

ME-550 Seminario de Termofluidos Sistemas de Energía Sustentable

Semana 3, 02 Abril 2008



Grados Día - Introducción

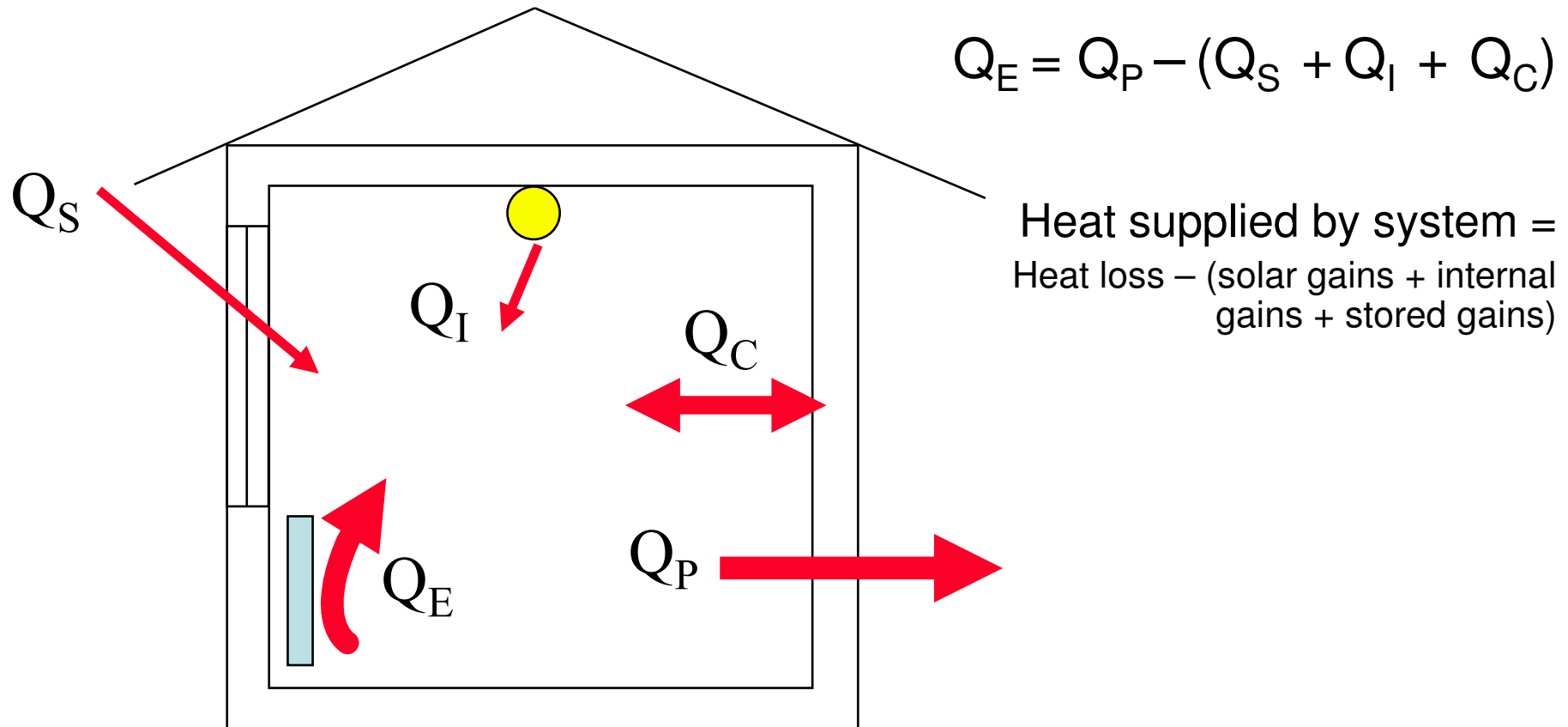


Es una herramienta que puede ser usada para estimar y analizar el consumo de edificios que tiene relación con el clima. Estos conceptos vienen del área agrícola donde conocer las variaciones de la temperatura exterior son relevantes.

En forma resumida grados día son la suma de las diferencias entre la temperatura exterior y una de referencia (o base) en un periodo determinado.

