se le llama en términos técnicos temperatura de bulbo seco, debido a que la medición de la misma se realiza a través de termómetros de mercurio seco, si bien es por lo general el índice con respecto al cual se estima el estado térmico de un ambiente, en la práctica es insuficiente para explicar la sensación térmica que se espera tener en un lugar determinado. Para tener una adecuada idea de las características de un ambiente dado, necesariamente se debe combinar esta variable, por lo menos, con los demás factores físicos como son la humedad, velocidad del aire y el entorno radiante.

La manera en que la temperatura del aire interactúa con un cuerpo es cediendo o absorbiendo calor por convección, ésta forma de transferencia de calor depende de la diferencia de temperatura que exista entre el cuerpo y el ambiente.

A modo de normar el estudio térmico se impuso la temperatura de confort para condiciones de verano en el rango de 18° C a 22° C.

3.1.2 Humedad del Aire

Bajo condiciones normales el aire está compuesto de diversos gases como nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón (0,9%), dióxido de carbono (0,03%) y, dependiendo de la zona, de una cierta cantidad de vapor de agua, la cual en su mayoría proviene de la evaporación de mares, lagos, ríos, la evaporación del suelo y la vegetación en sectores abiertos. Dependiendo de la ventilación de algunas edificaciones, la presencia de personas, en especial la respiración y evaporación del sudor, la humedad puede llegar a ser un factor determinante en el confort de los individuos.

La cantidad de vapor de agua que es capaz de contener el aire depende de la temperatura a la que este se encuentre, si se enfría el aire se llegará a una temperatura en la cual el vapor contenido en ella se condensará, a esta temperatura se le llama **temperatura de rocío** y del mismo modo si se agrega vapor de agua en un sistema cerrado, llegará un momento en que el aire no podrá mantener la cantidad de vapor de agua y esta también se condensará. En ese momento se habla que se llegó al **punto de saturación** para esta temperatura, en ambos casos se habla de que el aire está saturado o con un 100% de humedad relativa.

Existen dos formas de referirse al contenido de vapor de agua en el aire, con respecto al contenido absoluto de vapor de agua en el aire, Humedad absoluta (HA), y como porcentaje de vapor de agua que se tiene con respecto a la saturación a una temperatura dada, Humedad relativa (HR).

La importancia de la humedad del aire en la sensación térmica radica en que determina la eficiencia de la evaporación del sudor, condicionando la disipación de calor sensible del cuerpo. Dependiendo del clima de la zona, la humedad se considera dentro de los rangos de confort entre el 30% y 70% de HR.

3.1.3 Velocidad del Aire

El aire que circula en un ambiente influye en la sensación térmica de dos maneras, modificando la cantidad de calor intercambiado por convección y aumentando la eficacia de la evaporación del sudor.

Si el aire se encuentra a una temperatura menor a la de la piel, y se aumenta la velocidad de desplazamiento del mismo, produce un incremento de las pérdidas de calor del cuerpo, el proceso por el cual se produce la pérdida de calor es la convección, y este proceso depende tanto de la temperatura del aire como de la velocidad a la cual este está en contacto con la piel.

Con respecto a las velocidades a las que se puede hacer circular el aire en el interior de los edificios, se ha llegado a establecer que por sobre el valor de 1 m/s se produce malestar por exceso de movimiento de aire y bajo los 0,5 m/s se producen molestias por estabilidad aérea, por lo anterior el rango máximo de velocidad se encuentra entre las velocidades mencionadas anteriormente.

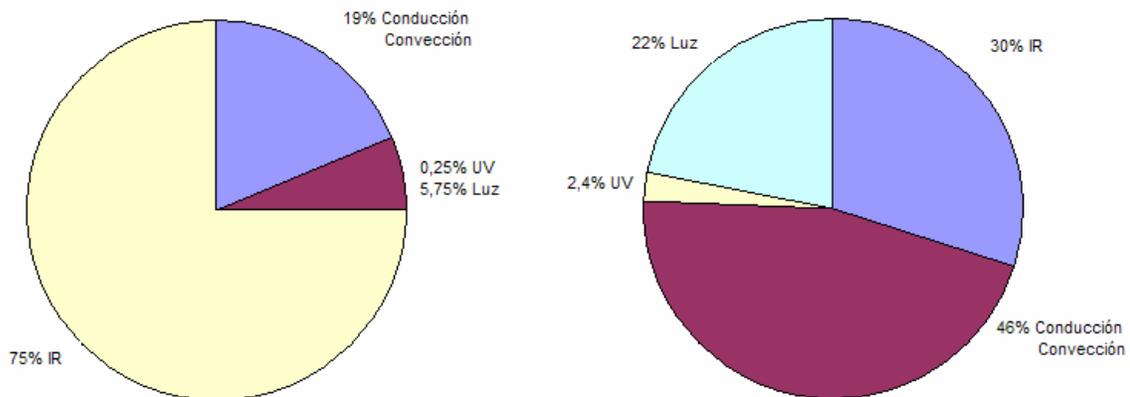
3.1.4 Entorno Radiante

Independiente de la temperatura a la que se encuentren los objetos que rodean a una persona, estos absorben o emiten radiación electromagnética, la cual, al llegar a la piel, se convierten en calor.

En espacios cerrados y soleados el entorno radiante puede llegar a ser el factor más importante de los parámetros de confort, debido a las temperaturas que pueden alcanzar los objetos y la gran facilidad de la piel por absorber la radiación de estos.

Un factor muy importante, emisor de radiación, es la iluminación. Los aportes térmicos debidos a la iluminación, constituye una importante fuente de calor, por ejemplo, en la iluminación por incandescencia el 75% de la energía se disipa por radiación infrarroja, y en la fluorescente más del 30%².

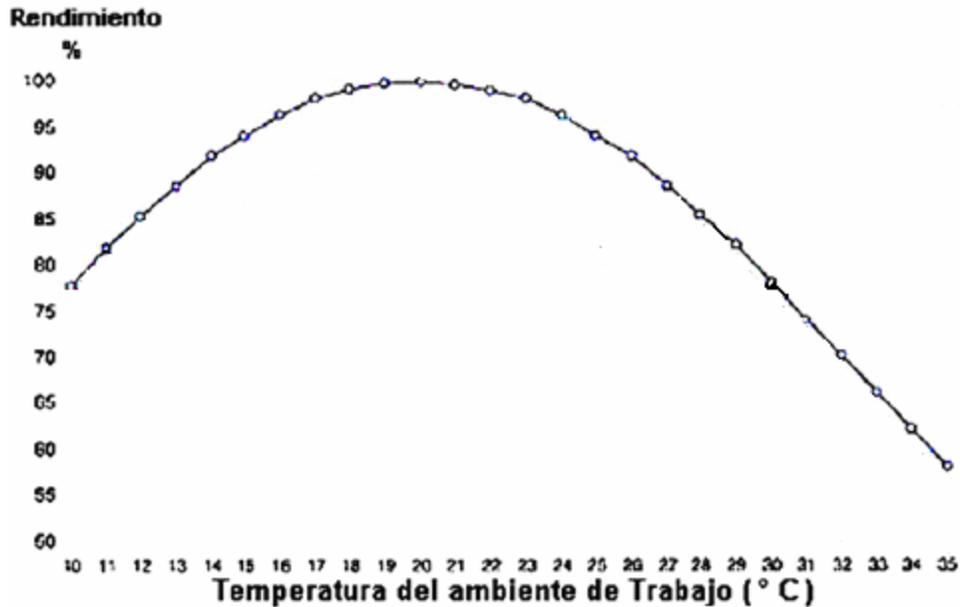
Gráfico 1: Aportes térmicos asociados a la iluminación



Las sensaciones de frío, calor o incomodidad térmica vienen dadas por las condiciones climáticas y la capacidad de la estructura de generar un microclima, en el siguiente grafico se explica la importancia del confort térmico y su influencia en la productividad de las personas que están sometidas a ambientes de estrés térmico

² “Ergonomía 2; confort y estrés termico”

Gráfico 2: Relación entre la productividad y la temperatura del ambiente de trabajo



En el gráfico se puede apreciar que el rendimiento sobre el 95% se ubica entre los 18° C y 22° C, para un ambiente apropiado para el trabajo.

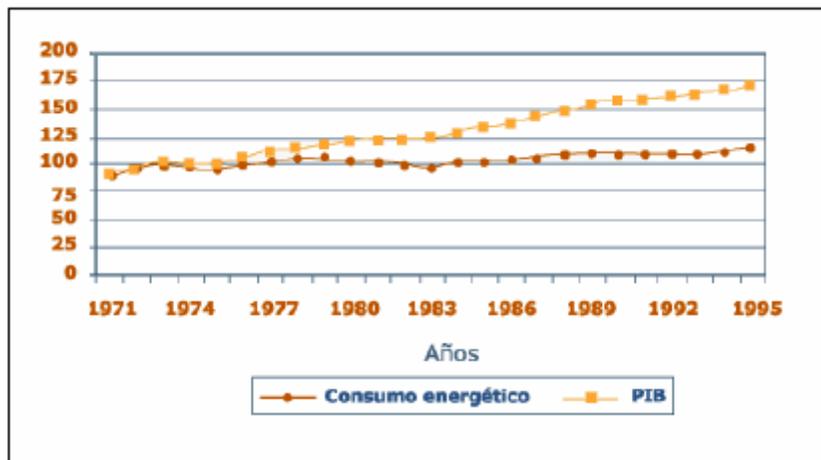
En la actualidad la preocupación por obtener condiciones de confort está tomando cada vez más importancia, sobre todo en edificios destinados a oficinas y de uso residencial. Esta búsqueda de bienestar está llevando a un aumento progresivo de la demanda de energía con el fin de obtener estas condiciones, demandas que en verano han llevado a Santiago a periodos de racionamiento eléctrico y déficit energéticos, además de incentivar la construcción de centrales eléctricas, algunas de las cuales tienen un gran impacto en la ecología y tierras de cultivo del país.

3.2 Eficiencia Energética

Uno de los mayores problemas de un país en vías de desarrollo, es poder separar las curvas de crecimiento económico de la del aumento del consumo de energía que necesita para mantener dicho crecimiento. En base a esto, la búsqueda de métodos que tengan como fin reducir u optimizar el uso de energía a nivel nacional está tomando cada vez mayor importancia.

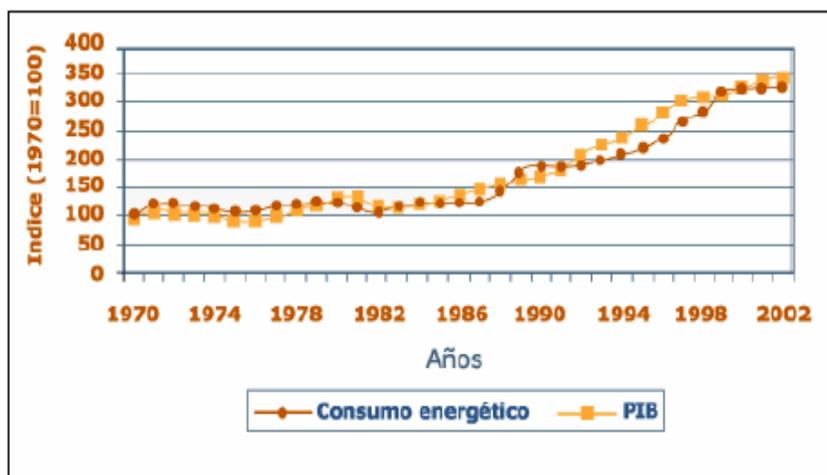
A continuación se muestran los aumentos de la demanda de energía en la Unión Europea, y se comparan con el aumento del crecimiento económico que estos han tenido.

Gráfico 3: Relación entre el Crecimiento y el consumo energético de la U.E.



Debido a la toma de conciencia y la preocupación por la eficiencia energética en la Unión Europea, se puede apreciar cómo a comienzos de los años 70 comienza a separarse crecimiento económico del aumento del consumo energético. En el siguiente gráfico se muestra la dependencia que tiene el crecimiento de Chile del aumento del consumo de energía.

Gráfico 4: Relación entre el crecimiento y el consumo energético en Chile



Como se muestra en los gráficos anteriores, Chile no ha podido independizar su crecimiento económico del aumento de la demanda de energía que el país necesita, esta situación revela la poca eficiencia con la que se generan los distintos productos y servicios a nivel nacional.

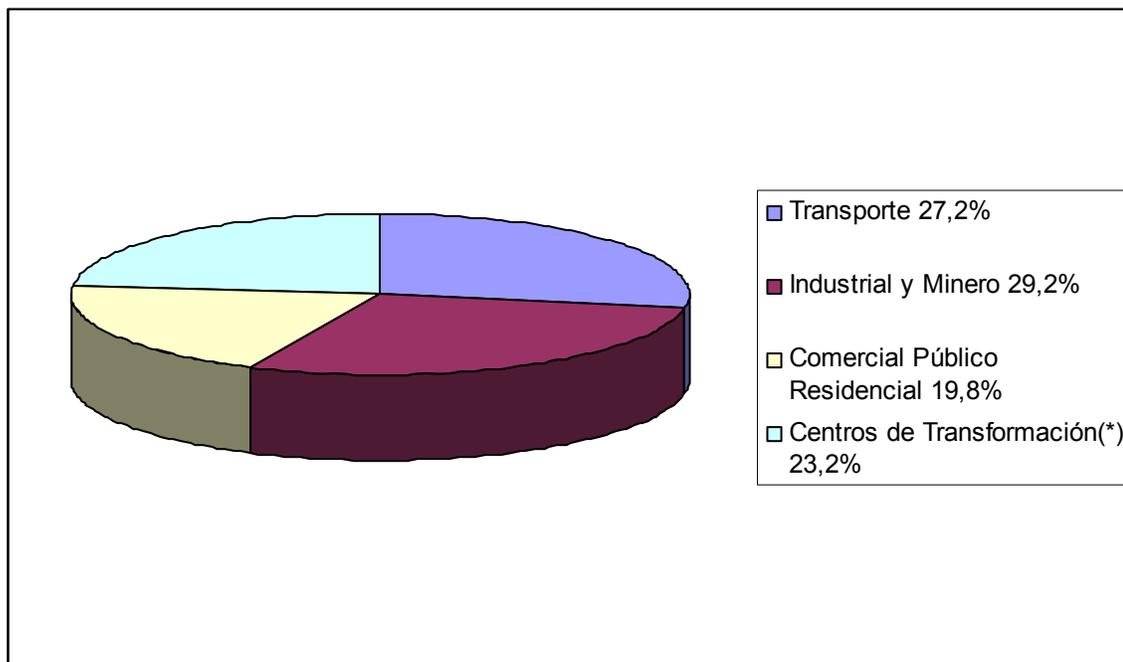
La preocupación por el aumento de los consumos energéticos está generando una respuesta a nivel nacional que se puede dividir en dos tendencias, la búsqueda de nuevas formas de producir energía con el fin de poder satisfacer la creciente demanda y, la optimización en la fabricación de productos y servicios de manera de reducir los consumos de energía actuales.

En la búsqueda de nuevas formas de energía, en agosto del presente año, se publicó un trabajo realizado por la Universidad de Chile junto a la Universidad Federico Santa María, en el que se sostiene que el uso de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y la Eficiencia Energética (EE) podrían aportar al abastecimiento eléctrico del Sistema Interconectado Central (SIC), alrededor de 40 mil GWh y 7.100 MW de potencia, lo que es un aporte de casi un 40% al SIC³. El trabajo muestra que en Chile existe el potencial de generación de energía y critica a las políticas estatales, las cuales, según el estudio, han actuado en forma muy pasiva con respecto a la realidad del país.

³ “Estudio sobre energías renovables y demanda energética” MIDEPLAN.

Con respecto a la optimización en la producción de productos y servicios, el consumo energético en Chile se puede separar en tres grandes áreas, el sector industrial, el sector transporte y los edificios de uso habitacional o de oficinas. En la siguiente figura se muestra el porcentaje del consumo nacional asociado a estas tres áreas:

Gráfico 5: Balance energético nacional 2007



Como se muestra en el gráfico 5, el sector Edificación es el responsable de alrededor del 25% del consumo energético a nivel nacional⁴, donde, un gran porcentaje importante se debe a la climatización de esas construcciones. En periodos anteriores, el confort térmico de los edificios se dejaba exclusivamente en manos de los sistemas mecánicos de enfriamiento y calefacción, dejando de lado la búsqueda de diseños eficientes que tomaran en cuenta el clima de la zona y la gran importancia de la orientación del edificio con respecto a las ganancias solares de éste.

Después de la crisis energética de los años 70 y considerando la creciente crisis ambiental, se reconoce a nivel mundial que los edificios son los responsables de consumir alrededor del 50% de la energía total producida y los emisores del mismo porcentaje de CO₂, que cada año se libera en la atmósfera (20 millones de toneladas).

⁴“balance energética nacional, CNE 2007”

Un importante porcentaje de la energía consumida por los edificios, alrededor del 50%, se considera perdida debido principalmente al diseño en las construcciones actuales, las que no cumplen con las condiciones necesarias de diseño para garantizar condiciones de confort interior.

Partiendo por reconocer estos problemas, resulta fundamental intervenir y modificar las prácticas actuales de diseño y construcción para reducir significativamente, o eliminar, el impacto negativo del consumo ineficiente de energía y eventualmente, transitar hacia energías renovables de soporte a la construcción y operación de edificios.

En base a lo anterior el concepto de eficiencia energética ésta tomando gran importancia a nivel mundial, la actual cantidad de tratados que tienen como fin optimizar o reducir el consumo energético, esta creando la necesidad de construir estructuras más eficientes, y la certificación energética de edificios se presenta como una opción obligatoria para las nuevas construcciones habitacionales.

4. Técnicas de enfriamiento pasivo

En el presente capítulo se estudiarán las alternativas que se han propuesto a edificios con el fin de mantener condiciones de confort interior a un bajo costo energético, como se verá a continuación las distintas alternativas están diseñadas dependiendo del tipo de clima en el que se encuentre la estructura y el uso de la misma.

4.1 Sistemas de acondicionamiento pasivo

A medida que los costos de la energía aumentaron a nivel mundial, comenzó a tomar mayor importancia los costos asociados a las necesidades de climatización que tenían los edificios, en periodos anteriores a la crisis del petróleo de los años 60 los costos de la energía no tenían la trascendencia actual, y con respecto al área construcción, esto se demostraba dejando de lado el diseño climático de los edificios, ya que las opciones mecánicas podían cubrir tales deficiencias en el diseño. Con el fin de reducir el aumento en los costos que generó el alza en el valor de la energía, se comenzaron a idear una gran cantidad de métodos, las cuales, tienen como fin reemplazar o complementar a los sistemas tradicionales de climatización.

Como se sabe el gasto energético asociado a edificios, tanto de vivienda como de uso de oficinas, es alrededor del 40% de consumo anual del país, dado que en la actualidad la mayoría de ellos cuenta con sistemas mecánicos de calefacción y refrigeración se convierten en un nicho, para el cual los sistemas pasivos de acondicionamiento térmico podrían generar grandes ahorros de energía en sus consumos actuales.

Reconociendo el potencial de ahorro energético que existe en esta área se ha comenzado a tener presente el comportamiento térmico de los edificios en la etapa de preproyecto, y en base a esto, se está generando un movimiento llamado Construcción verde o bioclimática, con el cual se pretende reducir los consumos actuales de la vida útil de las construcciones, volviendo a valorar la importancia de tomar en cuenta variables como orientación, envolvente y materiales con los que se construye.

Con respecto a las nuevas técnicas que se están aplicando para conseguir condiciones de confort en forma mas eficiente, se tiene que tener claro que éstas están separadas en dos grupos, aquellas que necesariamente se deben implementar en el periodo de construcción del edificio, y las que pueden ser agregadas con posterioridad debido al poco impacto que crea su implementación.

En el desarrollo de este capítulo se mencionarán y explicarán técnicas asociadas a los dos grupos anteriormente mencionados, pero se dará énfasis a los métodos de mejoramiento de comportamiento térmico una vez comenzado el uso del edificio, debido a que el edificio en estudio fue finalizado y comenzó a operar a mediados del año 2004.

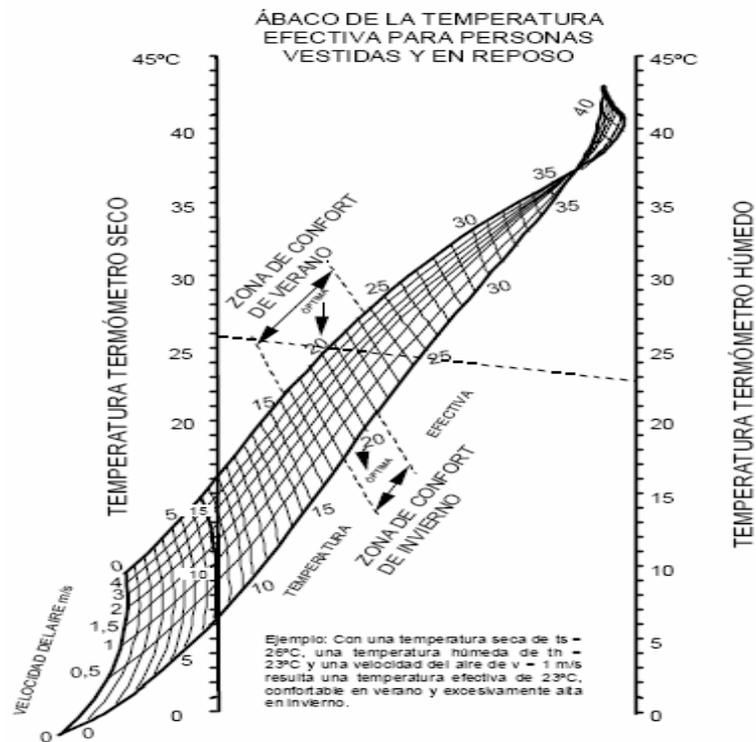
A continuación se presentan los métodos que actualmente se están utilizando de manera de reducir los consumos energéticos de los edificios:

4.1.1 Ventilación Natural y Forzada

Los sistemas de ventilación ocupados actualmente, naturales o forzados, tienen como principal función controlar la temperatura, humedad y calidad del aire dentro de las áreas útiles de una construcción.