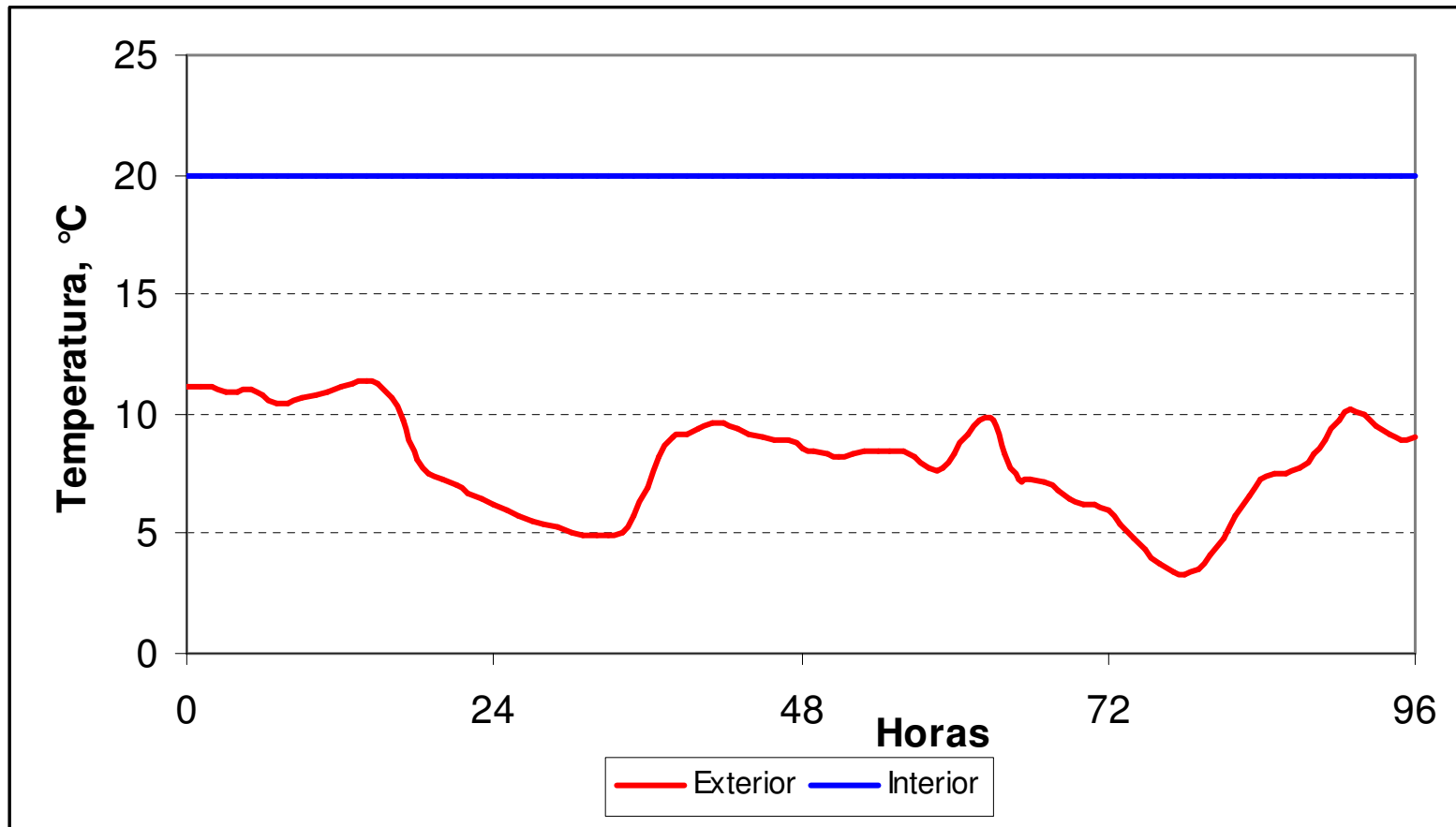
La definición de esta temperatura base es muy importante. En el caso de edificios estará relacionada al balance energético entre el edificio y sus sistemas. Esto puede ser aplicado tanto para calefacción como para refrigeración.

Grados Día - Introducción

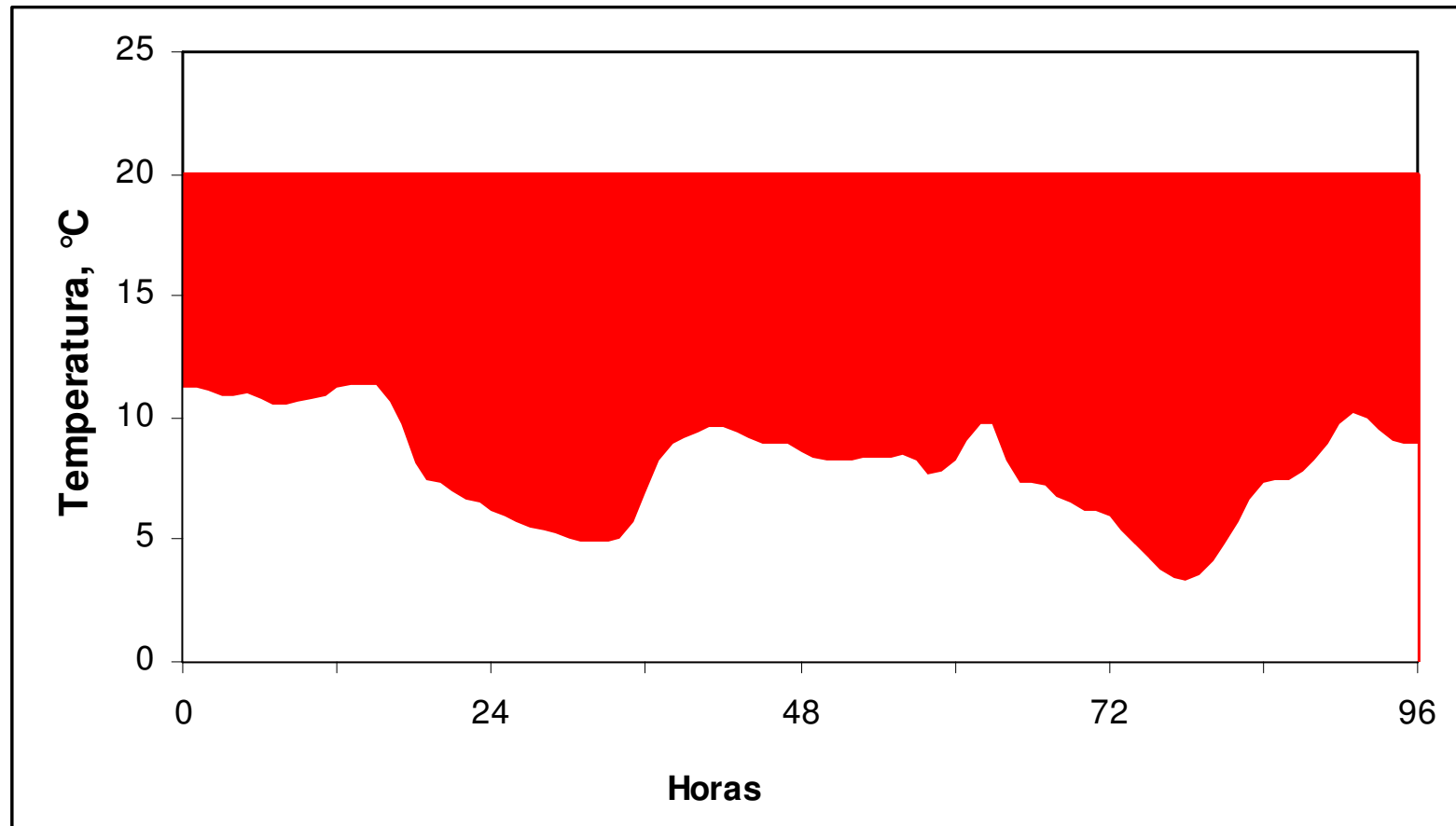


$$Q_E = \left(\sum UA + \frac{1}{3} NV \right) (\theta_i - \theta_{ao}) - (Q_I + Q_S + Q_c)$$

Grados Día - Introducción



Grados Día - Introducción



Grados Día - Introducción



- Usos principales
 - Uso de energía y estimación de CO₂
 - Análisis y monitoreo energético de edificios existentes
- Conceptos
 - Como se calculan
 - Como se usan
 - Resultados aproximados
- Ventajas
 - Fácil y rápido de usar
 - No requiere modelos complicados
 - Transparente