4.1.1.1 La base de la ventilación natural es poder generar un movimiento del aire al interior de la estructuras, de manera de extraer del edificio el calor acumulado debido a su uso y las ganancias solares. Este método es muy usado debido al aumento del rango en la temperatura de confort que se puede obtener al producir el movimiento del aire, como se explica en el grafico 6, un aumento en la velocidad del aire varia la sensación térmica, aumentando las temperaturas que son consideradas de confort, si bien la temperatura del edificio no tiene un descenso importante la velocidad a la que el aire se desplaza en el interior produce la sensación térmica de menor temperatura. 57 %

Gráfico 6: Relación entre la velocidad de circulación de aire y el confort térmico



En el gráfico anterior se muestra como se puede reducir la sensación térmica de una persona al variar la velocidad de desplazamiento del aire de un local para una humedad dada.

La ventilación natural puede ser producida a través de varias formas: ventilación simple, ventilación cruzada, ventilación nocturna o a través del efecto chimenea.

4.1.1.2 ventilación simple:

Este tipo de ventilación suele ser suficiente en edificios de bajo volumen para los cuales, una sola abertura es suficiente para extraer el exceso de calor del edificio.

4.1.1.3 ventilación cruzada:

Este método consiste en producir una renovación del aire al interior del edificio a través de dos o más aberturas en distintas zonas del mismo, con lo que se genera una corriente que cruza los pisos del edificio extrayendo el exceso de calor concentrado en el edificio.

4.1.2 Ventilación Nocturna:

Este método consiste básicamente en mantener el edificio cerrado durante las horas más calurosas del día y ventilar la masa estructura durante la noche, cuando las temperaturas son menores. La masa enfriada actúa al día siguiente como acumulador de calor, absorbiendo tanto el calor que entra al edificio como el que se genera en su interior.

Para este método en particular, la masa térmica es un factor decisivo en la eficiencia del sistema, y existen varias opciones para utilizarla como acumulador de calor:

- Ventilando directamente las masas estructurales del edificio; paredes, divisiones internas y pisos, enfriados por ventilación del interior.

- Haciendo pasar el aire por conductos a través de pisos, cielorrasos o paredes de manera que circule aire exterior por ellos.

- Empleando acumuladores especiales: Lechos de piedra, tanques de agua, conteniendo conductos de aire empotrados, enfriados durante la noche por aire exterior.

Este método resulta ser muy útil en Santiago debido a la gran diferencia de temperatura que se mantiene entre el día y la noche, la que es en promedio a 15° C en verano. Se estima que se puede reducir la temperatura de las masas térmicas del edificio, dependiendo de los volúmenes de aire ingresados por hora, entre 6° C a 12° C.

4.1.3 Muros Trombe

Este sistema de captación es en esencia un colector solar activo de aire integrado al muro. Sobre la fachada orientada al ecuador, que de preferencia será un muro grueso pintado de negro o de un color oscuro, se coloca un vidrio para que provoque el efecto invernadero. En el muro hay una serie de conductos en la parte superior e inferior que comunican el espacio entre muro y cristal con el interior de la casa. Por su parte el vidrio tiene en la parte superior unos conductos que comunican el espacio entre muro y vidrio con el exterior.

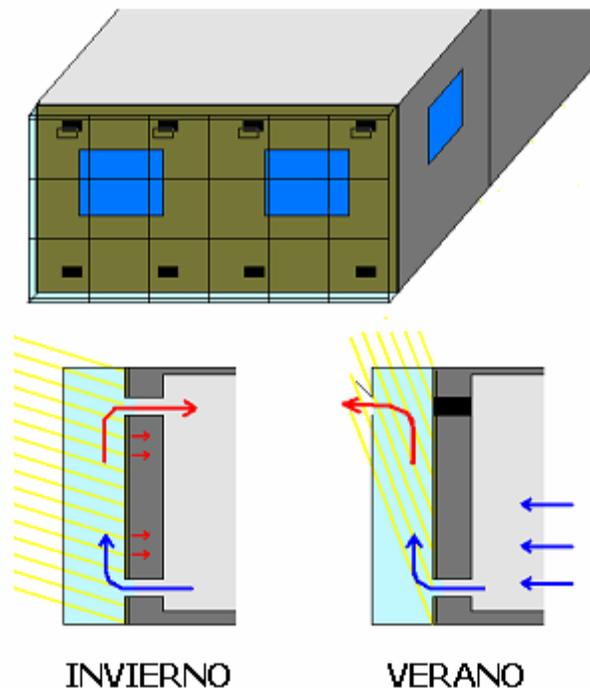
Su funcionamiento es sencillo. En invierno, la radiación solar al incidir sobre la superficie del muro provoca en parte que el aire atrapado entre el mismo y el vidrio se caliente y ascienda por convección dirigiéndose a través de los conductos superiores al interior de la casa. Otra

parte de esa energía provoca que se caliente el propio muro donde queda el calor almacenado. Por la noche este calor guardado se libera paulatinamente al interior de la casa.

En verano gracias a la apertura de los conductos que unen el espacio entre muro y cristal con el exterior y a la oclusión de los conductos situados en la parte superior del muro que unen el espacio entre muro y cristal con el interior de la casa se consigue un efecto refrigerante.

La radiación solar al incidir en el muro calienta el aire que por convección asciende y sale al exterior por el conducto del vidrio. El vacío dejado por el aire que ha salido es ocupado por aire procedente del interior de la casa que entra por los conductos en la parte inferior del muro, forzando a su vez que entre aire del exterior a la casa y provocando una corriente que la refrigera.

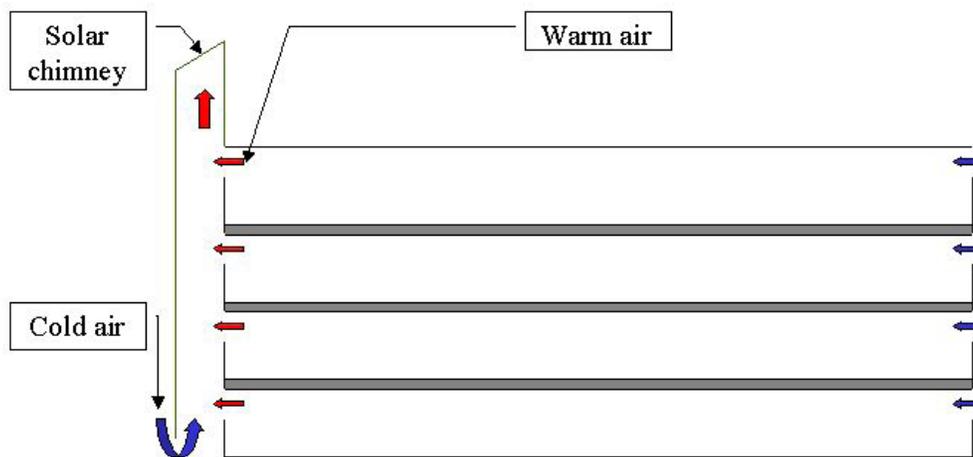
Figura 3: Muros trombe



4.1.4 Efecto Chimenea o Chimeneas Solares

Este sistema es una modificación del muro trombe, explicado anteriormente, y funciona muy bien en edificios en los cuales la conexión entre sus distintos ambientes favorece el movimiento del aire por todo el edificio. Estas chimeneas son típicamente tubulares y de un material muy conductor, el sistema funciona debido al impulso ascendente que se produce al ser calentadas (mejor con efecto invernadero) el cual asegura una ventilación constante y mayor cuando mas fuerte es el soleamiento.

Figura 4: Diseño de la chimenea solar



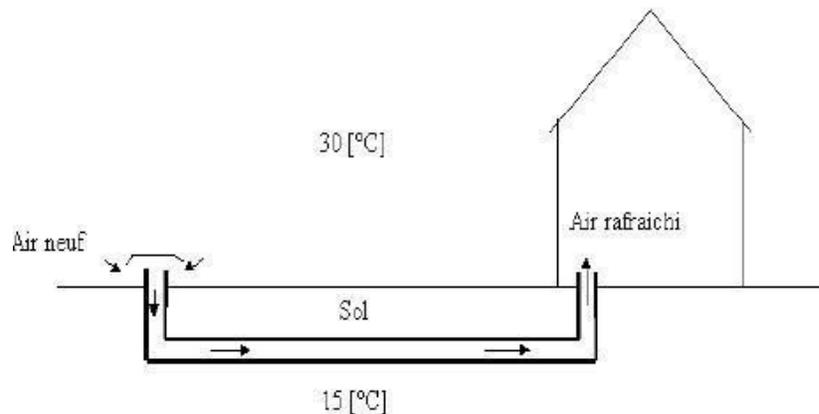
4.1.5 Tubos Enterrados

Como se sabe, el suelo tiene una gran inercia térmica, dependiendo de los componentes del mismo se puede encontrar la profundidad donde su temperatura permanece constante durante gran parte del año. Esta temperatura se puede considerar igual a la media anual de la zona donde se pretende construir.

Se estima que en Santiago a partir de los tres a cuatro metros de profundidad la temperatura del suelo permanece constante entre los 14 y 17 grados Celsius, debido a estas temperaturas se reconoce la gran capacidad que se tiene para la refrigeración de aire exterior durante los meses de verano, ya que en las horas de mas calor las temperaturas alcanzan fácilmente el doble de estos valores.

La técnica de tubos enterrados, como su nombre lo indica, consiste en enterrar desde una serie de conductos hechos con un material de elevada conductividad térmica, por ejemplo, metálicos, de tal modo que a través de ellos circule el aire exterior, ingresando al edificio. Mediante ventiladores se hace pasar el aire exterior a través de los conductos enterrados a una determinada profundidad, por intercambio convectivo entre el aire y la superficie interior del conducto se establece un flujo de calor, de tal modo que, al estar mas fría la superficie del conducto, se produce una disminución en la temperatura del aire.

Figura 5: Diseño del uso de tubos enterrados



La eficiencia de ésta técnica depende:

- De la temperatura del suelo, que será inferior cuanto más profundo estén enterrados.
- Del tratamiento de la superficie exterior que contiene los tubos, estos tratamientos son: Sombreado del espacio donde están enterrados con el fin de reducir la temperatura a la misma profundidad o la ventilación nocturna de los tubos con el fin de eliminar el calor absorbido por el suelo durante el día.
- De la superficie de contacto entre los conductos y el terreno.
- De la longitud total del conducto a través del cual pasará el aire.
- Del caudal de aire que circula a través de los tubos.

4.1.6 Sistemas Evaporativos

Este sistema consiste en agregar, a través de pulverizadores, cantidades de agua al ambiente que se desea enfriar. El calor latente de la evaporación enfría el aire, especialmente en climas secos.

Dentro de los sistemas que usan la evaporación del agua como sumidero de energía, distinguen dos tipos:

- Directos.
- Indirectos.

Los sistemas directos inyectan el agua directamente en el aire a refrigerar, mientras que los sistemas indirectos, que también inyectan el agua para enfriar el aire, este aire no se usará para refrigerar directamente el local, sino que es a través de intercambiadores de calor que se enfriará el aire que se pretende acondicionar.

El sistema directo tiene mayor eficiencia que el indirecto, ya que elimina un intercambio de calor dentro del propio sistema, esto se debe a que el intercambiador de calor del tipo aire-aire presenta bajas eficiencias.

Una variable a tener en cuenta en la implementación de este método es la humedad, si bien la temperatura es importante en el estado de confort, debe tenerse cuidado con no sobrepasar los límites asociados a la humedad. La capacidad de refrigeración se ve seriamente limitada en su potencial debido a la necesidad de no rebasar de sus límites esta variable. Debido a esto, para que este tipo de sistema de refrigeración alcance su máxima eficiencia deben tenerse condiciones de aire exterior muy seco.

Otro punto a considerar en la aplicación de este método, es la gran cantidad de agua que requiere, lo cual en ciertas zonas puede significar un gran inconveniente.

En el presente gráfico se presenta el consumo de agua necesaria partiendo de unas condiciones de humedad y temperatura para un caudal de 1000 m³/h de aire. Como es lógico la demanda de agua dependerá de la humedad final.

La forma en que se incorpora agua al ambiente se puede resumir en dos sistemas:

-Micronizadores de agua, de tal modo que el aire seco pasa a través del chorro de agua pulverizada. Este sistema requiere agua libre de partículas que obstaculicen los micronizadores.

-Medios porosos húmedos, a través de los cuales pasa el aire seco para alcanzar una humedad mayor.

Figura 6: Esquema del sistema evaporativos

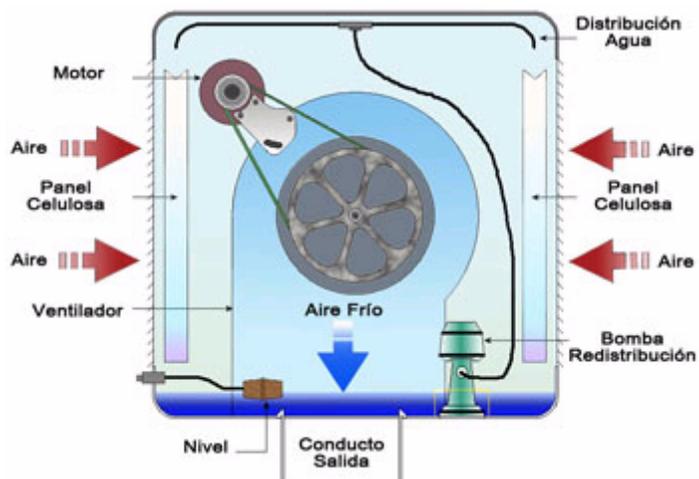
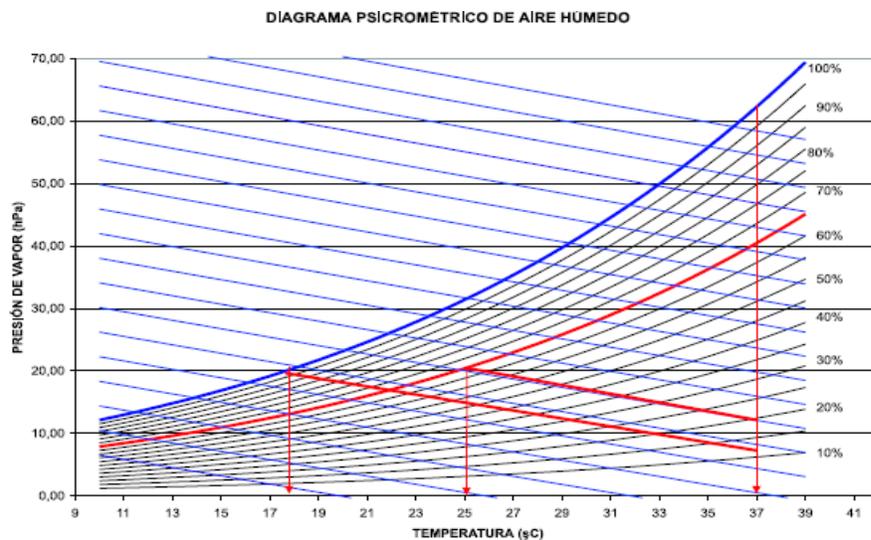


Gráfico 7: Eficiencia del sistema



En el gráfico se puede apreciar la diferencia de temperatura que se puede generar al pasar de una humedad de 65% a una humedad del 100%.

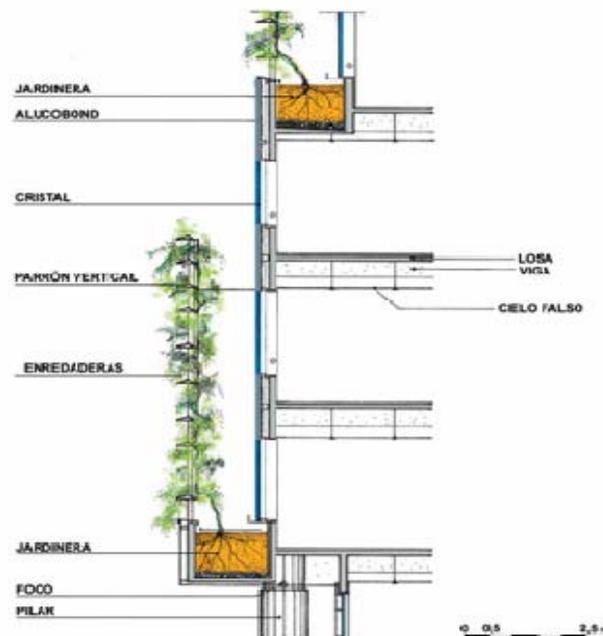
Una vez que se ha enfriado el aire, y se ha empleado en la refrigeración de la zona deseada, este no se puede hacer circular de nuevo a través del circuito, por estar en el nivel máximo de humedad permitido para el confort, por este motivo, los sistemas directos no tienen ningún tipo de circulación en sistemas cerrados. El aire se debe eliminar directamente al exterior. Por este motivo para evaluar este sistema se debe evaluar la capacidad del sistema dependiendo de la zona de construcción.

4.1.7 Protección Solar

4.1.7.1 Doble Cubierta vegetal o Sombras verdes

Este sistema de reducción de costos en la obtención de condiciones de confort, plantea reducir la radiación solar que ingresa a los edificios principalmente en periodos de verano. El sistema consiste en instalar una doble fachada sobre la fachada que más está expuesta a la radiación solar, para zonas como Santiago esta construcción se plantea sobre las fachadas norte y poniente, al edificio-Cubiertas regadas: Este sistema es de gran eficacia debido a que actúa en la zona del edificio que más calor recibe. Se utilizan surtidores que inyectan agua controladamente dependiendo de las necesidades y de las condiciones de humedad del aire.

Figura 7: Ejemplo de doble cubierta vegetal



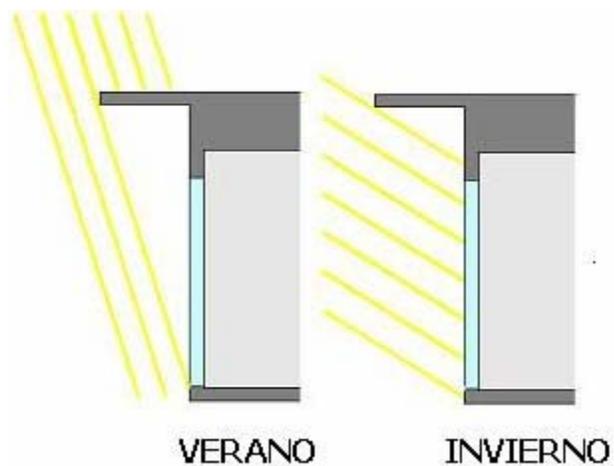
4.1.7.2 Elementos de sombreado

Otra solución pasiva para edificios con mal comportamiento térmico en verano son las fachadas ventiladas o muros cortinas, que tienen como fin reducir el ingreso de calor por radiación dentro de los recintos a continuación se muestran algunas de las aplicaciones de este tipo:

Imagen 2: Tipos de elementos de sombra



Figura 8: Elemento de sombra horizontal



5. Construcción en Santiago y ejemplos de aplicaciones de técnicas de acondicionamiento pasivo

En el presente capítulo se presentan los comportamientos actuales de los edificios en la ciudad de Santiago y las técnicas que se están empezando a aplicar con el objetivo de reducir los consumos energéticos de los mismos.

5.1 Santiago

El crecimiento de la ciudad de Santiago ha producido un incremento en la construcción de edificios para distintos tipos de uso, comunas como las Condes y Providencia han tenido un aumento significativo en edificios de uso de oficinas y en todas estas nuevas construcciones se puede apreciar que el vidrio es uno de los materiales más comunes ocupados en las fachadas.

Las fachadas de vidrio cumplen con las necesidades de luz que tienen este tipo de edificio, pero se generan problemas asociados al efecto invernadero, que aumenta fácilmente la temperatura interior debido al uso excesivo del vidrio como elemento exterior. Si bien existen técnicas para mejorar el comportamiento térmico de los edificios, algunas de ellas vistas en el capítulo anterior, el uso de las mismas recién está empezando a verse como una opción viable para ser aplicadas en Chile.

5.1.1 Descripción del Clima de Santiago

El clima se puede definir como el conjunto de condiciones atmosféricas de carácter cíclico anual que caracterizan una zona o región.

Las condiciones atmosféricas a considerar para identificar un tipo de clima son: la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar recibida, la cantidad de precipitaciones y la dirección e intensidad del viento.

El clima de la ciudad de Santiago corresponde a un clima templado-cálido con lluvias invernales y estación seca prolongada, más conocido como clima mediterráneo.

Dentro de las principales características climáticas de Santiago se encuentra la concentración de cerca del 80% de las precipitaciones durante los meses del invierno austral (mayo a septiembre), variando entre 50 y 80 mm. de agua caída entre estos meses. En cuanto a las temperaturas, éstas varían a lo largo del año, pasando de una media de 20° C durante el mes de enero a los 8° C de junio y julio. En el verano, Santiago es caluroso, llegando con facilidad por sobre los 30° C y su máximo histórico es cercano a los 37° C, mientras que las noches suelen ser agradables y ligeramente frescas sin bajar de los 15° C. Por su parte, en los meses de otoño e invierno la temperatura desciende y se sitúa algo más bajo de los 10° C; la temperatura incluso puede bajar levemente de los 0° C, especialmente durante la madrugada, siendo su mínimo histórico cercano a los -5° C.

A continuación se muestra un resumen de las temperaturas y precipitaciones promedio en la ciudad de Santiago⁵.

Tabla 1: Temperaturas y precipitaciones promedio

Clima de Santiago de Chile													
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
Temperatura media (° C)	20	19,3	17	13,8	10,5	8	7,8	9,7	11,3	13,8	16,6	19,1	13,9
Precipitación (mm)	1,2	2,1	4,2	13,7	58	78,2	75,5	54,2	26,7	13,6	6,1	3,9	338,2

De manera de poder normar requisitos mínimos que deben tener las construcciones en Chile en función al clima de la región, el país está dividido en siete zonas térmicas, a cada una de ellas se le asigna tipos de climas y temperaturas y humedades promedios con el fin de facilitar la elección de las características constructivas de cada zona.