Estimando Grados Día



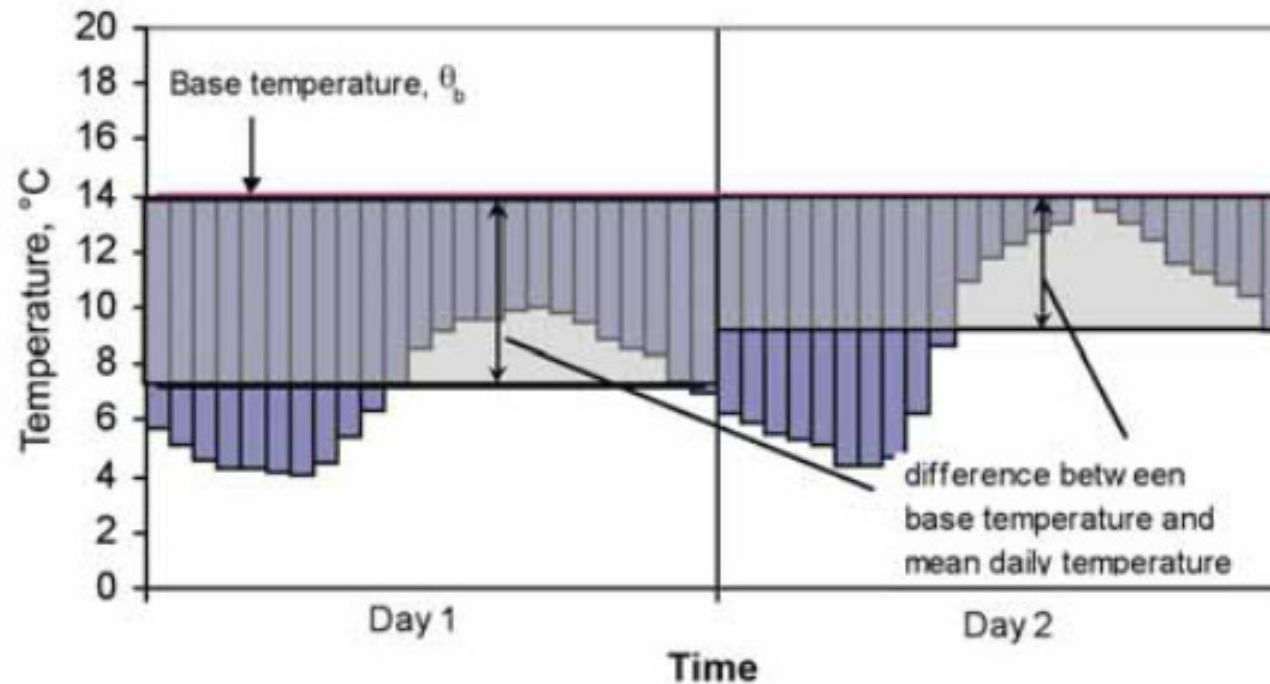
- **Temperatura Base**

Se define como aquella temperatura a la cual el sistema de calefacción no necesita seguir operando. Existen varias fuentes de calor en un edificio, no solo el sistema de calefacción. Entre estas se incluye:

- Ocupantes
- Luces
- Equipamiento

Esto implica que la temperatura base es menor a la temperatura interna de un edificio.

Estimando Grados Día



- Dia 1: 6,7 K-día, Día 2: 4,6 K-día
- Total: 11,3 K-día

Concepto Grados Día

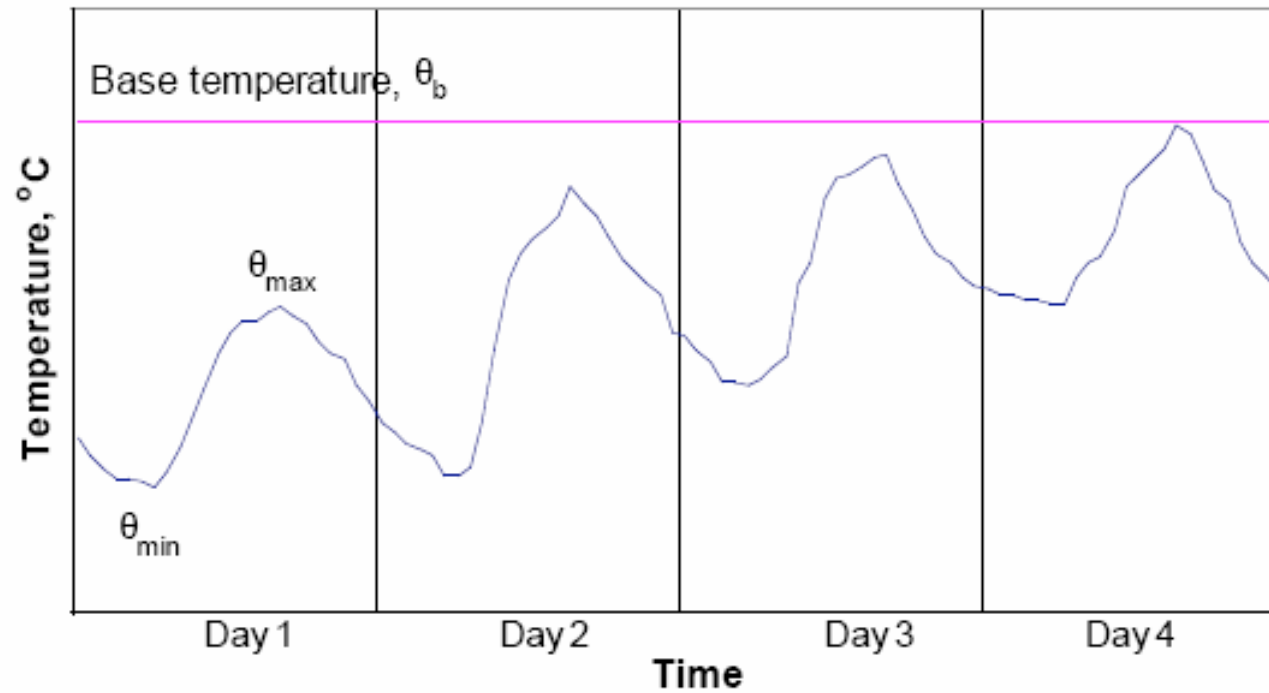


- En práctica es mas complicado
 - Estaciones medias
 - Temperatura varía mucho durante un día
- No existen grados-día negativos
- Si $T_{ext} < T_{base} \rightarrow$ Grados día
- Si $T_{ext} > T_{base} \rightarrow$ Grados día = 0
- Intervalo de tiempo puede ser 1 min, 15 min, 1 hora, etc.

Concepto Grados Día



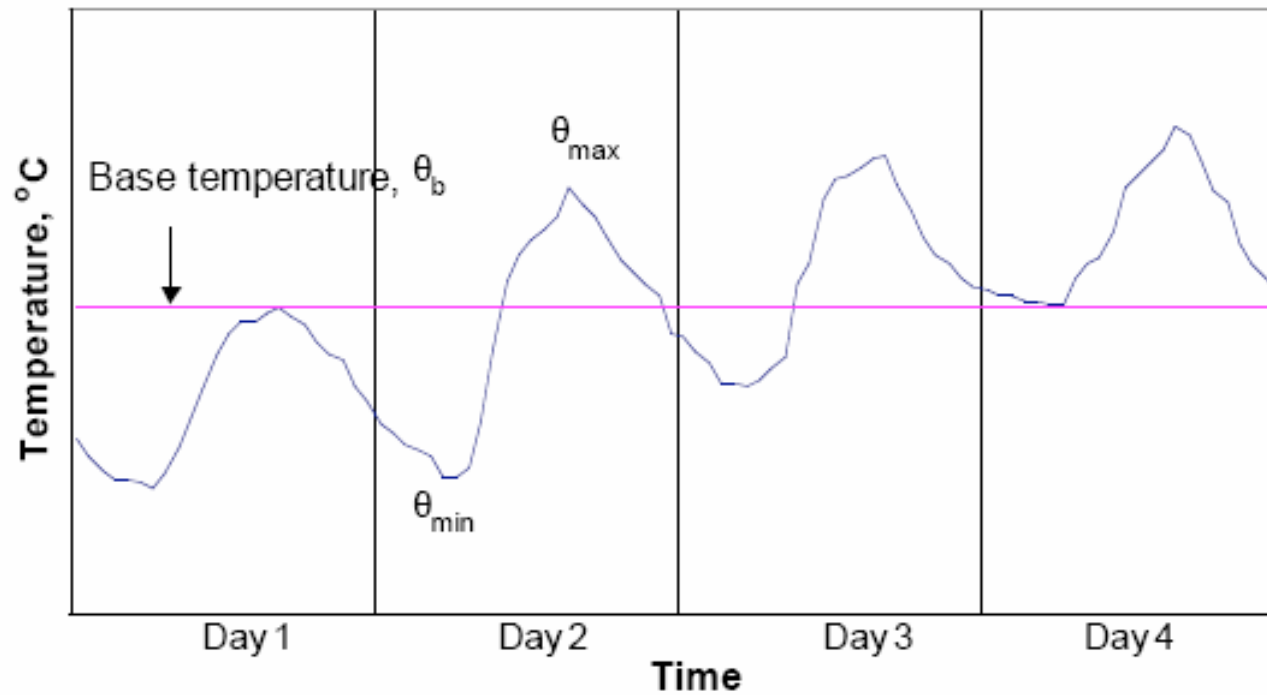
- Caso 1



Concepto Grados Día



- Caso 2



Concepto Grados Día



- El método de calculo debe ser capaz de identificar las situaciones anteriores
- Existen diferentes métodos:
 1. Grados hora
 2. Temperaturas mínimas y máximas medias
 3. Temperaturas medias diarias
 4. Cálculo a través de formulas (Hitchin)