La división de cada zona térmica depende de los grados días de calefacción del lugar, los rangos que determinan cada zona se especifican a continuación

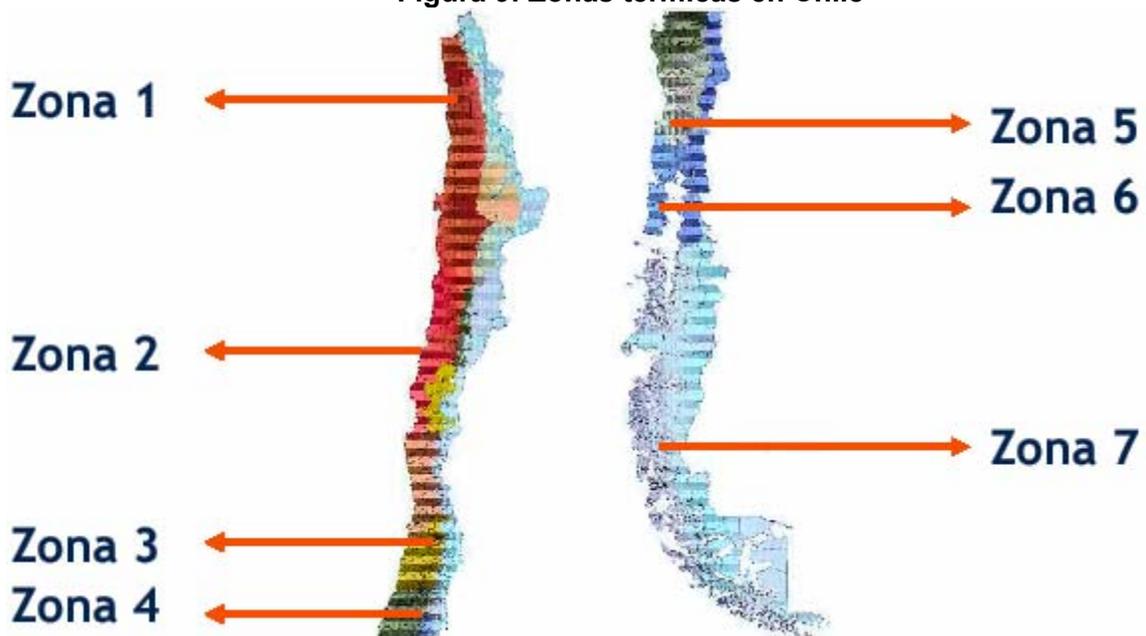
⁵“www.meteochile.cl” Dirección meteorológica de Chile.

Tabla 2: Zonificación Térmica

Zona térmica	Grados días
1	$GD \leq 500$
2	$500 < GD \leq 750$
3	$750 < GD \leq 1000$
4	$1000 < GD \leq 1250$
5	$1250 < GD \leq 1500$
6	$1500 < GD \leq 2000$
7	$GD > 2000$

A continuación se muestran las zonas térmicas a lo largo de todo el país.

Figura 9: Zonas térmicas en Chile



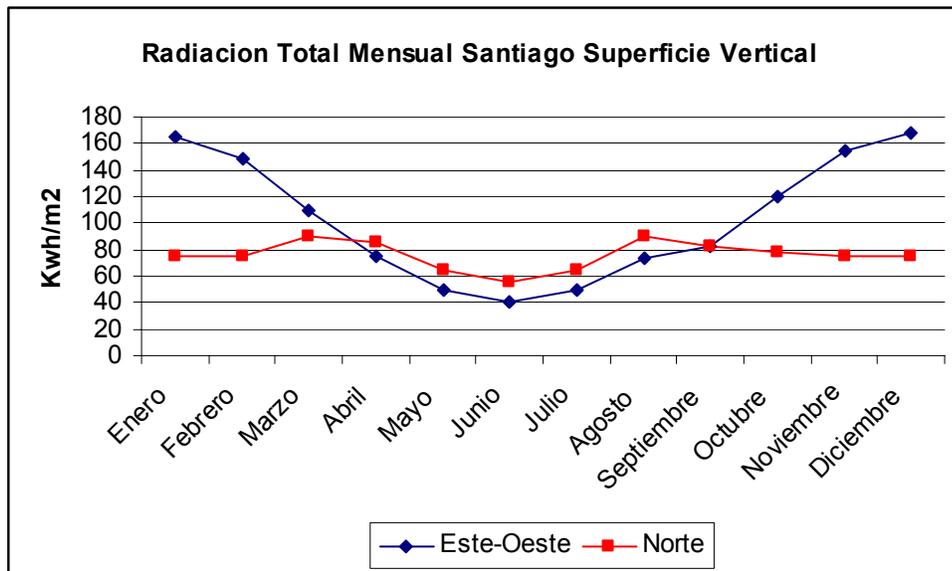
5.1.2 Radiación Solar en Santiago

La radiación solar es un factor de mucha importancia al momento de definir la envolvente de un edificio, la mayoría de los problemas que actualmente tienen los edificios de la ciudad de Santiago o el motivo por el cual sus costos en refrigeración son elevados, se debe principalmente a que esta variable fue dejada de lado en el diseño, debido al diseño del edificio en estudio, el que tiene un importante porcentaje de su fachada de vidrio

Como se puede apreciar en la tabla 5, un porcentaje importante de la fachada del edificio esta compuesto por termopaneles, por lo que la radiación solar pasa a ser uno de los principales factores de estudio, debido, principalmente, a la permeabilidad que el vidrio tiene a las radiaciones solares.

A continuación se muestra la radiación solar a la que están expuestas las superficies verticales en la ciudad de Santiago⁶.

Gráfico 8: Radiación Total en Superficies Verticales



⁶ “Revista Colegio de Arquitectura” edificio 133 Optimización Energética.

5.1.3 Ganancias Térmicas Asociadas al Uso.

Un componente importante en el clima interno de un edificio son las cargas internas de éste, las cuales están asociadas a los equipos con los que cuenta el edificio, la iluminación y la cantidad de personas que diariamente ocupa el mismo.

A continuación se muestra un resumen de las cargas asociadas los componentes antes mencionados⁷:

- Personas: 100 W/persona en actividad sedentaria
- Iluminación: 40 W/m² (iluminación eficiente 20 W/m²)
- Equipamiento: 12 W/m²

Las condiciones que se consideran aceptables para los ocupantes en un edificio de oficinas son⁸:

Iluminación alrededor de los 500 lx.

Renovación de aire fresco a razón de 8 lt seg. / Persona

Temperatura: verano 18°-22°, invierno 20°-24°

Humedad relativa: 50%-60%

5.1.4 Comportamiento y Consumo Energético de los Edificios en Chile

Debido a la creciente preocupación por los consumos de energía asociados a la vida útil de los edificios el CDT (Comisión de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción) realizó un trabajo a nivel nacional con el fin de conocer dichos consumos, en el cual, tras diferenciar los edificios según su uso y la zona térmica donde se ubicaban, se obtuvieron los siguientes resultados:

A continuación se muestran los consumos promedios asociados solo a calefacción y refrigeración de edificios separados por su zona térmica y el uso de los edificios:

^{7,8}“Revista Colegio de Arquitectura” edificio 133 Optimización Energética.

Tabla 3: Resumen de consumos asociados al acondicionamiento térmico

kwh/m2a	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
Edificios oficinas	28	-	86,82	-	336	78	-
Edificios publicos	72,43	-	114,32	-	-	-	-
Centros comerciales	-	-	-	201	124	92,22	428,27
Edificios de educacio	26,45	173	107	48,45	44,22	57,77	372

En el mismo estudio se llego a la conclusión que, como promedio, los edificios con uso de oficinas en la ciudad de santiago consumen **165 kWh. /m²** al año⁹.

Al comparar los consumos asociados a calefacción y refrigeración en la ciudad de Santiago con los consumos totales promedio, se concluye que para edificios de oficinas, ubicados en la tercera zona térmica, estos gastos corresponden al 50% de los consumos totales generados por los edificios.

En base a estos consumos promedio, se compararán algunas de las distintas soluciones propuestas anteriormente, las cuales se implementaron en algunos edificios en la ciudad de Santiago.

⁹ “Eficiencia energética de los edificios en Chile” Seminario Centro de Excelencia y Capacitación CACHAM.

5.2 Aplicaciones de técnica de Acondicionamiento Pasivo en Santiago

A continuación se muestran algunas estrategias ocupadas en edificios de la ciudad de Santiago, las que tienen como fin reducir los consumos de energía en los edificios durante su vida útil.

Algunas de las técnicas mencionadas a continuación fueron aplicadas en el momento de construcción de los edificios, anticipándose a excesos de demandas de energía, y otras fueron incorporadas después de los periodos de construcción con el fin de reducir los consumos actuales de los mismos.

La importancia de los estudios que se muestran a continuación radica en la potencial mejora que pueden tener edificios con sistemas de climatización mecánica. Dada la realidad actual del país, en lo que se refiere a la dependencia energética que tiene de sus países vecinos, resulta importante dar a conocer las técnicas que se enfocan en reducir los consumos actuales de los edificios.

4.2.1 Edificio Raúl Varela

Como un ejemplo de la llamada construcción sustentable o bioclimática, se puede mencionar al edificio Raúl Varela, ubicado en Av. Del Valle, Ciudad Empresarial, Huechuraba, Santiago.

Imagen 3: Edificio Raúl Varela



Este es uno de los primeros edificios en Chile que fue diseñado con la idea de reducir los consumos asociados a las necesidades de los usuarios, el uso del mismo es de oficinas, y en su comienzo la idea del aprovechamiento de la luz natural, masa térmica y orientación del edificio, entre otras variables, fueron pensadas con el fin de mostrar el potencial ahorro del área construcción.

En el diseño del edificio se aprecia un exterior completamente de vidrio, la fachada se pensó de manera de eliminar la mayoría de los puentes térmicos, típicos de las construcciones en Chile, con el fin de limitar las pérdidas en periodos fríos.

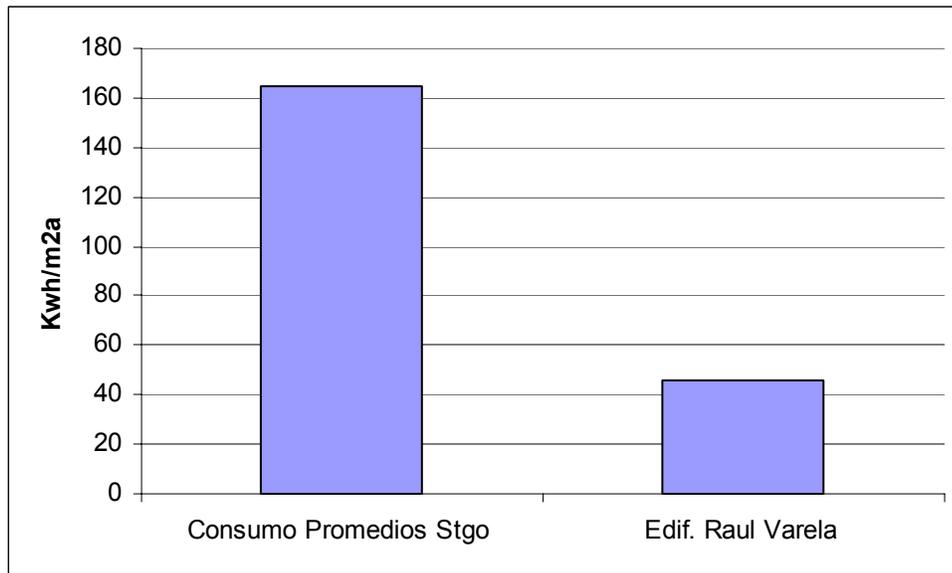
Los métodos ocupados para eliminar los problemas de calor, asociados al efecto invernadero, producido por la fachada fueron a través del uso del agua y el uso de alrededor de 90% de su fachada con muros cortinas.

El edificio cuenta con un pozo subterráneo capaz de almacenar 300 m³ de agua, la cual se mantiene estable a la temperatura del suelo, entre 11° C y 15° C, el líquido se hace circular las 24 horas del día, a través de serpentines ubicados en la losa de la construcción, con esto se consigue extraer el calor que las masas térmicas del edificio han absorbido, manteniendo la temperatura interior constante.

Tomando en cuenta que los consumos en verano sufren un aumento de precio si la demanda durante el día sobrepasa cierto consumo, en este proyecto se propuso incorporar un sistema propio de generación eléctrica de manera de poder satisfacer el exceso de demanda requerida por el mismo en esos periodos.

Una vez puesto en marcha el funcionamiento del edificio, el CDT comparó sus consumos anuales con el promedio de los consumos de este tipo de edificios en la ciudad de Santiago, si bien se asume un aumento del mismo en periodos de verano las mediciones fueron hechas de modo anual, las cuales se comparan a continuación.

Gráfico 9: Consumos promedio edificio Raúl Varela



Como se puede ver en el gráfico 9, la idea de optimizar el consumo energético en edificios es realmente factible, tras un buen proyecto inicial, en este edificio en particular, se llegó a consumir solo el 25% de lo esperado según los promedios asociados a la ciudad de Santiago, bajando desde un consumo anual de 165 kWh/m² a solo 45 kWh/m².

Para el diseño de este tipo de construcciones se realiza una inversión inicial, que en este caso fue de 30% más que si se hubiera ocupado un método tradicional de acondicionamiento térmico. Este aumento en los costos iniciales de construcción se justifica completamente si se toma en cuenta que el consumo de los edificios en Chile bordea el 40% del consumo anual del país y la vida útil de los mismos se estima en alrededor de 50 años.

6.2.3 Edificio Consocio en Santiago y Concepción

Otro ejemplo de diseño bioclimático, el cual genera grandes ahorros de energía con respecto a los promedios de obtenidos para edificios de oficina, es el uso de la doble cortina vegetal, este método, gracias a que reduce la radiación solar que entra al edificio mejorando las condiciones térmicas con un menor gasto energético.

En este caso, la doble piel vegetal se separó una distancia de 1,4 metros de la superficie del edificio, la razón para la separación se impuso debido a dos motivos principalmente, el

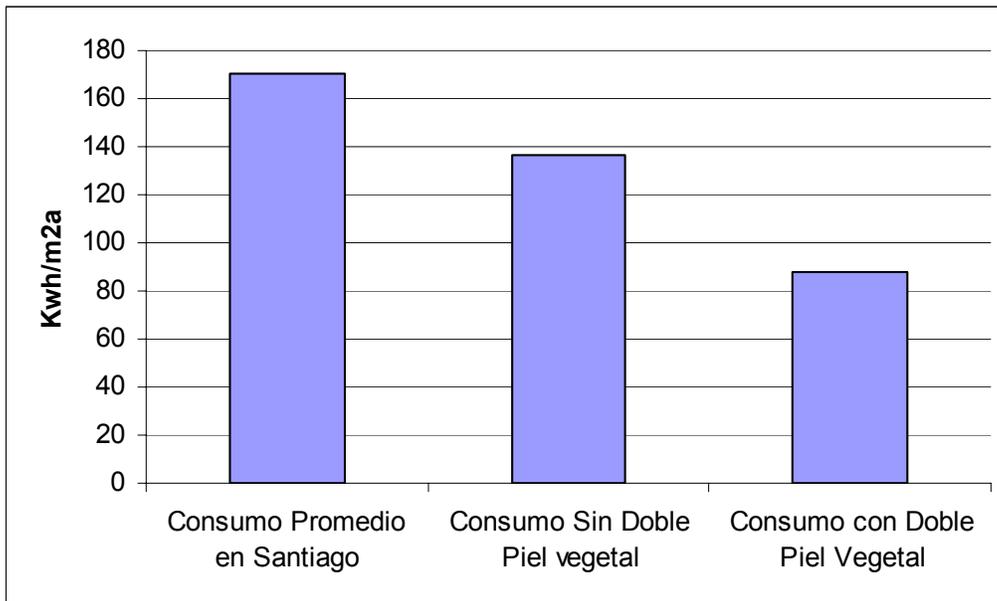
primero para asegurar amplias chimeneas para una corriente ascendente de aire, y para facilitar la manutención de la misma.

Imagen 4: Edificio Consorcio



A continuación se presentan los costos asociados al refrigeración del edificio, y se comparan con los consumos promedio medidos en la ciudad de Santiago.

Gráfico 10: Consumo promedio del edificio consorcio



En el grafico se puede apreciar la influencia de la cubierta vegetal en los consumos de energía en períodos de verano, además se muestra como solamente con un buen diseño se pueden reducir los costos, en el caso de los consumos sin cubierta vegetal, lo que hace la diferencia con respecto a los consumos promedios en santiago es la conexión de los distintos ambientes, con lo que se logra una buena distribución de aire interior, lo que disminuye la probabilidad de encontrarse con zonas del edificio que lleguen a altas temperaturas.

Junto con la construcción de nuevos edificios que sean más consecuentes con el escenario actual del país, se hacen necesarios los estudios que tengan como fin la rehabilitación de edificios ya construidos y con sistemas de acondicionamiento totalmente mecánicos. Este nicho presenta una oportunidad clara de reducir consumos energéticos a nivel nacional, y en Santiago ya se esta comenzando a evaluar la posibilidad de incorporar a las medidas activas de climatización el uso de técnicas pasivas.

En la rehabilitación de edificios, el principal periodo de preocupación es el verano, actualmente en Chile ya se esta comenzando a estudiar y modificar algunas construcciones con el fin de reducir sus consumos de energía en verano.

A continuación se muestran algunos de los estudios y modificaciones que se han propuesto en edificios de oficina.

6.2.2 Edificio Las industrial y Pedro de Valdivia

Imagen 5: Edificio Las industrias

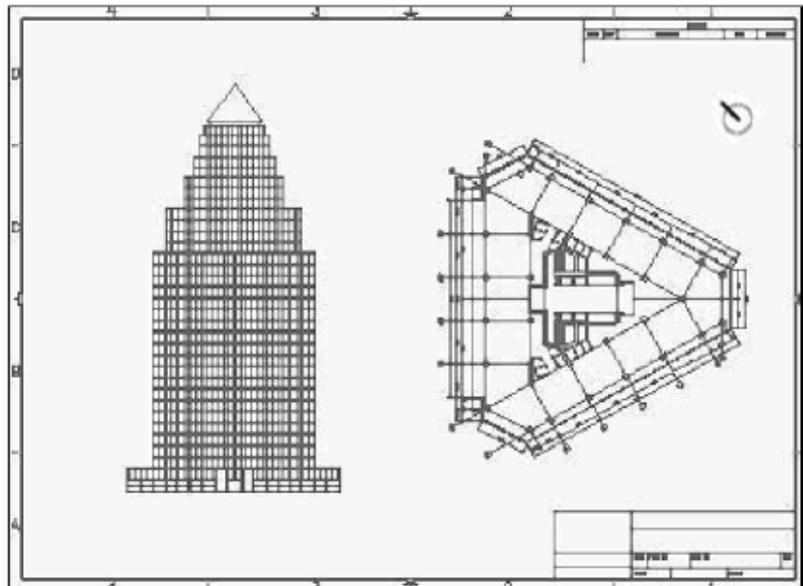
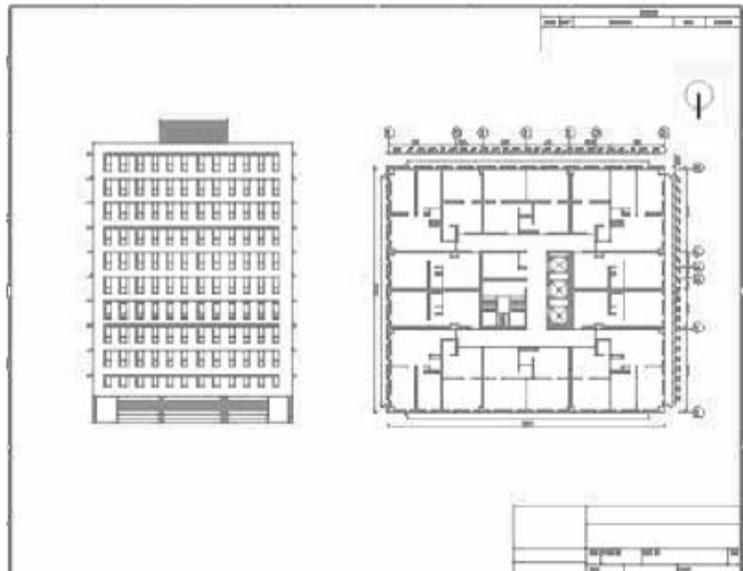


Imagen 6: Edificio Pedro de Valdivia



La búsqueda por sistema de climatización con bajo consumo comenzó debido a los aumentos de los costos de refrigeración en periodos de verano, al igual que la mayoría de los edificios nuevos de oficina, ambos edificios cuentan con un porcentaje bastante importante de vidrio en su fachada, lo que produce grandes aumentos de temperatura en estos periodos.

La manera en que se plantea reducir los costos asociados a extraer el calor de este edificio es la ventilación nocturna. La selección de este método se debe a su fácil aplicación y poco impacto en el diseño de las construcciones. La explicación de este método y sus ventajas se exponen en el capítulo.

A continuación se muestran los ahorros conseguidos una vez instalado el sistema en el edificio.

Gráfico 11: Consumos promedio edificio Las industrias

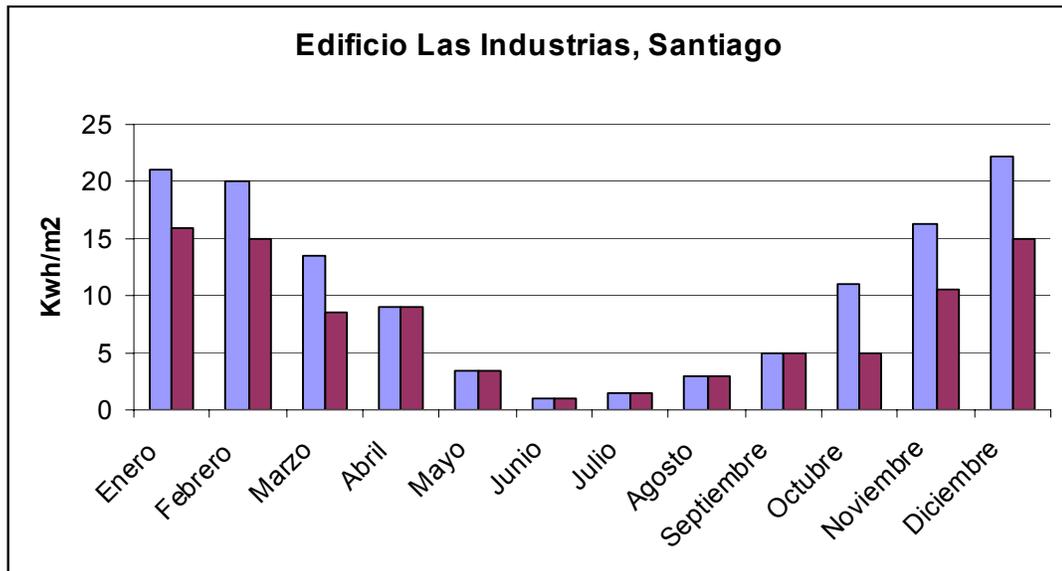
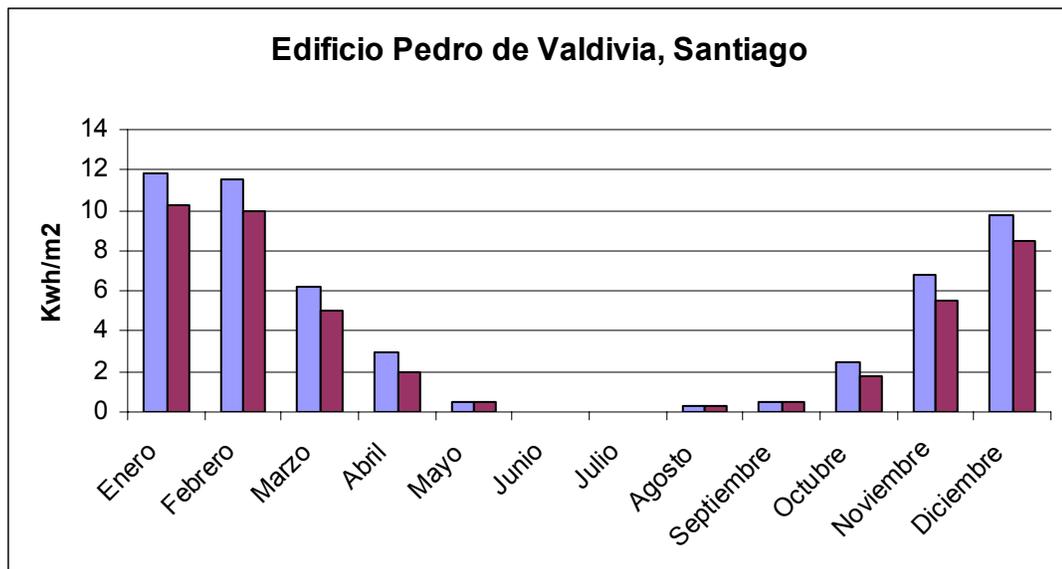


Gráfico 12: Consumos promedio Edificio Pedro de Valdivia



Como se puede ver en el grafico 12 los consumos energéticos, una vez instalado el sistema de refrigeración nocturna, disminuyeron en alrededor de un 30% en periodos de verano.

6.2.3 Fachadas Ventiladas.

El sistema de refrigeración pasiva que más uso tiene en nuestro país es el sistemas de fachadas ventiladas, este método consiste en cubrir, en forma total o parcial, al edificio con una doble cubierta de vidrios continuación se mostraran tres edificios, en los cuales gracias a éste sistema se lograron grandes ahorros energéticos.

Imagen 7: Ejemplo de Fachada Ventiladas



Imagen 8: Ejemplo Fachada Ventiladas



6. Antecedentes y Estudio Térmico del Edificio de Ingeniería Civil

6.1 Edificio ingeniería civil:

En el presente capítulo se muestran las características principales del edificio de ingeniería civil y geofísica de la facultad de ciencias físicas y matemáticas de la Universidad de Chile, desde el punto de vista del diseño bioclimático, así como las características del clima al cual está expuesto el edificio.

6.1.1 Descripción del edificio:

El edificio en estudio se encuentra frente a la calle Blanco Encalada y está orientado con su fachada principal hacia el norte, la cual tiene, al igual que las fachadas, un alto porcentaje de termopaneles. Su uso es de oficinas, las cuales se encuentran en los 5 pisos con los que cuenta el edificio. El edificio es de hormigón armado y sus divisiones interiores son, en gran parte, tabiquería o separadores de ambiente de vidrio.

Imagen 9: Edificio Ingeniería Civil de la Universidad de Chile



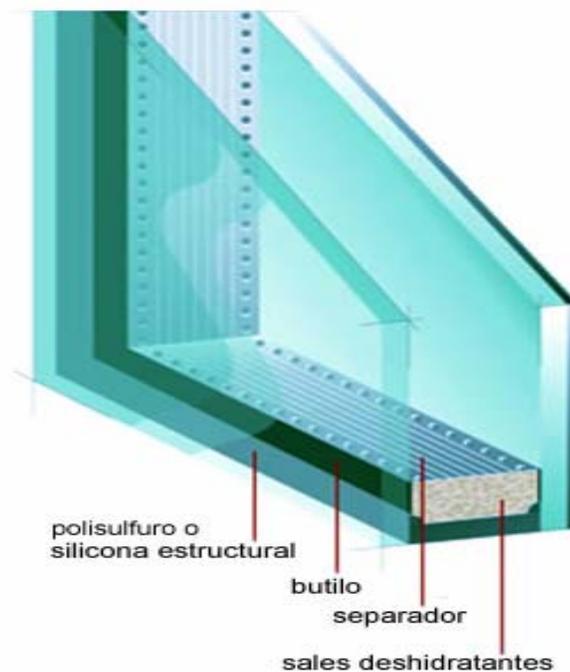
A continuación se muestran Datos generales del edificio

Tabla 4: Características del Edificio de Ingeniería

piso	altura (m)	área (m ²)	volumen (m ³)
1	3,45	1.809	6.241
2	4,5	1.809	8.141
3	3,35	1.540	5.158
4	3,35	1.540	5.158
5	3,35	1.540	5.158
Total	18,00	8.237	29.857

Como se mencionó anteriormente, una gran parte de la fachada del edificio esta compuesta por termopaneles, por la importancia de éstos se muestra a continuación las propiedades de los mismos.

Figura 10: Termopanel



En las siguientes figuras se muestra la tabiquería interior y las separaciones interiores con las que cuenta el edificio.

Imagen 10: Diseño interior del edificio en estudio



Imagen 11: Diseño interior del edificio en estudio



Imagen 12: Diseño interior del edificio en estudio



Imagen 13: Fachada norte del edificio en estudio



En la siguiente tabla se detallan los componentes que conforman la fachada del edificio y las propiedades de los mismos, estos datos son necesarios para el cálculo de ganancias de calor que tiene el edificio en la actualidad.

Envolvente del edificio

Tabla 5: Envoltente del Edificio de Ingeniería Civil

Superficies de la Fachada Expuestas por m2				
Fachada	Termo panel	Muros	Losa sup.	Sub. Total
Norte	675,8	455,44	-	1131,24
Sur	439,1	536,6	-	975,7
Oriente	238,68	447,5	-	686,18
Poniente	408	209,76	-	617,76
Techumbre	-	-	1539,72	1539,7

6.2.1 Sistema de Climatización del edificio y costos actuales

A modo de conocer el gasto energético asociados a refrigeración del edificio de ingeniería civil, se adjuntan a continuación los consumos en Kwh. del mismo, durante un año completo, los datos que se muestran a continuación corresponden al año 2006, debido a que los consumos actuales corresponden a los consumos del edificio de ingeniería civil y el de geología juntos.

A continuación se presentan los gastos totales de energía y el costo de éstos durante el año 2006.

Gráfico 13: Consumo en kWh durante el año 2006

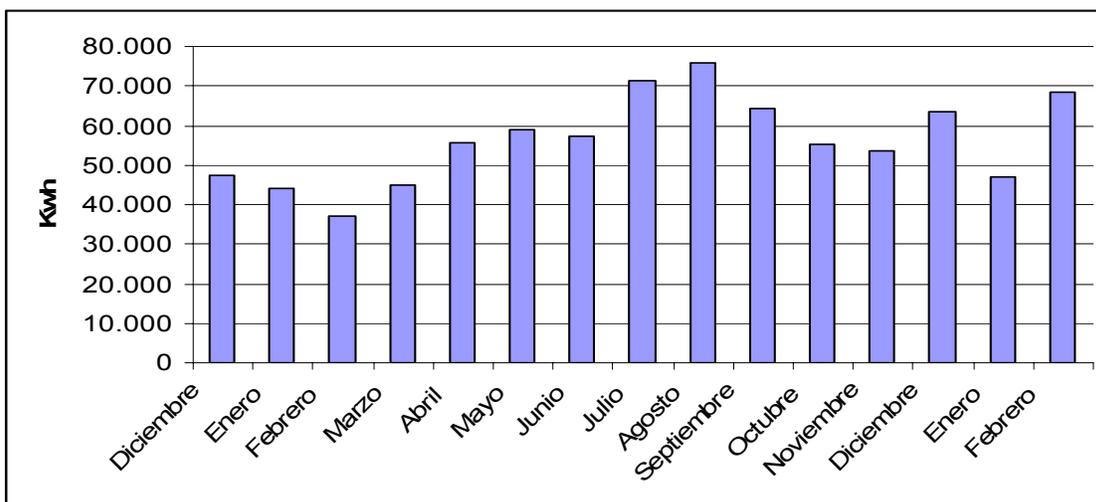
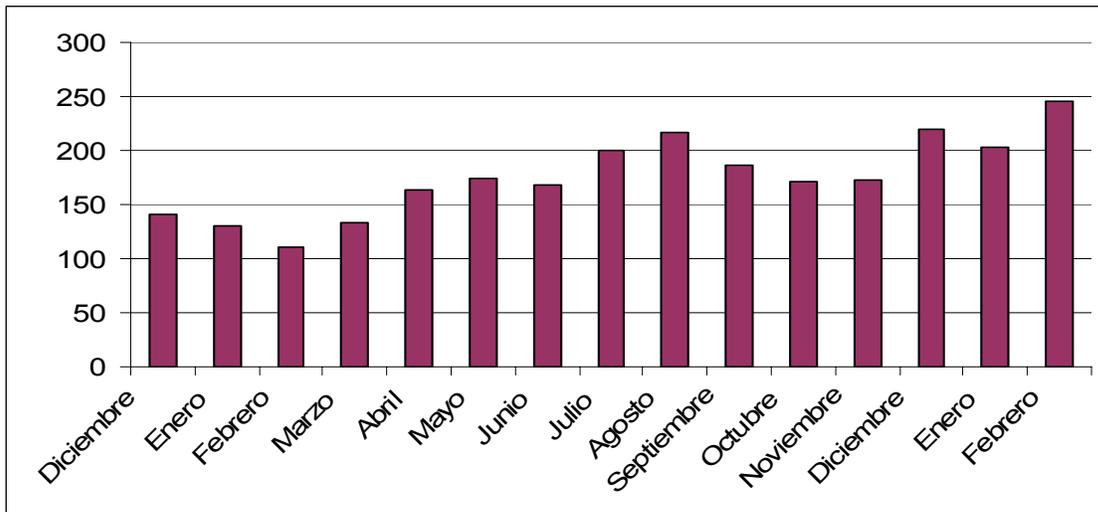


Gráfico 14: Costo en UF del consumo eléctrico durante el año 2006



En base a los consumos medidos en el año 2006 se puede calcular los consumos anuales por metro cuadrado en el edificio de ingeniería, los cuales se muestran a continuación.

Tabla 6: Resumen de Consumos en kWh y kWh/m²

Edificio Ing. Civil	
Consumo Total Anual kWh	682.738
Área Total edificio Ing. (m ²)	8.237
Consumo Prom. kWh/m ² a	82,88

6.2 Estudio Térmico

Debido a las constantes críticas al edificio y su comportamiento en periodos de verano, se realizaron mediciones de su temperatura y humedad durante el verano del presente año, con el fin de poder conocer el real comportamiento del edificio, y de ser el caso, identificar las causas de éste mal desempeño.

Para realizar las mediciones se instalaron medidores de temperatura y humedad, los cuales registraban estos datos cada tres minutos durante ocho días, las zonas elegidas para la instalación de los sensores corresponde las oficinas en todas sus Orientaciones y en los pasillos interiores del edificio.

Los sensores ocupados corresponden a un modelo TK500, el cual es capaz de registrar alrededor de 4000 datos de temperatura y humedad, y fue calibrado en el IDIEM, el cual descargaba los datos ocupando el programa Wickson Ware. El departamento de Habitabilidad del IDIEM cuenta con una gran cantidad de sensores, por lo que se pudo medir en distintas zonas del edificio en el mismo momento.

Dada la importancia que tienen las temperaturas exteriores, durante el periodo de mediciones interiores del edificio, se trabajo en paralelo a las mediciones con la base de datos del Departamento de Geofísica de la Facultad, el cual realiza mediciones diarias de temperatura, humedad y radiación, desde el año 2000. Estas lecturas son realizadas por instrumentos instalados en la terraza superior del edificio en estudio, por lo que representan en forma real el clima al cual este es sometido.

7. Análisis de Resultados Obtenidos (Mediciones)

En este capítulo se analizará los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el edificio de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, con lo que se podrá conocer el comportamiento térmico actual del edificio de ingeniería.

7.1 Mediciones

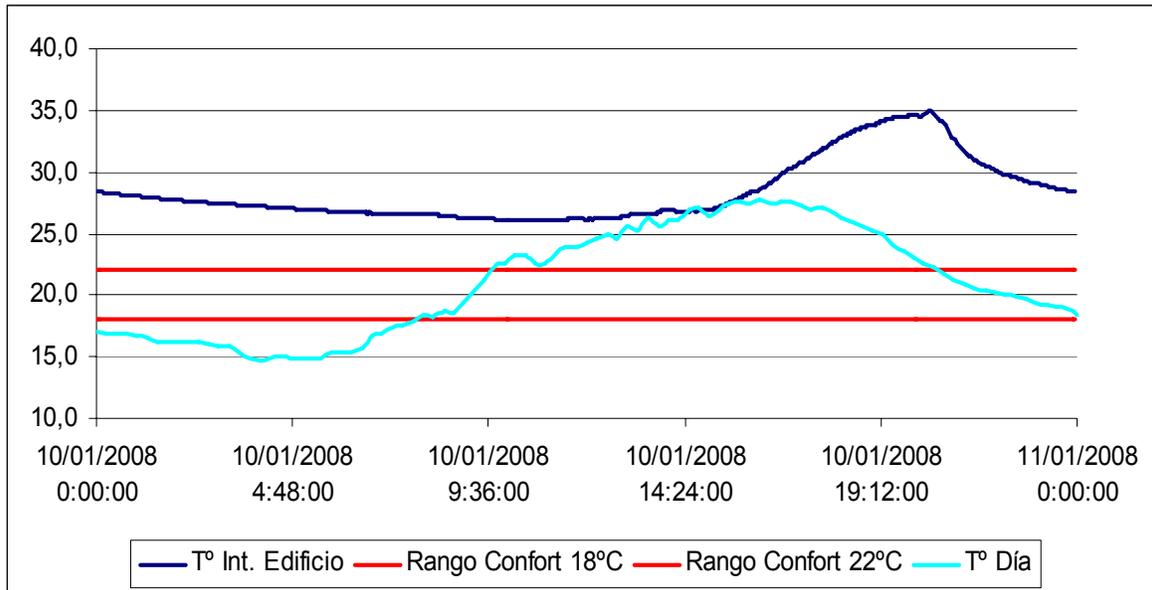
El periodo en el cual se realizaron las mediciones comprende los meses de noviembre del 2007 hasta febrero del 2008, las cuales se tomaron en distintos puntos del edificio con el fin de poder conocer en forma representativa su comportamiento. A modo de comparar las mediciones tomadas dentro del edificio con las temperaturas exteriores, se trabajó también con la base de datos de temperaturas exteriores medidas por el departamento de geofísica en el edificio de ingeniería civil.

Los datos presentados son de los pisos del edificio donde se identificaron los mayores problemas de acumulación de calor. La totalidad de las mediciones tomadas se encuentran en el anexo de este trabajo.

A continuación se presentan algunos de los resultados de las mediciones, la cuales están ordenadas por piso y orientación:

Quinto Piso:

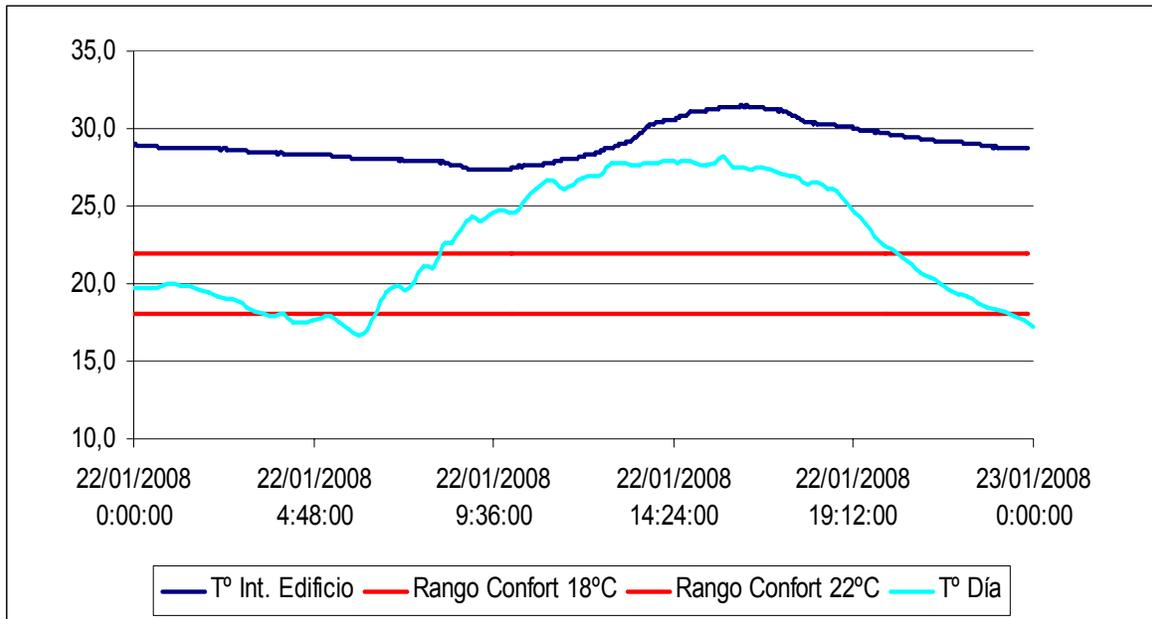
Gráfico 15: Fachada Poniente



El presente gráfico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra en el quinto piso, con ventanas orientadas hacia el poniente. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- Como se puede apreciar en el gráfico, las temperaturas interiores del edificio permanecen muy sobre las temperaturas exteriores durante todo el día, y presentan el máximo a las 8:00 PM, momento en el cual la temperatura interior de este sector del edificio alcanza los 35° C.
- Un punto importante de destacar son las altas temperaturas nocturnas que presenta el edificio, en el caso de esta oficina se presentaron temperaturas cercanas a los 30° C a las 0:00 AM.
- En las mediciones se puede ver la lentitud con que esta oficina pierde calor, entre las 0:00 AM y las 6:00 AM, la temperatura de la habitación disminuyó su temperatura de 29° C y 26° C.

Gráfico 16: Fachada Norte

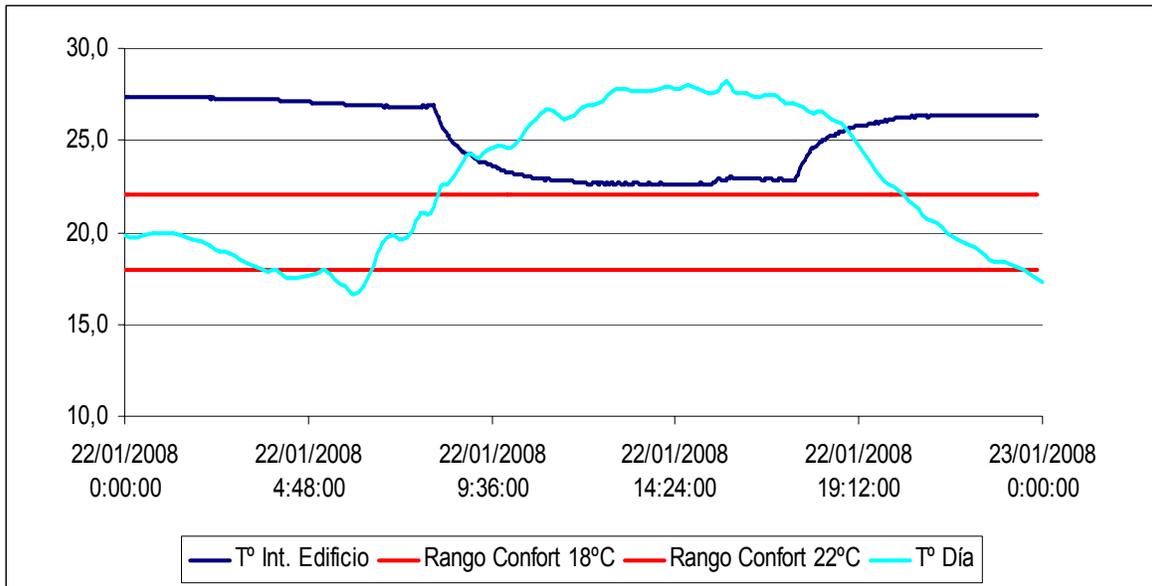


El presente grafico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra el quinto piso, con ventanas orientadas hacia el norte. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- Al revisar el grafico se puede notar la presencia de un peak de temperatura, alrededor de las 5:00 PM ésta alcanza los 32° C, y se presentan temperaturas superiores a los 30° C entre las 14:00 PM y 19:00 PM.
- Un punto importante a destacar es la poca variación de la temperatura de la oficina entre el día y la noche, la cual se mantiene alrededor de los 30° C en forma constante.