Grados Hora



- Formula para 1 día

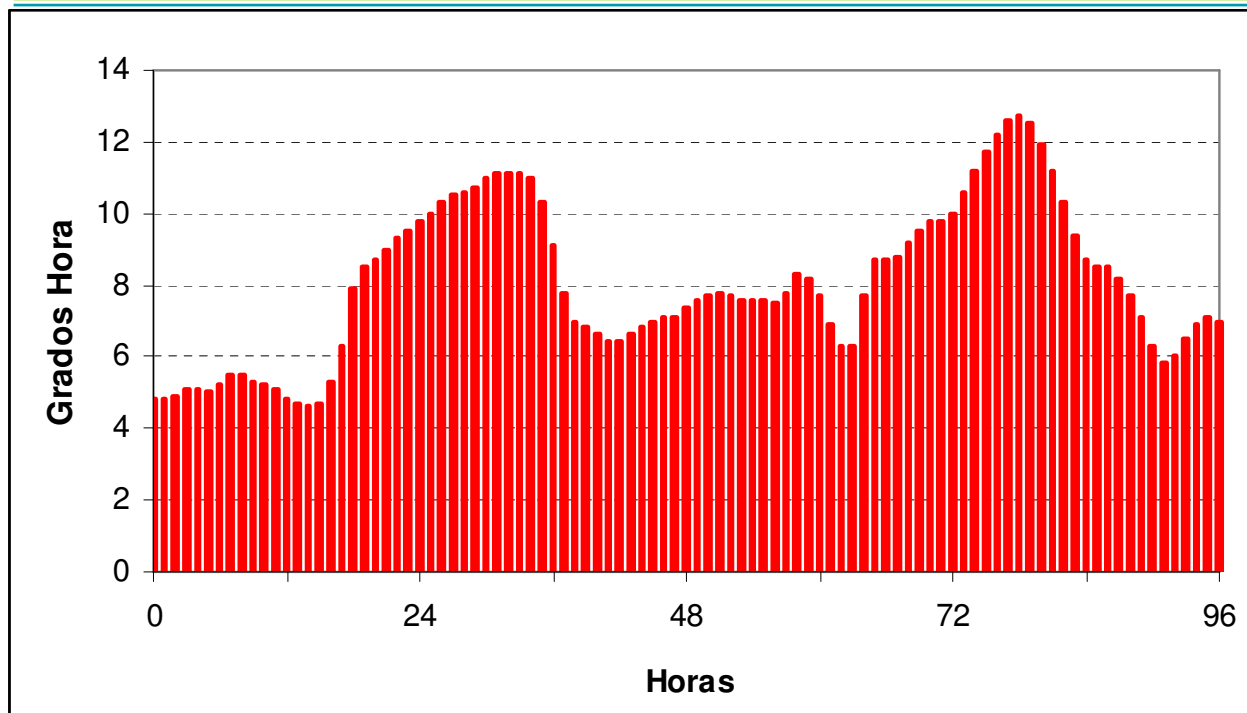
- Calefacción

$$D_d = \frac{\sum_{j=1}^{24} (\theta_b - \theta_{o,j})}{24} \quad ((\theta_b - \theta_{o,j}) > 0)$$

- Refrigeración

$$D_d = \frac{\sum_{j=1}^{24} (\theta_{o,j} - \theta_b)}{24} \quad ((\theta_{o,j} - \theta_b) > 0)$$

Grados Hora



Temperatura base:
16°C

	Grados Hora	Grados Dia
Dia 1	145	6
Dia 2	212	9
Dia 3	202	8
Dia 4	221	9
Total	780	32

Grados Hora



- Mayor precisión
- Necesidad de manejar grandes cantidades de información
- Largos periodos de tiempo
 - Mayor precisión
- 10 años?
- Información Pública?