Cuarto Piso:

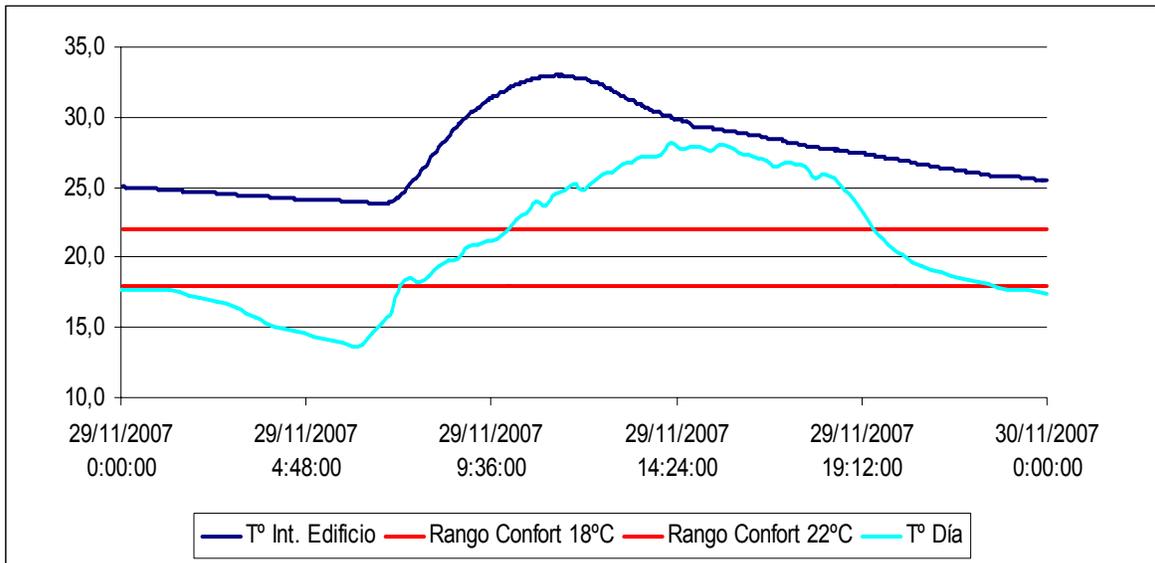
Gráfico 17: Fachada Norte



El gráfico N° 17 corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra en el cuarto piso, con ventanas orientadas hacia el norte. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- En el gráfico se puede ver claramente el momento en que comienza y deja de funcionar el aire acondicionado, la disminución de la temperatura comienza bruscamente a las 7:30 AM, y aumentan a las 18:00 PM, horario en el cual se mantiene encendido los equipos de acondicionamiento térmicos.
- Observando el gráfico se puede apreciar que tanto en el momento de disminución de la temperatura, al comenzar el día, como en el aumento de la misma, pasado las 18:00 PM, la tasa de cambio de la temperatura disminuye en el tiempo. Si bien el aire acondicionado fue encendido a las 7:30 AM, la oficina alcanza una temperatura constante alrededor de las 11:30 AM, para luego volver a la temperatura inicial de 28° C que tenía antes de la utilización de los sistemas mecánicos de enfriamiento.
- al igual que en otras oficinas llaman la atención las altas temperaturas registradas durante la noche, las cuales llegan a 28° C a las 0:00 AM.

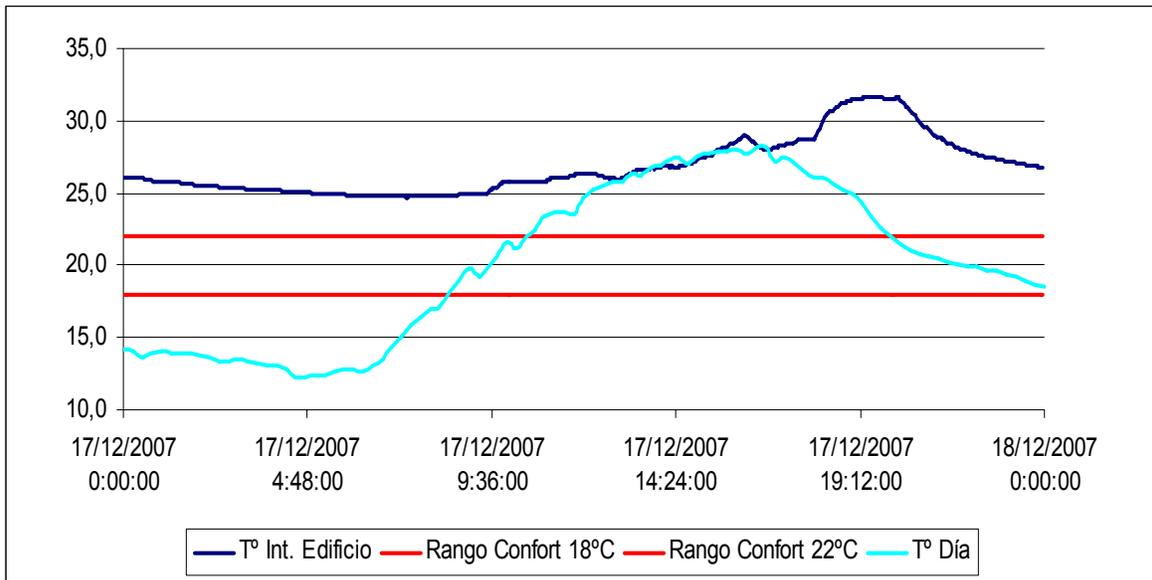
Gráfico 18: Fachada Oriente



El presente grafico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra el cuarto piso, con ventanas orientadas hacia el oriente. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- La principal característica de las oficinas con esta orientación es que el peak de temperaturas se produce entre las 10:00 AM y 11:00 AM, las que en este caso alcanzan valores de 33° C.
- Otro punto a destacar es que las temperaturas mínimas que se observan en las mediciones son menores que en las fachadas norte y poniente, éstas por lo general se encuentran alrededor de los 25° C.
- Con respecto a las temperaturas nocturnas que alcanza esta oficina, si bien presentan una baja, comparándolas con las orientaciones norte y poniente, siguen siendo elevadas y presentan valores de 25° C a las 0:00.

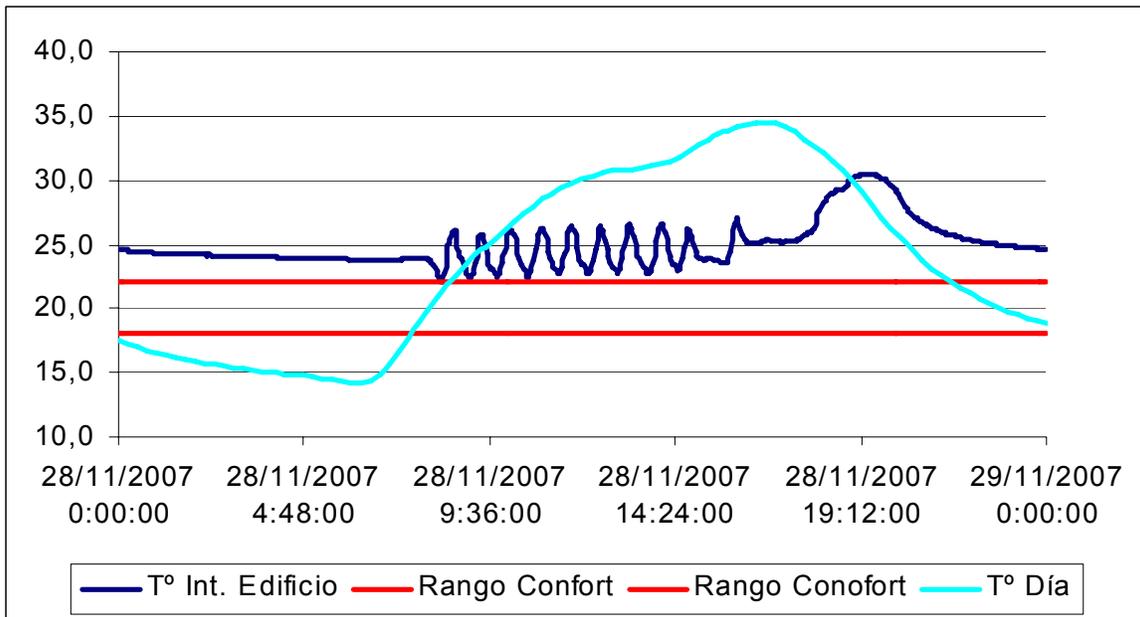
Gráfico 19: Fachada Poniente



El presente grafico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra el cuarto piso, con ventanas orientadas hacia el poniente. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- En el grafico se aprecia que el máximo de temperatura que sufre la oficina alrededor de las 18:30 PM, al igual que en las mediciones anteriores la oficina presenta temperaturas superiores al rango de confort.
- Llama la atención la alta temperatura nocturna, la cual es superior a los 25° C durante toda la noche

Gráfico 20: Fachada Poniente

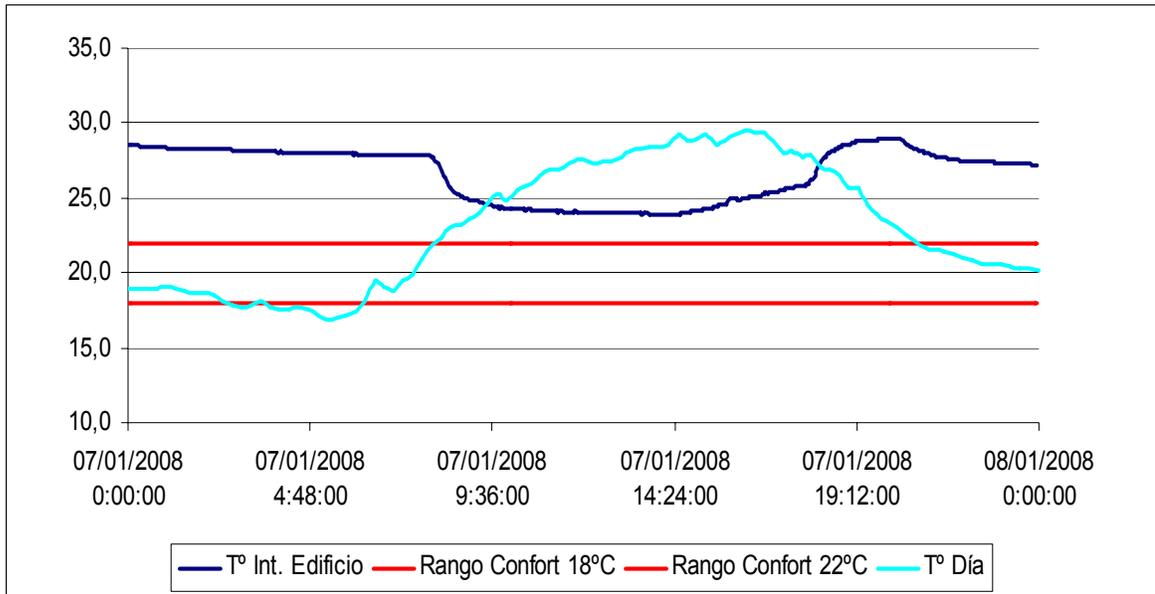


El presente grafico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra el cuarto piso, con ventanas orientadas hacia el poniente. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- A diferencia de los demás gráficos, se nota una gran irregularidad en las mediciones de temperatura. En esta oficina el control del aire acondicionado estaba programado para una temperatura de 22° C, y se encendía automáticamente cuando superaba los 26° C, la cantidad de veces que el aire acondicionado se enciende y se apaga muestra la poca capacidad del edificio de mantener temperaturas de confort térmico.
- Al igual que en grafico anterior, el cual tiene la misma orientación que esta oficina, la temperatura máxima se alcanza después de las 18:00 PM, la cual llega a los 31° C a las 19:30 PM

Tercer Piso:

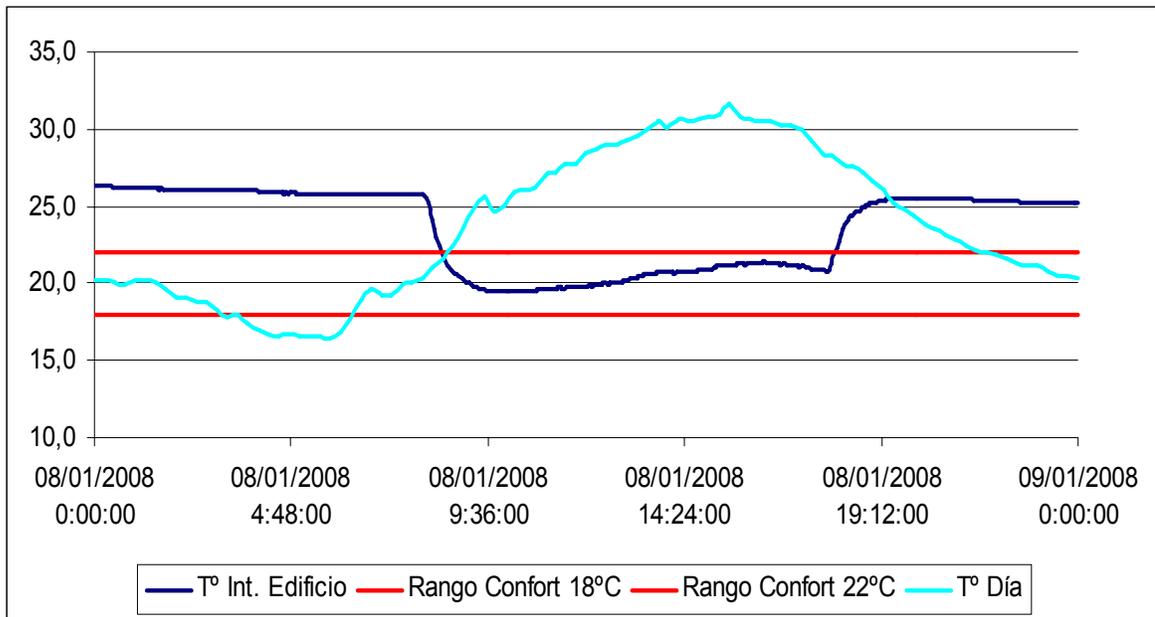
Gráfico 21: Fachada Poniente



El presente gráfico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra en el tercer piso, con ventanas orientadas hacia el poniente. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- Como se ve en el gráfico, se aprecia claramente el periodo de tiempo en que el aire acondicionado se mantuvo encendido, y como al momento de apagarlo la temperatura se eleva rápidamente. El periodo en que los sistemas mecánicos de acondicionamiento funcionan es entre las 7:30 AM y 18:00 PM.
- Las temperaturas máximas que alcanza esta oficina son claramente menores que en los pisos superiores, lo que es producido por la sombra del edificio de Física de la Universidad. La cual se proyecta sobre el edificio de ingeniería civil en los pisos inferiores.

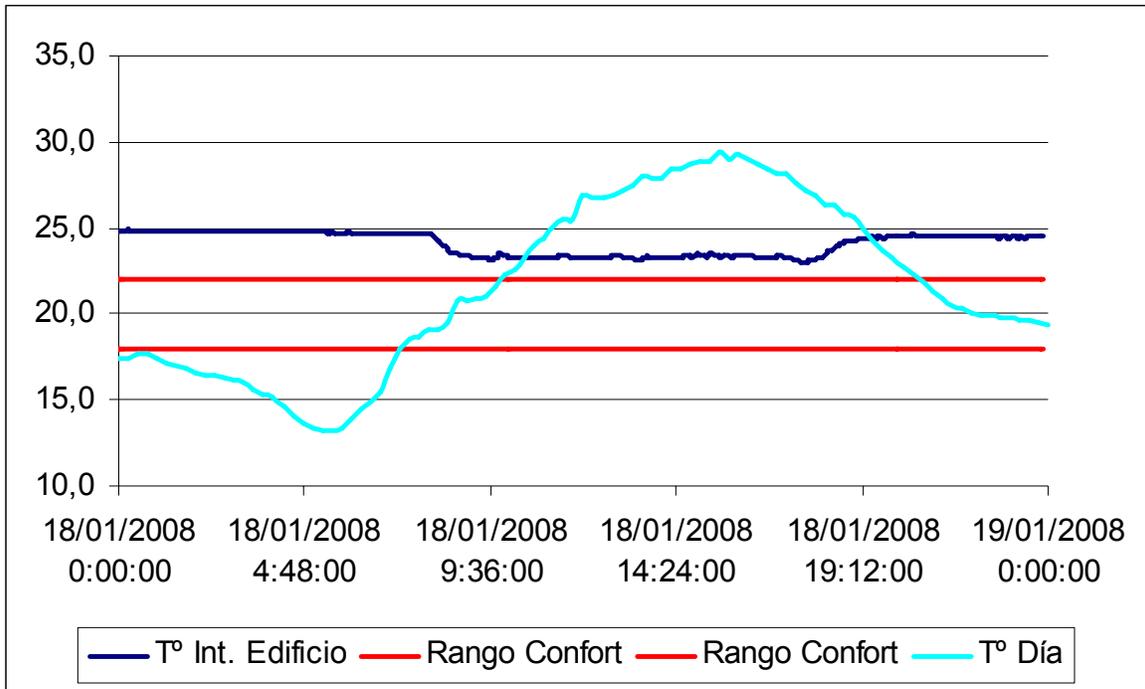
Gráfico 22: Fachada Norte



El presente grafico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra el tercer piso, con ventanas orientadas hacia el Norte. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- Las oficinas de orientación norte ubicadas en el tercer piso son las únicas que en horarios de trabajo alcanzan la temperatura de confort necesaria en oficinas. Estas temperaturas se mantiene prácticamente constante a 20° C entre las 8:00 AM y las 18:00, hora en que los sistemas mecánicos de acondicionamiento dejan de funcionar
- Se ve con claridad el alza de temperatura después de las 18:00 elevando la temperatura sobre los 25° C, temperatura que permanece constante durante toda la noche.

Grafico 23: Pasillos interiores del edificio en estudio



El presente grafico corresponde a una oficina del edificio de Ingeniería Civil, la cual se encuentra el tercer piso, con ventanas orientadas hacia el Norte. Las mediciones se realizaron en un día hábil y bajo condiciones normales de trabajo.

- Llama la atención en este grafico la bajas temperaturas medidas en los pasillos, si se comparan con las oficinas contiguas esta diferencia puede llegar a superar los 10° C.
- Si bien se nota el periodo de tiempo en el cual funciona el aire acondicionado, las temperaturas nunca alcanzan temperaturas definidas como de confort.

7.2 Análisis

A modo de facilitar el análisis de las mediciones, éstas se separaron según la orientación del edificio donde se tomaron. Como se verá a continuación los problemas que se identificaron en el edificio dependen de la orientación y de la hora del día en que se analice.

La orientación Poniente es la que presentó mayores temperaturas en el periodo de medición, el momento del día en que éstas temperaturas llegan a su máxima es entre las 17:30 y las 20:00 horas, donde con facilidad superan los 35° C. en los días más calurosos, al revisar las temperaturas medidas, se puede apreciar que las máximas temperaturas se alcanzan en el quinto piso, disminuyendo en alrededor de 2° C. a 3° C. por piso.

Con respecto a las mediciones tomadas en las oficinas con orientación Oriente, se puede apreciar que estas oficinas presentan sus máximas temperaturas entre las 9:00 y 13:00 horas, llegando a los 33° C. alrededor de las 11:00 AM.

Las oficinas con orientación Norte presentan valores máximos de temperatura menores que las otras dos orientaciones, pero sobre éstos valores son más constantes durante todo el día, manteniéndose alrededor de los 30° C. en forma permanente, al igual que en la fachada Poniente estos valores disminuyen sus valores a medida que se baja en los pisos, ésta disminución es entre 2° C. a 3° C. por piso.

Con respecto a las mediciones tomadas en los pasillos interiores del edificio, se puede decir que éstas se caracterizan por alcanzar temperaturas máximas menores a la de las oficinas perimetrales del edificio, las temperaturas medidas rara vez superan los 25° C, y estas se mantienen constantes durante todo el día.

Como se puede deducir, la variable más importante que condiciona el comportamiento térmico de éste edificio es la incidencia de la radiación solar, esto explica los horarios en que se obtienen las máximas temperaturas en las fachadas Oriente y Poniente. En base a estos datos, se deduce que uno de los causantes del comportamiento térmico actual del edificio de Ingeniería es el exceso de termopaneles que se ocupa en la fachada, si bien este tipo de ventana exterior es muy útil para impedir el traspaso de calor por convección, no impide el ingreso de calor por radiación al edificio, generando el efecto invernadero mencionado

anteriormente, generando una concentración de calor al interior del edificio, concentración que explica que se llegue a temperaturas interiores superiores a los 35° C.

Al revisar las mediciones de temperatura tomadas en el edificio en estudio, uno de los primeros problemas que se pueden identificar son las diferencias existentes entre las temperaturas máximas que éste alcanza, las cuales varían según el piso, orientación e inclusive entre los pasillos y las oficinas existentes en cada piso. La razón por la cual se generan estas diferencias de temperatura se debe, principalmente, a la poca o nula circulación de aire entre los distintos ambientes del edificio, lo que se puede confirmar al ver las grandes diferencias de temperatura, las cuales llegar a ser de hasta 10° C entre una oficina y su pasillo contiguo.

Otro aspecto importante en el comportamiento térmico del edificio, es la baja renovación del aire que éste tiene, en cada piso solo existen 2 ventanas que se pueden abrir, las cuales se encuentran dentro de oficinas que no siempre son ocupadas, por lo que las puertas de las mismas por lo general se encuentran cerradas, limitando las renovaciones de aire en el interior e impidiendo al edificio eliminar calor.

Una cualidad importante de un edificio es su capacidad de absorber calor, está capacidad esta dada principalmente por las masas de hormigón que lo conforman. En las mediciones realizadas se puede observar que las temperaturas del edificio son bastante constantes y muy altas durante el día y la noche, en los gráficos se muestran temperaturas de 30° C a las 0:00 AM, las cuales no bajan hasta que al día siguiente se vuelven a ocupar los sistemas mecánicos de enfriamiento con los que cuenta el edificio. La principal razón por la cual las temperaturas se mantienen altas y constantes se debe principalmente a la alta inercia térmica que presenta el edificio la cual esta asociada a las masas de hormigón del mismo, alrededor de 1500 m³, y la capacidad aislante que tienen los vidrios que retardan la pérdida de calor del mismo. Si bien éste retardo en la pérdida de calor es deseado en condiciones de invierno, debido a que reduce los costos asociados a calentar el edificio, en verano produce, durante gran parte del día, que las temperaturas internas de éste sean mayores que las externas, provocando incomodidad en los ocupantes.

Los elementos internos de los edificios, como son las separaciones interiores, ayudan a almacenar calor en momentos del día donde el ingreso de calor supera a la capacidad de los sistemas mecánicos, un factor importante de éste edificio son los materiales ocupados para las

terminaciones interiores del mismo, la tabaquería liviana y las separaciones de vidrio tienen baja masa térmica, lo que limita la capacidad de estos materiales de absorber el calor en el interior.

Con todos los problemas antes mencionados, se puede concluir que el comportamiento térmico actual del edificio, desde el punto de vista térmico, es bastante deficiente y las mayores concentraciones de calor se concentran en los pisos 4° C y 5° C, llegando en algunos casos a superar los 35° grados en las oficinas con orientación poniente.

Con respecto a los gastos asociados a calefacción y refrigeración, se pudo notar que los consumos de los edificios son bastante menores que los promedios obtenidos por el CDT para edificios de oficinas en la ciudad de Santiago. En éste estudio se llegó a que los promedios de consumo en Santiago llegarían a 165Kwh/m²a de los cuales 86 Kwh./m²a correspondían solamente a la climatización de los mismos. En el edificio de ingeniería se llega a que los consumos totales, considerando climatización y uso, corresponden a solo 82Kwh/m²a.