Temperaturas Máximas y Mínimas Medias



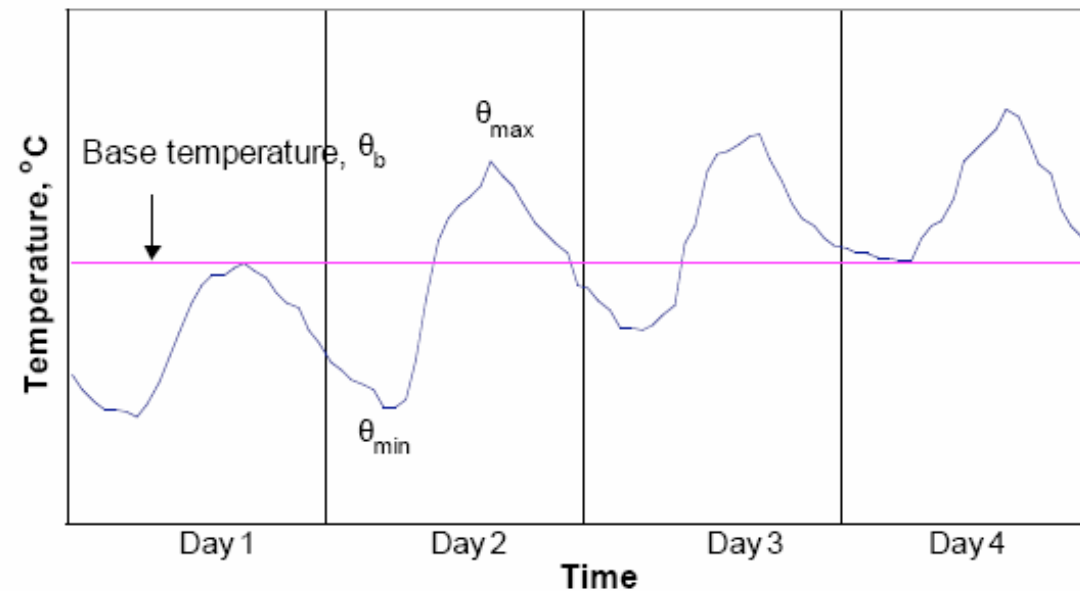
- Muy utilizada en GB desde 1928
- Desarrollada por la Oficina Meteorológica
- Intenta aproximarse a:

$$D_d = \int (\theta_b - \theta_o) dt$$

- Se resume en:

Case	Condition	Daily heating degree-days
1	$\theta_{\max} \leq \theta_b$	$\theta_b - \frac{1}{2} (\theta_{\max} + \theta_{\min})$
2	$\theta_{\min} < \theta_b$; and $(\theta_{\max} - \theta_b) < (\theta_b - \theta_{\min})$	$\frac{1}{2} (\theta_b - \theta_{\min}) - \frac{1}{4} (\theta_{\max} - \theta_b)$
3	$\theta_{\max} > \theta_b$; and $(\theta_{\max} - \theta_b) > (\theta_b - \theta_{\min})$	$\frac{1}{4} (\theta_b - \theta_{\min})$
4	$\theta_{\min} \geq \theta_b$	0

Temperaturas Máximas y Mínimas Medias



Case	Condition	Daily heating degree-days
1	$\theta_{\max} \leq \theta_b$	$\theta_b - \frac{1}{2} (\theta_{\max} + \theta_{\min})$
2	$\theta_{\min} < \theta_b$; and $(\theta_{\max} - \theta_b) < (\theta_b - \theta_{\min})$	$\frac{1}{2} (\theta_b - \theta_{\min}) - \frac{1}{4} (\theta_{\max} - \theta_b)$
3	$\theta_{\max} > \theta_b$; and $(\theta_{\max} - \theta_b) > (\theta_b - \theta_{\min})$	$\frac{1}{4} (\theta_b - \theta_{\min})$
4	$\theta_{\min} \geq \theta_b$	0

Temperaturas Máximas y Mínimas Medias

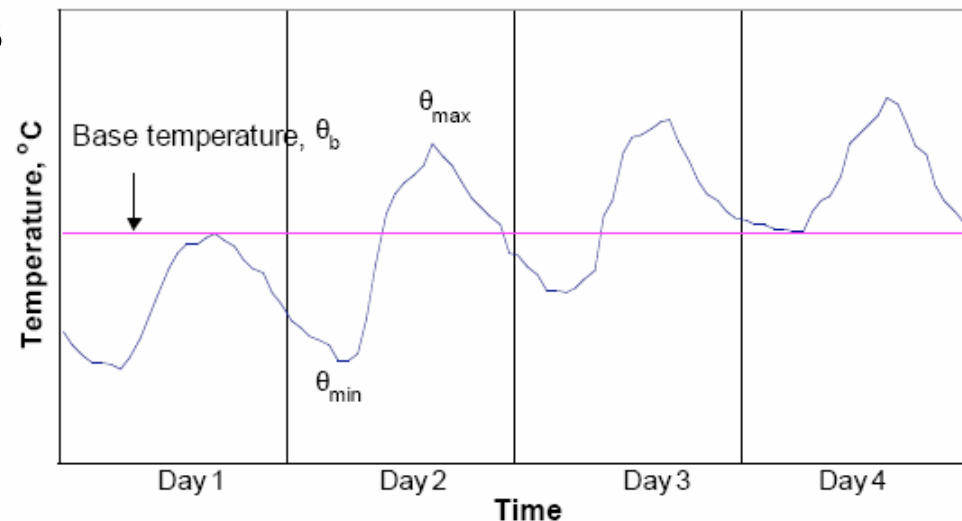


- Coeficientes $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{4}$ fueron estimados mediante pruebas
- Estudios han demostrado
 - Caso 2: sub estima resultados
 - Caso 3: sobre estima resultados
- Los coeficientes deberían variar con la región analizada
- Basadas en curvas sinusoidales
- No es posible modelar esto.