Una manera de explicar el comportamiento anteriormente mencionado se puede explicar debido a la baja densidad de personas y equipos consumidores de energía que existe en el edificio si se compara con un edificio de oficinas promedio

8. Conclusiones y Comentarios

En el presente capítulo se propondrán algunas de las soluciones mencionadas en el capítulo anterior, con las que se pretende mitigar los problemas térmicos descritos en el edificio de ingeniería.

Como se pudo observar en capítulos anteriores, existen distintos métodos, de poco consumo energético que se pueden implementar en los edificios para obtener condiciones de confort higrotérmico en el interior de las edificaciones, los bajos costos energéticos asociados a estos métodos los hacen bastante convenientes en edificios que pese a tener sistemas mecánicos de enfriamiento no logran obtener condiciones de confort en el interior. Basándose en los problemas identificados en el edificio y en las técnicas de refrigeración pasiva antes mencionados, se darán una serie de recomendaciones que tienen como fin mejorar el comportamiento térmico actual de éste.

Con respecto a las diferencias de temperaturas antes mencionadas entre las distintas zonas del edificio (pasillos y oficinas), se propone aumentar la conexión entre los distintos ambientes del edificio, los motivos de esto es conseguir una temperatura promedio en cada piso, la cual sería menor a las máximas actuales, los volúmenes de aire que hay en los pasillos y sectores interiores del edificio son mucho mayores que los volúmenes asociados a las oficinas perimetrales, y la temperatura promedio de los mismos, según las mediciones tomadas, nunca supera los 25° C, con lo que se reduciría la temperatura de las oficinas al introducir el aire a menor temperatura. Debido a que el edificio es prácticamente sellado la simple unión de ambientes no garantiza el movimiento de aire necesario para poder obtener temperaturas promedio más bajas, por lo que junto con esto, es necesaria la implementación de un sistema de aireación que sea capaz de generar intercambios de aire en todos los ambientes de cada nivel, el que provocarían el resultado deseado.

El punto más importante a tratar, son las altas temperaturas medidas durante la noche, en el desarrollo de este estudio se mostraron trabajos en los cuales la ventilación nocturna redujo los costos asociados a refrigeración entre un 20% y 25%. Esta opción resulta muy atractiva para este edificio debido a su bajo impacto en la implementación y debido a que en su uso también se consideran necesaria la instalación de ventiladores.

Como se sabe el sistema de climatización del edificio en estudio funciona solamente entre las 8:00 AM y las 18:00 PM, luego implementar la ventilación nocturna provocaría

condiciones de confort durante la mañana sin la necesidad de sistemas mecánicos, lo que abre la opción a modificar los horarios de funcionamiento de éstos, con el fin de reducir los aumentos de temperaturas mostrados después de las 18:00 PM. (Se recuerda que se midieron temperaturas de casi 35° C. después de las 19:30 PM)

Basándose en las mediciones tomadas, y el fin de conseguir condiciones de confort sin provocar un aumento importante en el consumo actual del edificio, se llega a que la ventilación nocturna es la opción más apropiada para mejorar el comportamiento actual de éste. Las características del mismo, como su alta inercia térmica y la facilidad de implementar conexiones entre los distintos ambientes sin generar grandes cambios hacen de la ventilación nocturna la opción más simple y de mayor impacto en el comportamiento térmico del edificio. Para desarrollar esta opción, debe diseñarse un sistema de ventilación cruzada capaz de generar intercambios de aire, mayores a dos renovaciones de aire por hora.

Análisis de la solución propuesta

Como se mostró en el capítulo 4, la ventilación nocturna consiste en hacer ingresar grandes volúmenes de aire al edificio durante la noche, el cual en el caso de Santiago, tiene una temperatura promedio de 15° C. El ingreso de aire a esa temperatura extrae el calor absorbido por las masas de hormigón durante el día y reduciría las altas temperaturas medidas durante las noches en el edificio. Dependiendo de la cantidad de renovaciones de aire por hora, este método puede reducir la temperatura de interior del edificio entre 6° C a 12° C durante la noche.

Cálculos:

Datos de las masas de hormigón del edificio:

Tabla 7: Propiedades del Hormigón

Hormigón		
Densidad	2.500	Kg./m3
Volumen	1.500	m3
Masa	3.750.000	Kg.
calor específico	239,0	Cal/Kg. ° C

Con respecto a la ventilación nocturna, se puede calcular la cantidad de calor que es capaz de eliminar del edificio, dependiendo de la disminución de temperatura que se consiga en las masas de hormigón con respecto a su temperatura promedio. Según lo medido se estima la temperatura promedio de estas es de alrededor de los 25° C.

A continuación se muestra la cantidad de calor que se podría eliminar del edificio si se redujera la temperatura interior desde 1° C a 12° C:

Tabla 8: Potencial eliminación de calor a distintas temperaturas

Δ Temp. ° C	Calorías	WWW.	kWh.
12,0	10.755.000.000	12.517.684,7	12.517,7
11,0	9.858.750.000	11.474.544,3	11.474,5
10,0	8.962.500.000	10.431.403,9	10.431,4
9,0	8.066.250.000	9.388.263,5	9.388,3
8,0	7.170.000.000	8.345.123,1	8.345,1
7,0	6.273.750.000	7.301.982,7	7.302,0
6,0	5.377.500.000	6.258.842,4	6.258,8
5,0	4.481.250.000	5.215.702,0	5.215,7
4,0	3.585.000.000	4.172.561,6	4.172,6
3,0	2.688.750.000	3.129.421,2	3.129,4
2,0	1.792.500.000	2.086.280,8	2.086,3
1,0	896.250.000	1.043.140,4	1.043,1
0,0	0,0	0,0	0,0

Asumiendo una disminución de 8° C en el interior del edificio, se puede ver en la tabla la cantidad de calor que la ventilación nocturna es capaz de eliminar desde el interior del edificio.

En base a los metros cuadrados de termopaneles y la cantidad de radiación recibida por metro cuadrado, se calcula a continuación la cantidad de energía que ingresa al edificio de Ingeniería Civil, para el calculo de la radiación que ingresa al edificio se considero un ingreso del 65% de la radiación total incidente (), suponiendo que la energía absorbida ingresa en un 50% al edificio:

Tabla 9: Calculo de ingreso de radiación

termopaneles				
orientación	m2	% ingreso	kWh./m2	kWh. Totales
norte	675,8	65%	78	34.263,1
oriente y poniente	323,0	65%	160	33.592,0
Total	998,8			67.855,1
Ingreso Diario				2.188,9

Al revisar los consumos en el edificio de ingeniería se puede calcular un promedio para los consumos en periodos de verano, los cuales corresponden a 59.712 kWh. durante los meses de diciembre a febrero. Si se asume un consumo uniforme de energía en el edificio se llega a que diariamente el edificio consume un promedio de 2000 kWh. De los cuales, si el sigue los comportamientos normales de un edificio de oficina ubicado en la tercera zona térmica, se puede asumir que alrededor del 50% de este consumo está asociado a refrigeración (**1000 kWh.**).

De los datos, se nota que la energía que ingresa el edificio (2200 kWh.) es mucho mayor a la energía destinada a eliminarlo (alrededor de 1000 kWh.), lo que explica las altas temperaturas internas, y la ineficacia de los sistemas mecánicos de acondicionamiento.

En base a esta falta de recursos mecánicos, para eliminar en su totalidad el exceso de calor, la ventilación nocturna resulta un sistema bastante atractivo para mejorar el comportamiento térmico del edificio, según se muestra en la tabla 8, este sistema es capaz de eliminar en su totalidad la energía que ingresa al edificio, por lo que se podría eliminar el uso permanente del aire acondicionado o bien trasladar su rango de uso de 8:00 AM a 18:00 PM a horarios donde fuera mas necesario (se recuerda que alrededor de las 19:30 PM se registran temperaturas superiores a los 30 grados en algunas oficinas).

Bibliografía

Bibliografía y Referencias

-“El vidrio en la construcción y su aplicación en equipamientos urbanos de interés Social de la Región NEA, según principios de arquitectura bioclimática”: Boutet, Maria Laura – Jacobo, Guillermo José.

Universidad Nacional del Nordeste

-“Análisis energético global de un edificio de oficinas con fachada de vidrio acristalada incorporando fachadas fotovoltaicas”: D. Manuel Macías Miranda. Profesor de Ciencias Ambientales de la Universidad Politécnica de Madrid

-“Edificio Raúl Varela”: Revista BIT junio 2000

-“Auditoria Energética de edificios”: Arq. Guillermo E. Gonzalo.

-“Optimización Energética”. Revista del Colegio de Arquitectura CA, edición 133 Diciembre-enero-febrero 2007-2008.

-“Ergonomía 2”: Enrique Gregori Torada; Santiago Comas Úriz; Pedro Rodríguez Mondelo.

-“impacto solar en fachadas. Metodologías para la determinación de características termolumínicas en envolventes vidriadas”: Susana Eguia, John Martin Evans, Julian Evans, Alejandro Pérez. Fundación Príncipe Claus para la cultura y el desarrollo.

-NCh 853: Envolvente térmica de edificios, métodos de cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

-NCh 1960: Aislación Térmica: calculo de coeficientes volumétricos globales de perdidas de energía.

-Apuntes del curso Física de la Construcción: G. Rodríguez.

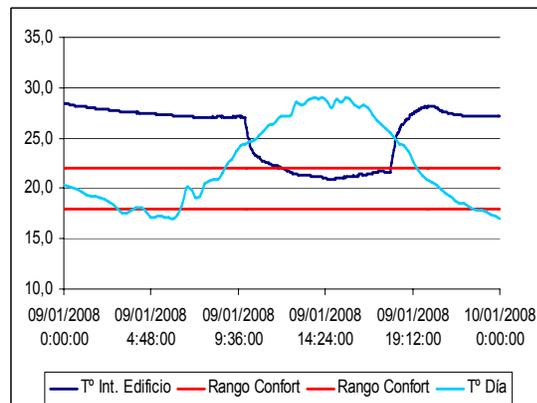
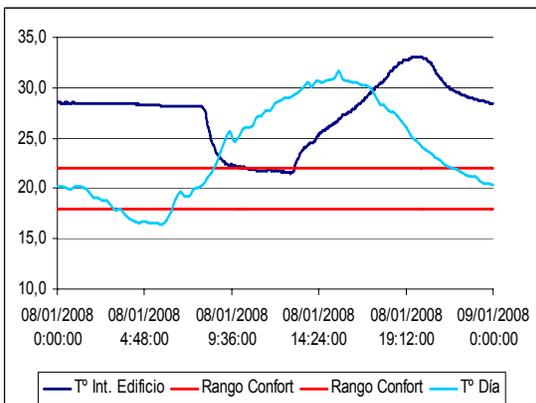
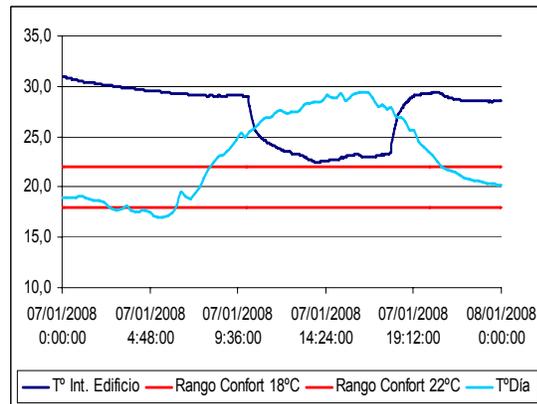
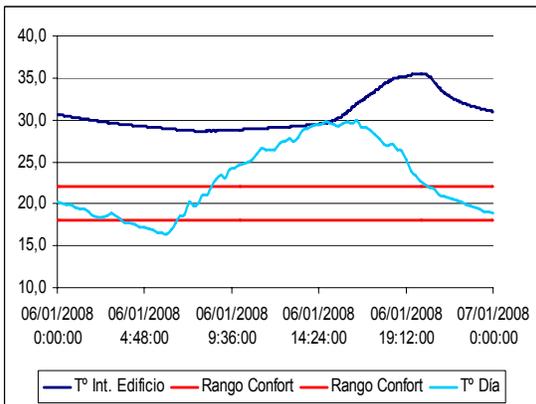
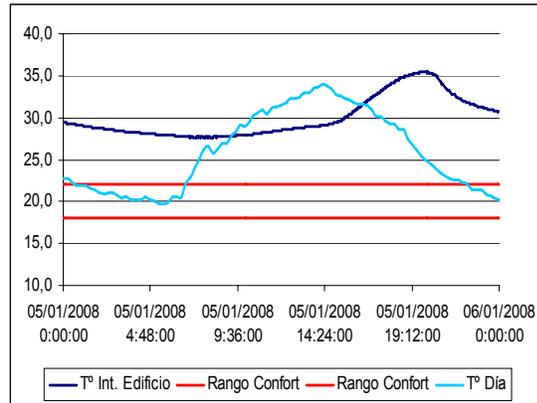
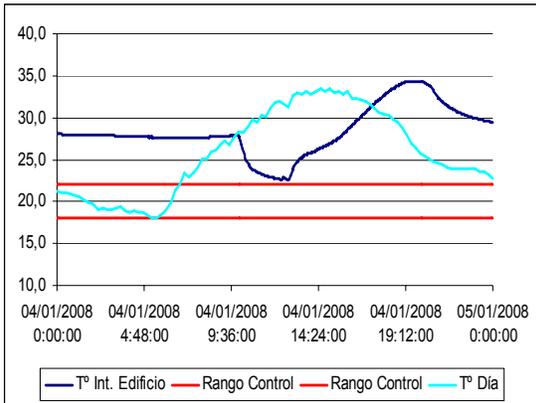
-“Optimización Energética” Revista CA, Colegio de arquitectura 133 Diciembre Enero y Febrero 2007-2008.

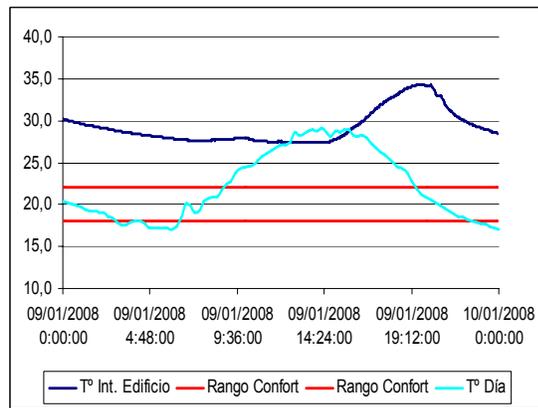
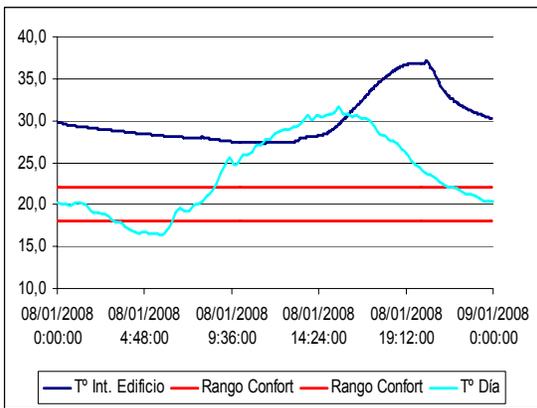
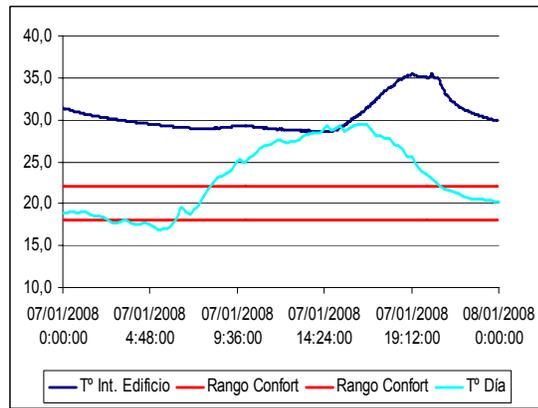
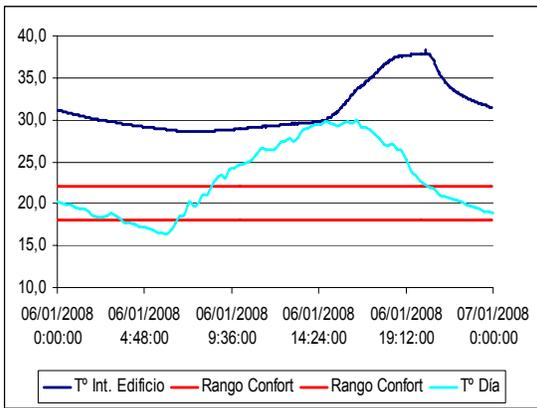
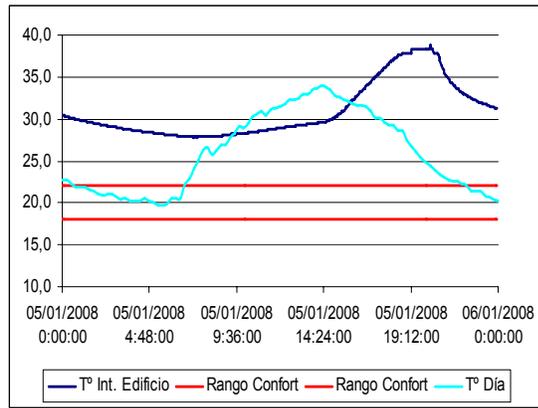
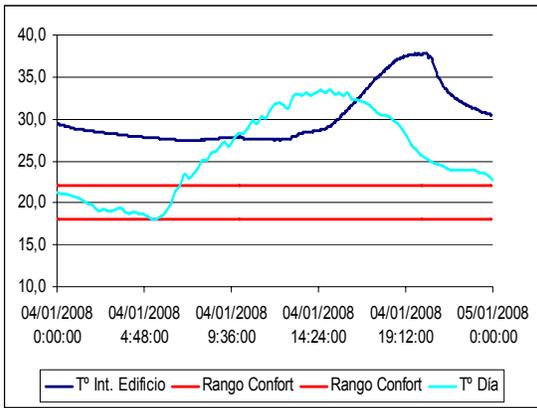
- “El ahorro energético en la climatización de edificios” www.energia.com:

- Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción. Guía de Diseño y Construcción sustentable.

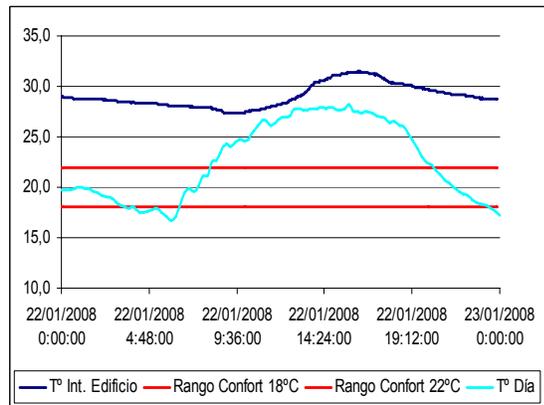
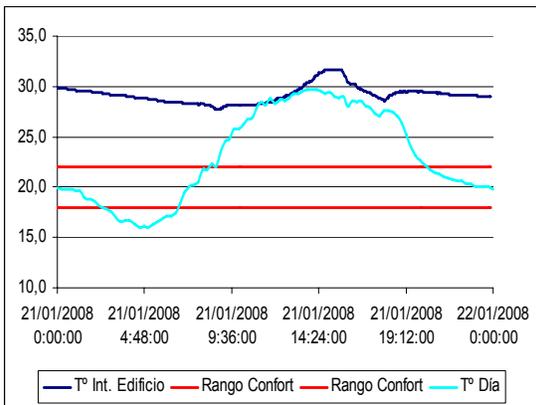
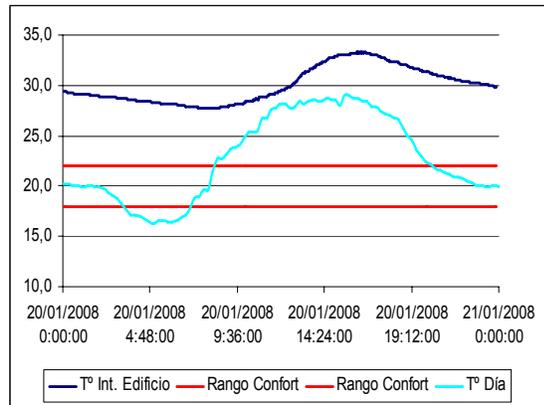
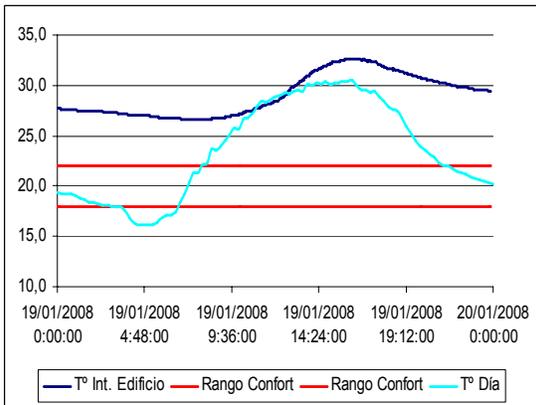
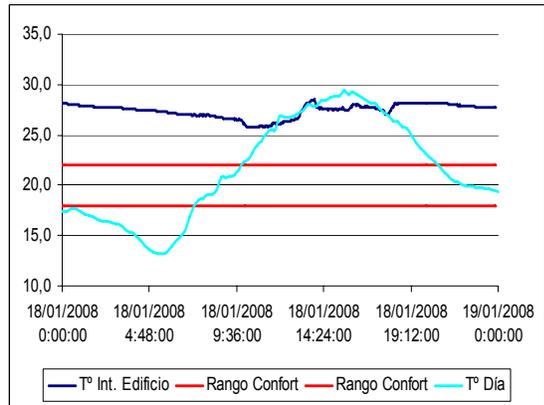
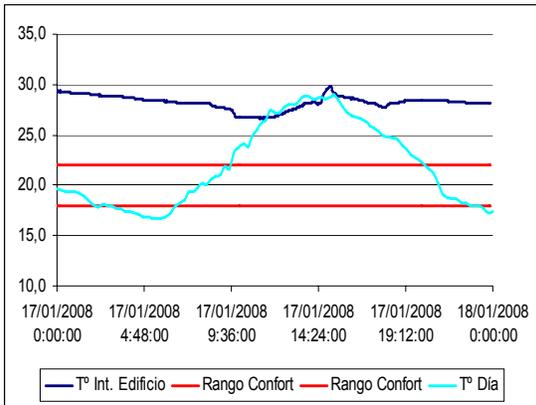
ANEXO

A continuación se muestran las mediciones realizadas en una oficina del quinto piso del edificio de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, cuya vista tiene orientación poniente.

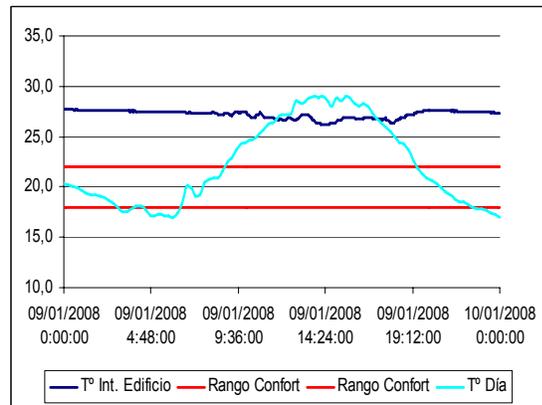
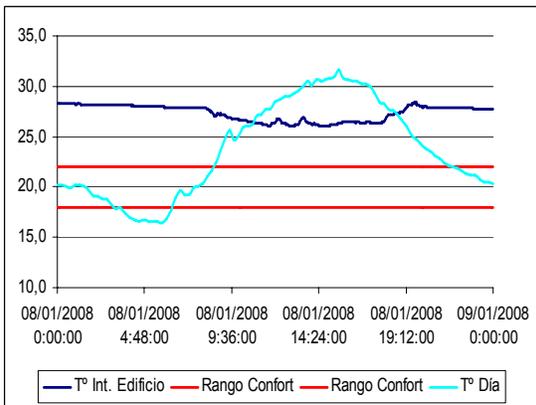
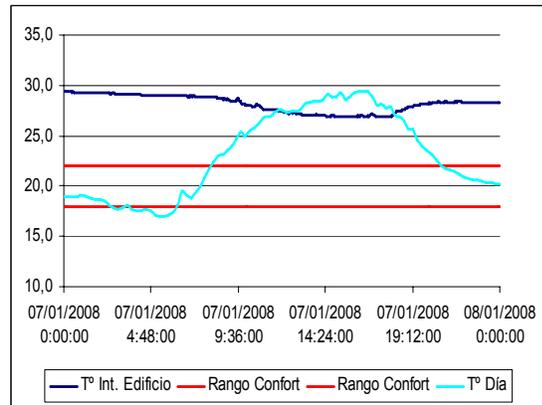
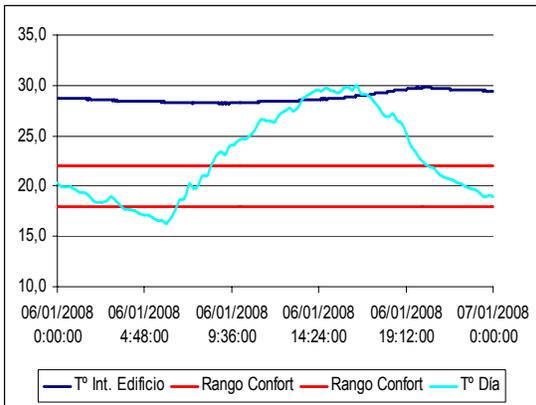
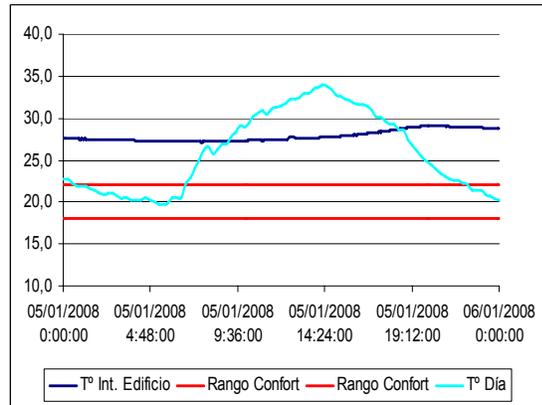
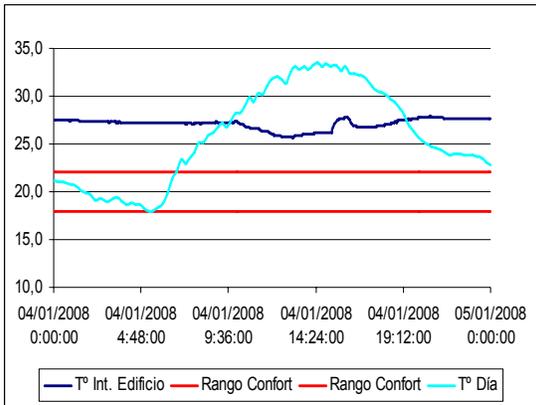




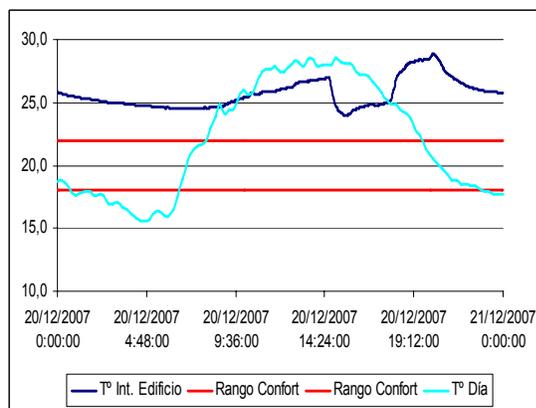
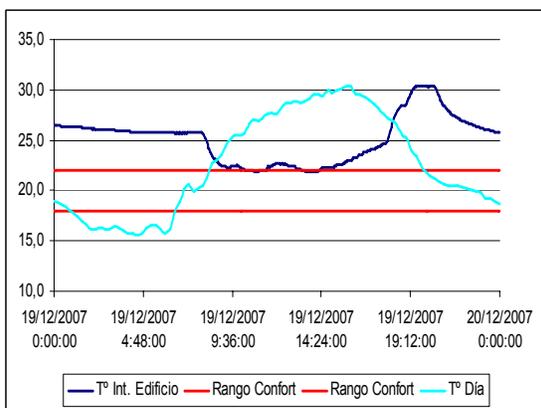
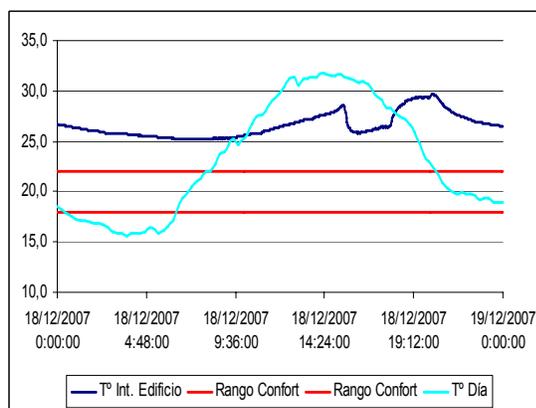
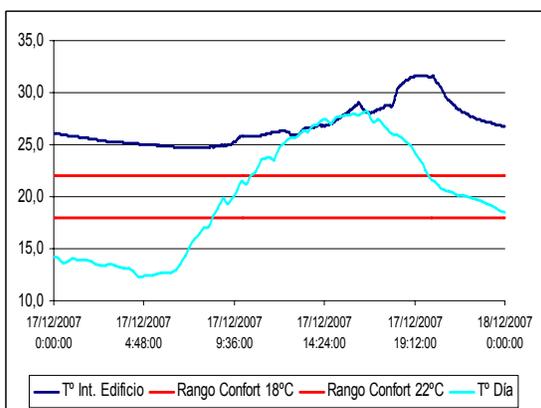
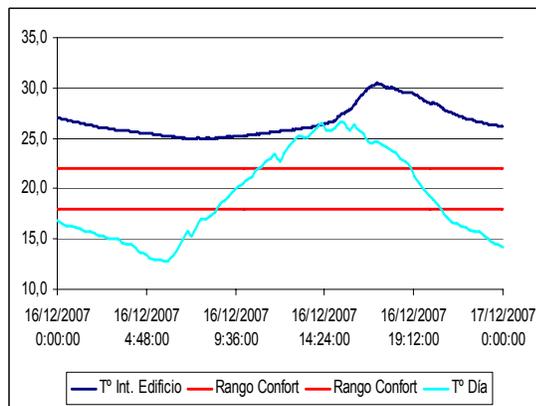
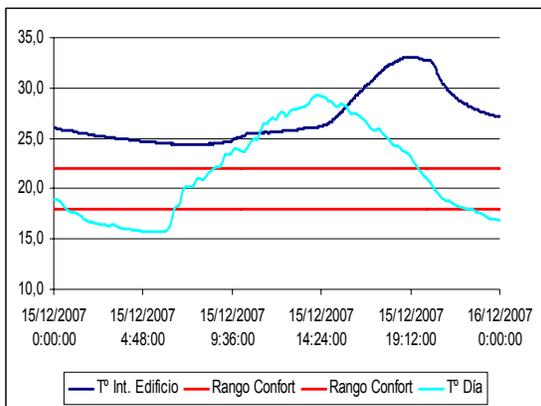
Las siguientes mediciones se realizaron en la fachada norte del edificio en estudio

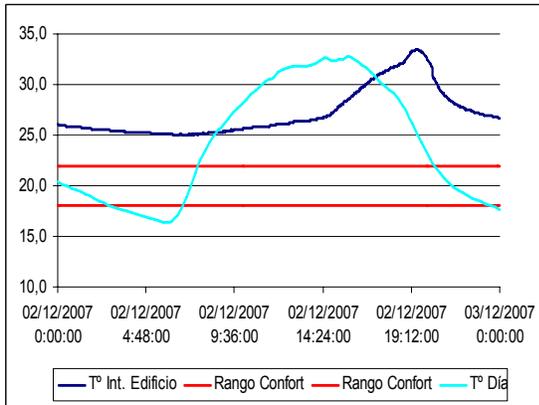
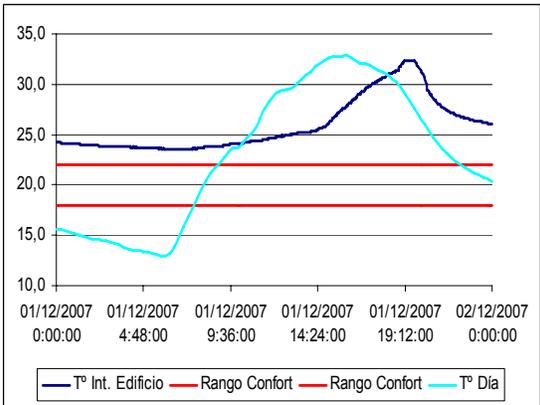
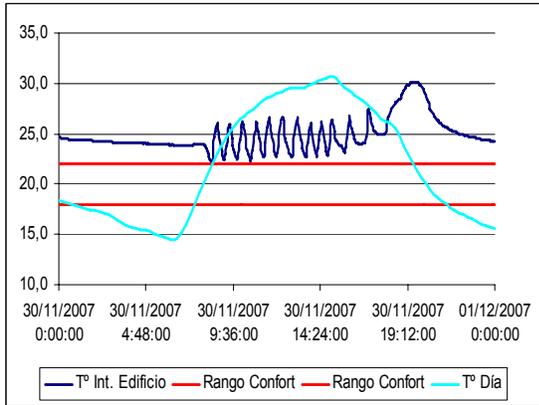
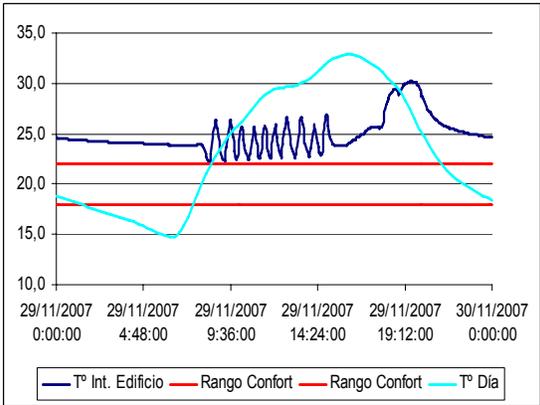
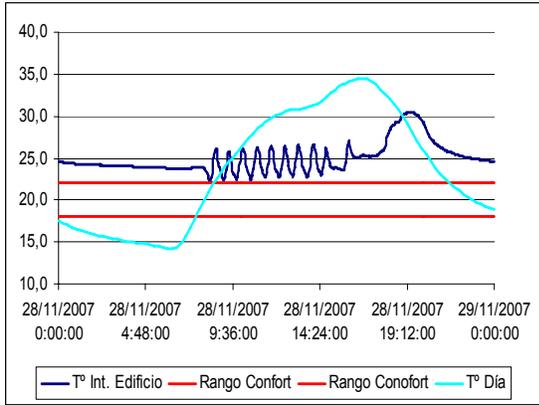
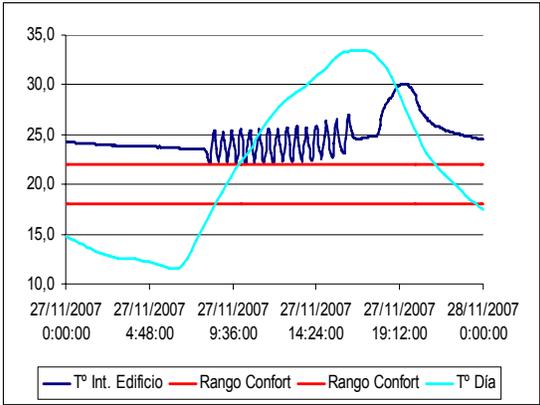


Mediciones realizadas en los pasillos interiores del edificio en estudio

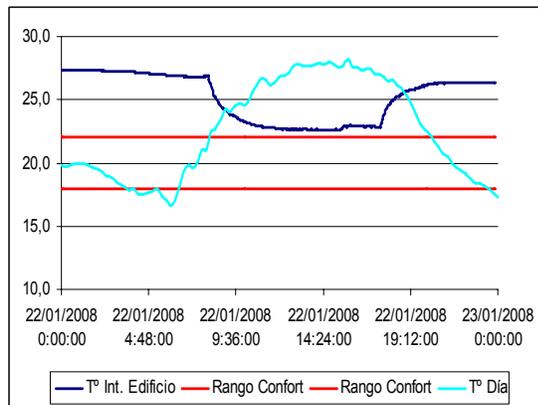
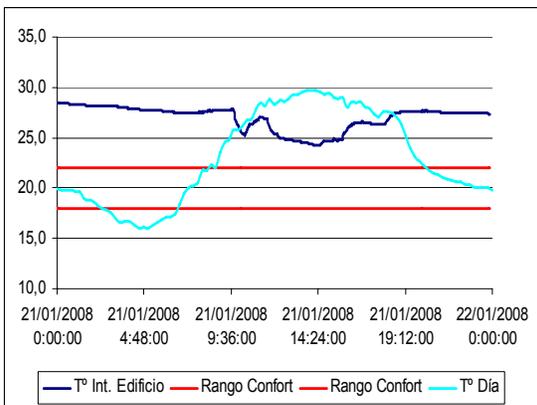
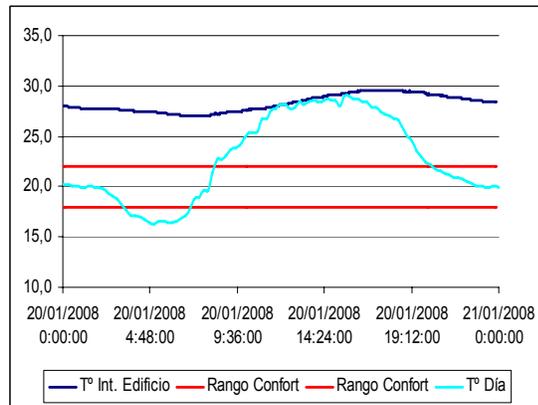
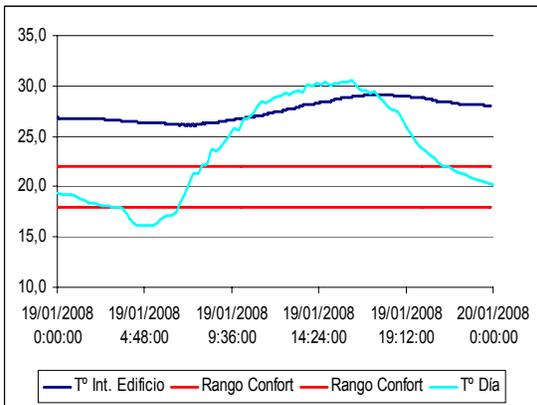
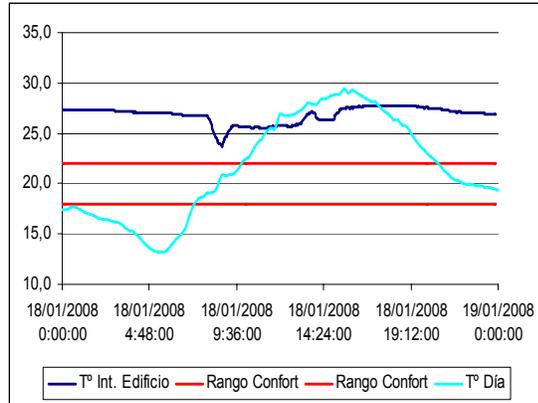
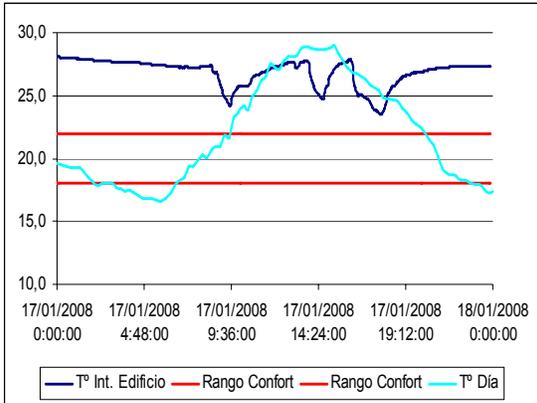


Mediciones realizadas en una oficina del cuarto piso del edificio en estudio, con la orientación poniente.

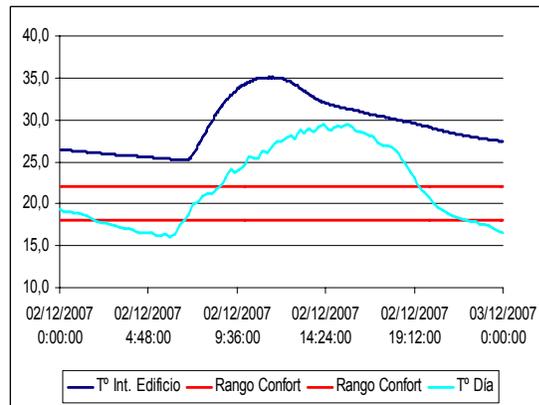
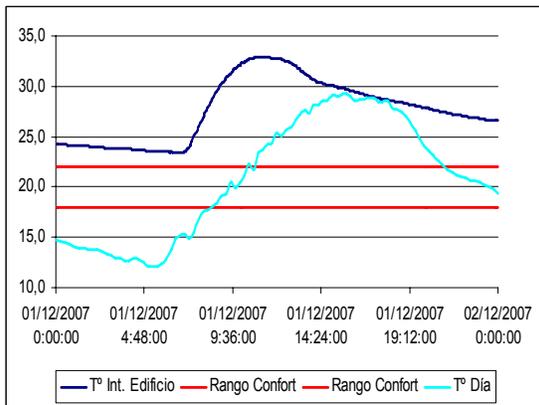
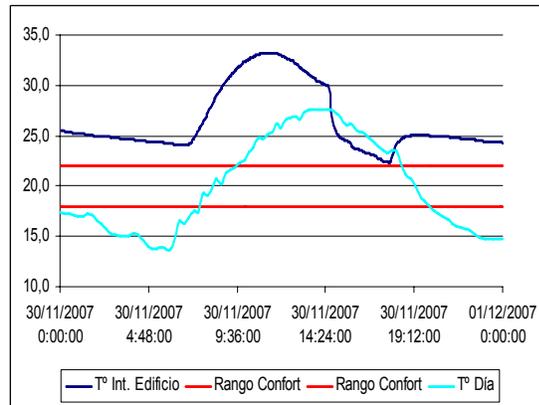
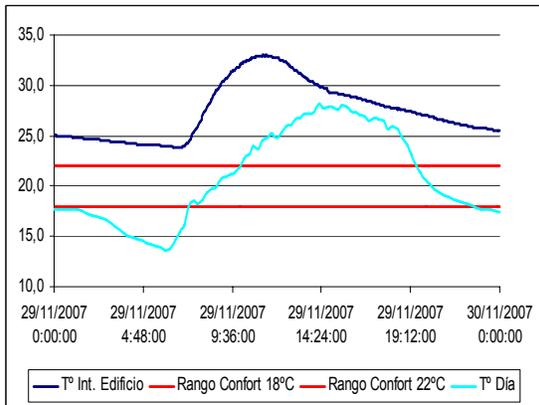
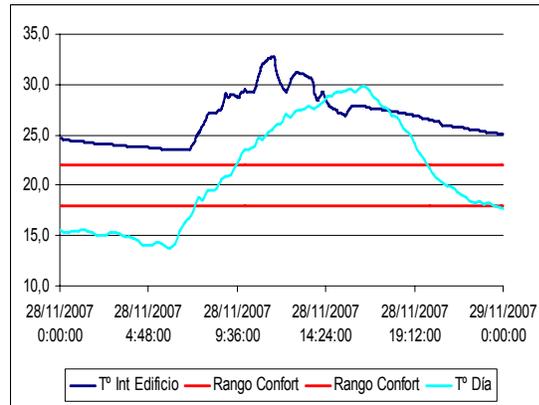
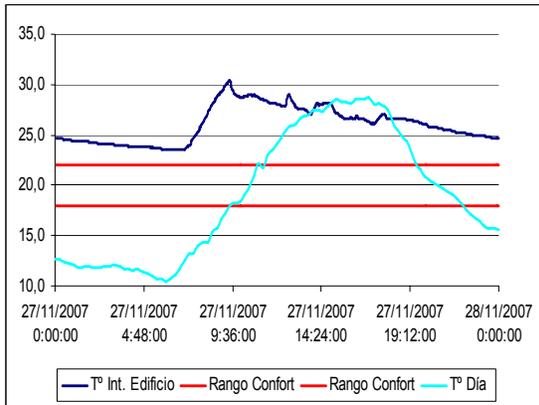




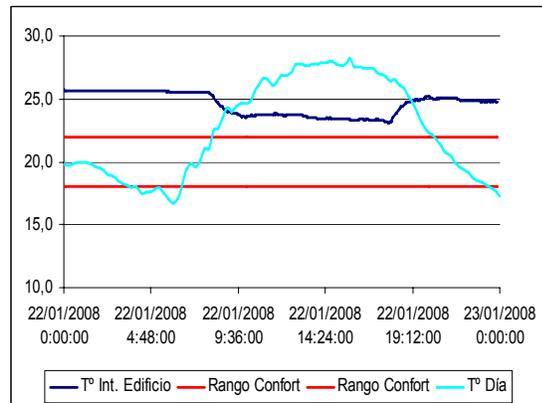
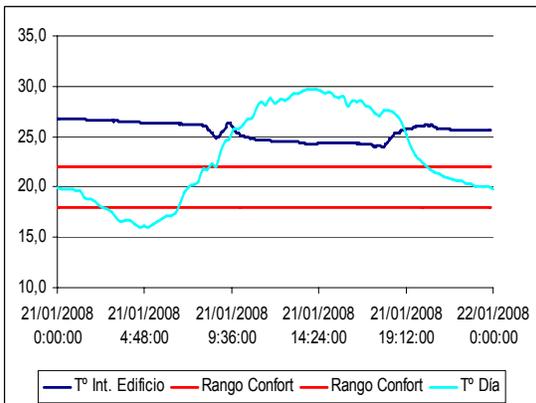
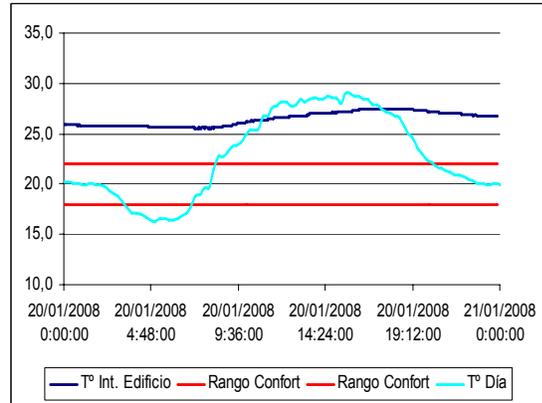
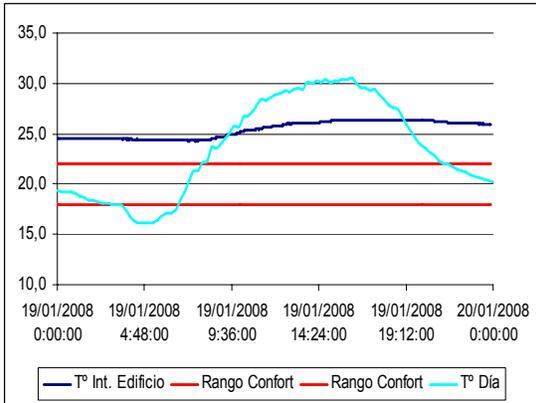
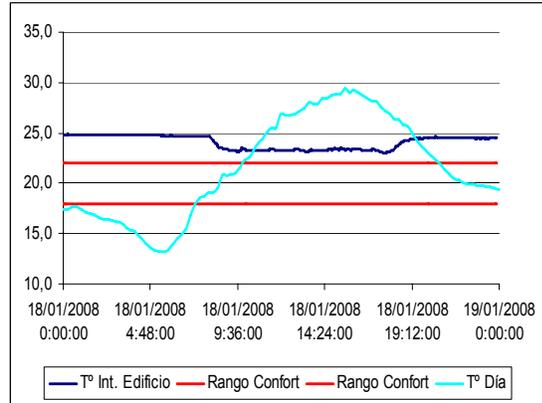
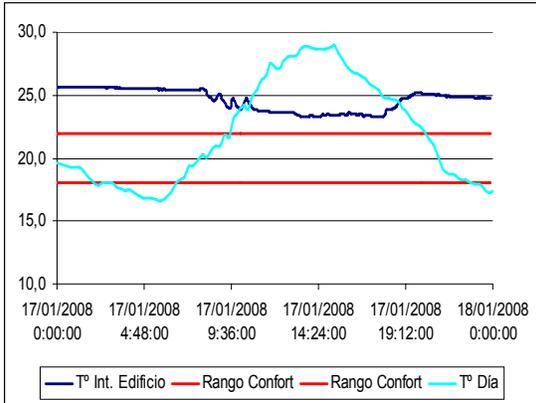
Mediciones realizadas en el cuarto piso del edificio, en una oficina de orientación norte.



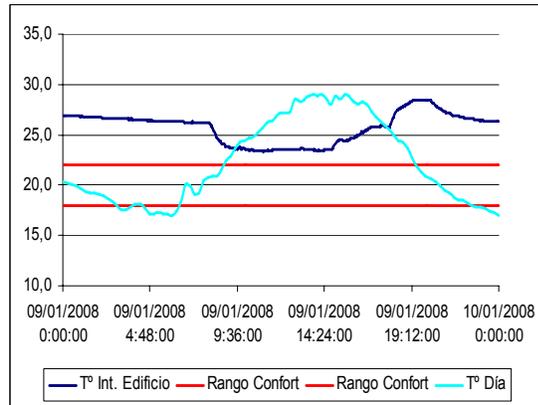
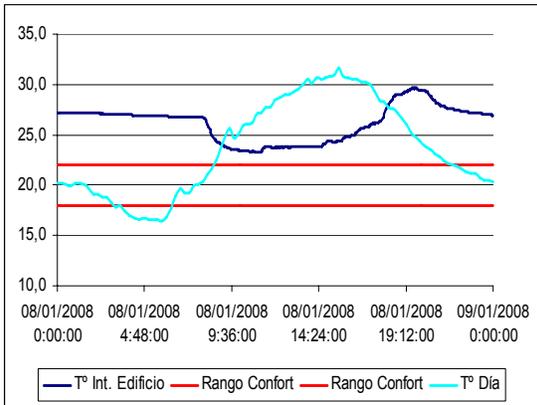
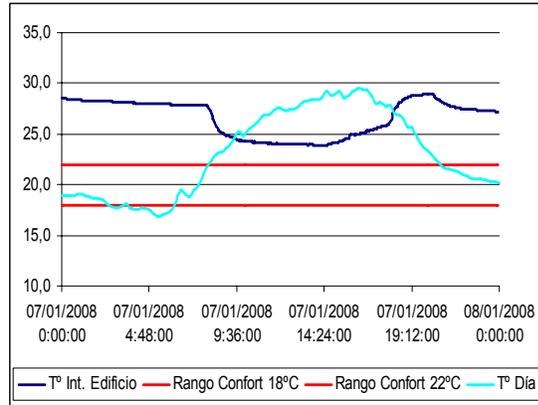
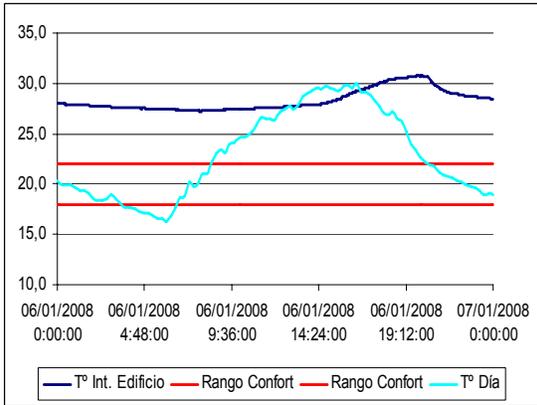
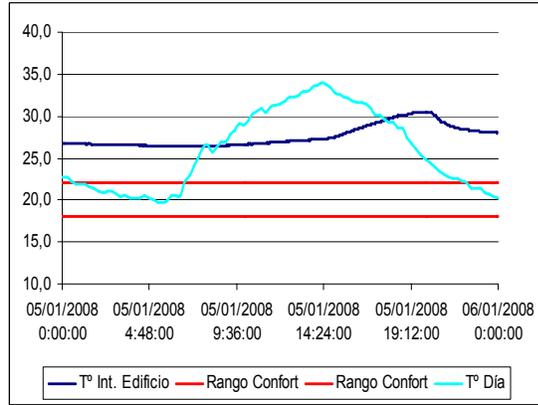
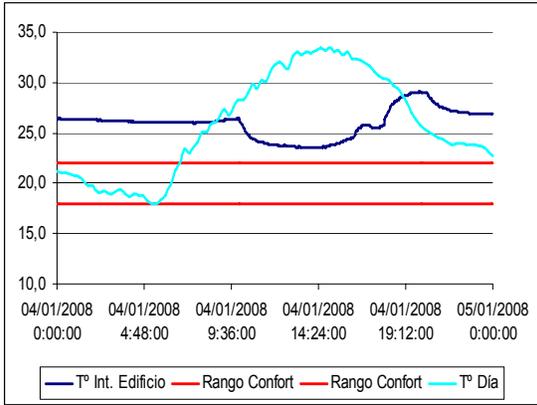
Mediciones realizadas en el cuarto piso, en una oficina con vista oriente.



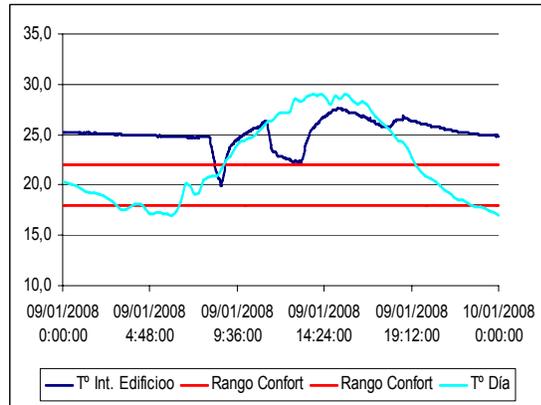
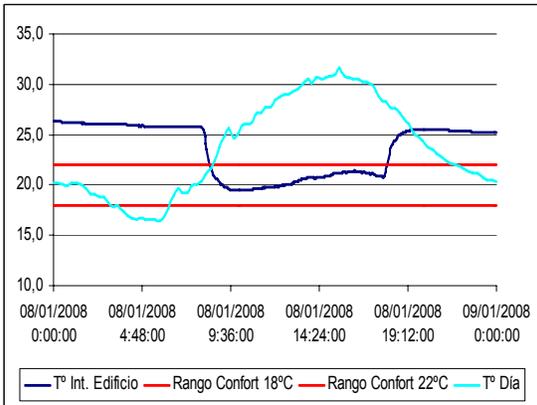
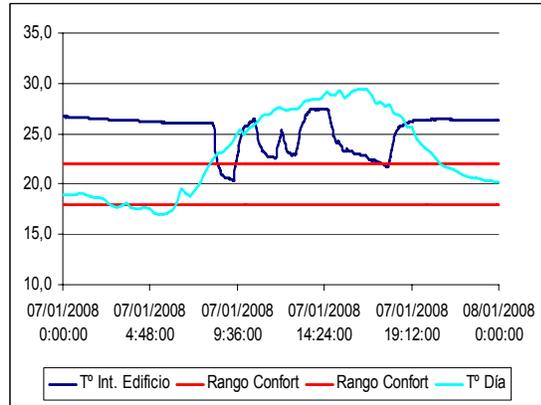
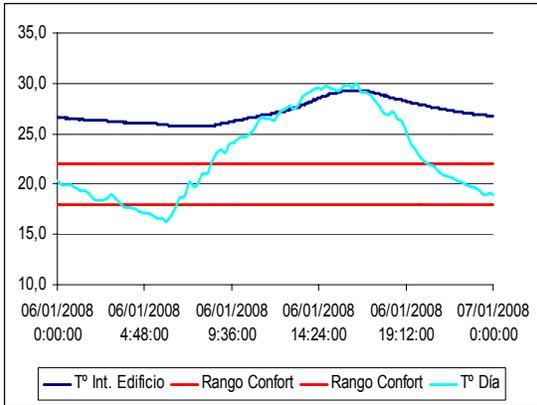
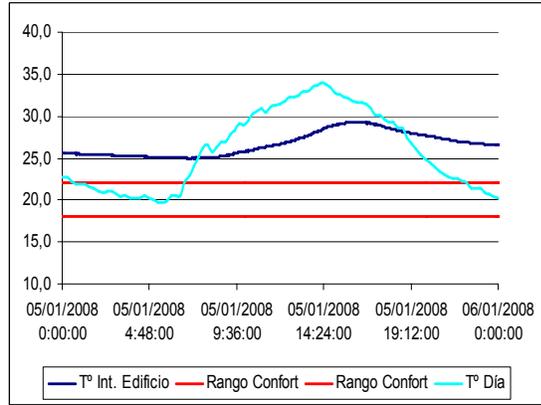
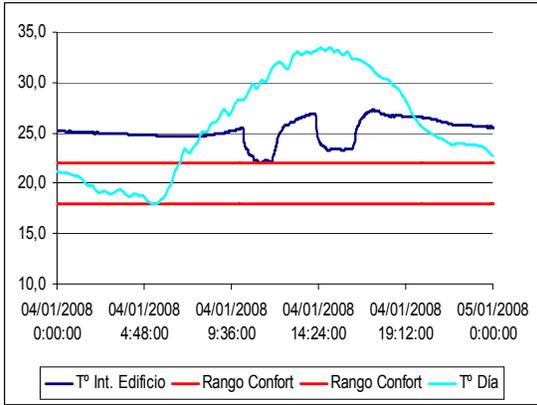
Mediciones realizadas en los pasillos interiores del cuarto piso.



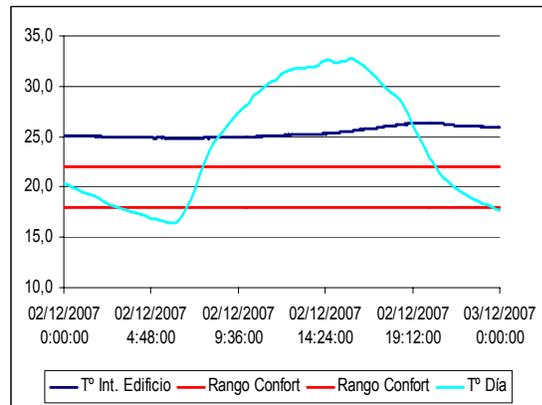
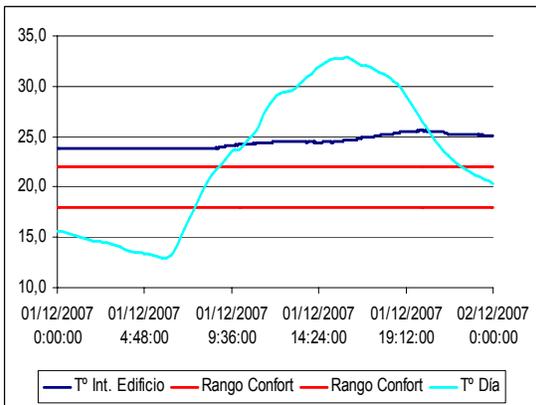
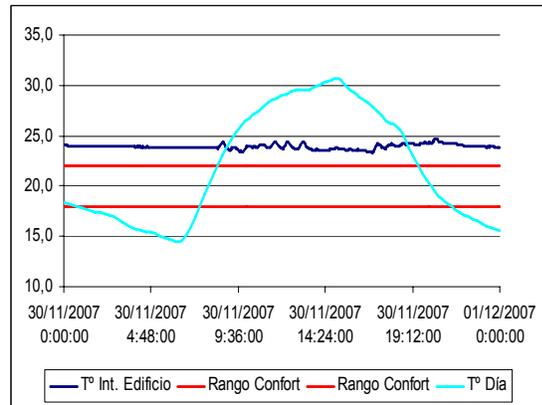
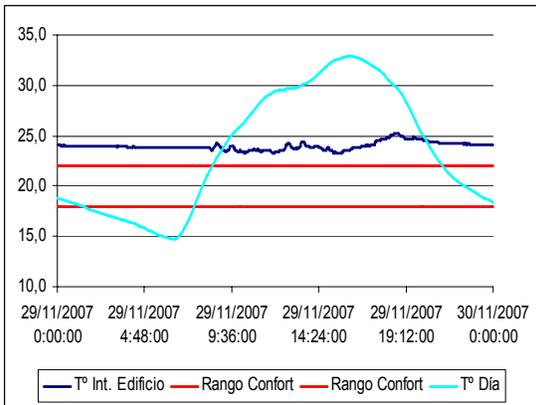
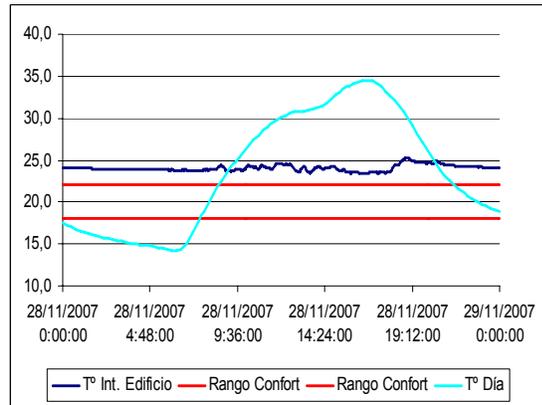
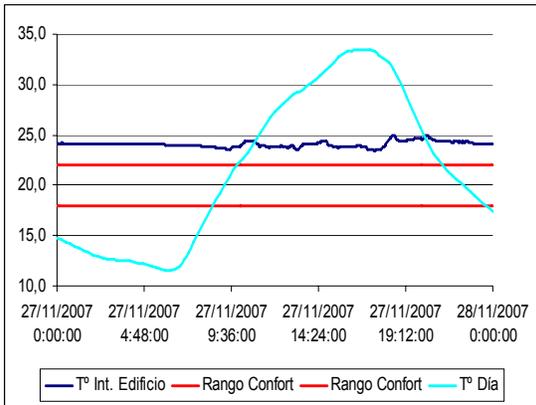
Mediciones realizadas en el tercer piso del edificio en estudio en una oficina con vista poniente.



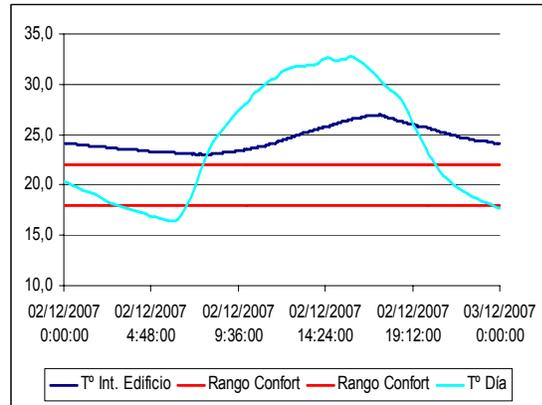
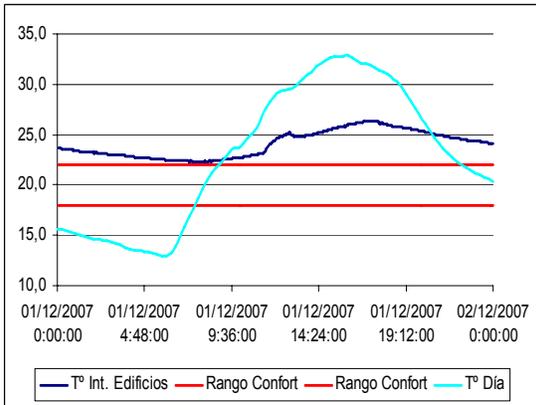
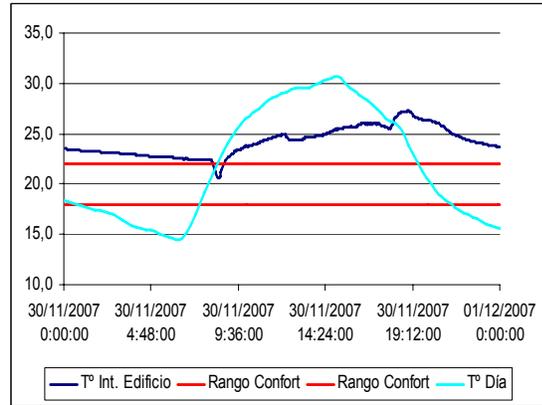
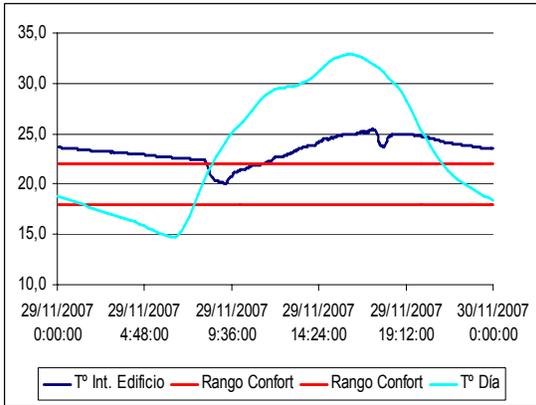
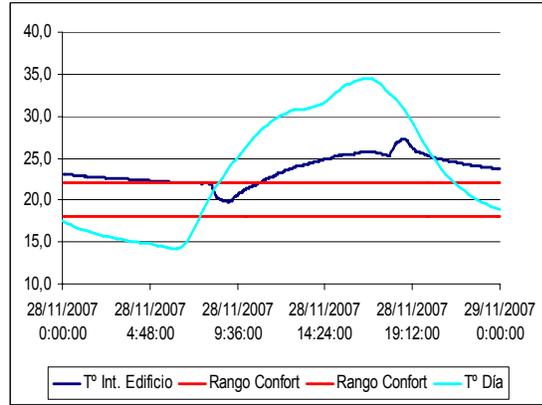
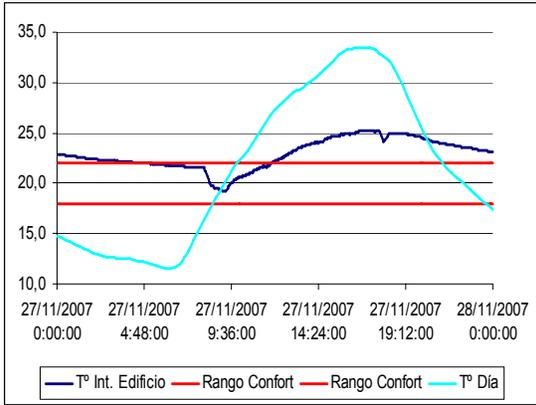
Oficina del tercer piso con orientación norte.



Mediciones realizadas en los pasillos interiores del edificio en estudio.



Sala de computadores con orientación norte.



Mediciones realizadas en la biblioteca del segundo piso del edificio en estudio.