Temperaturas Diarias Medias



- Usado en USA y Alemania
 - USA: ASHRAE 2001
 - Alemania: VDI 2067
- Solo estima cuando $T_{\text{media}} < T_{\text{base}}$
- Solo Casos 1 y 2, ignora caso 3
- Pequeñas diferencias



Formula de Hitchin



- Propuesta por Hitchin en 1983
 - N_m : días/mes
 - k : variable especifica localidad
- Valores k dificiles de obtener
- K para algunas ciudades
- Fácil de usar
- Problemas de precisión

$$D_m = \frac{N_m (\theta_b - \bar{\theta}_{o,m})}{1 - e^{-k(\theta_b - \bar{\theta}_{o,m})}}$$

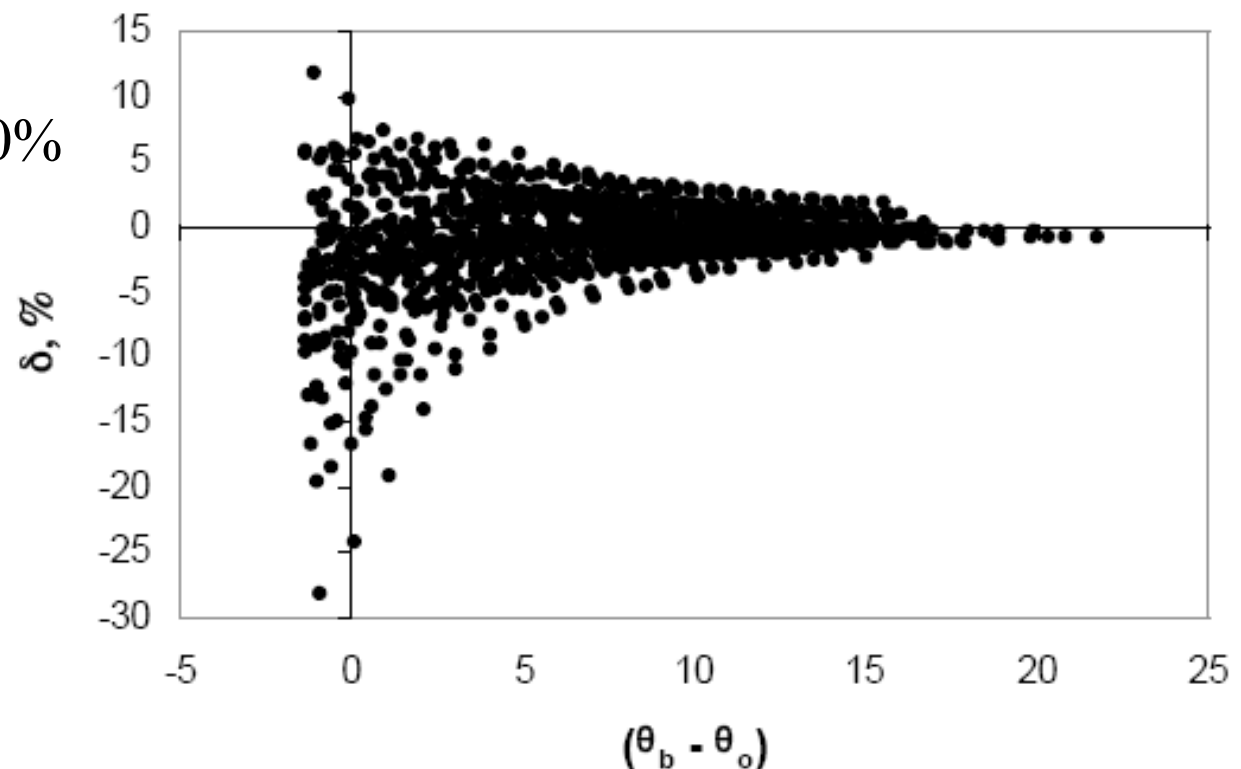
Errores Asociados



- Errores estimados para otros métodos

$$\delta = \frac{D_{\text{actual}} - D_{\text{approx.}}}{D_{\text{actual}}} \times 100\%$$

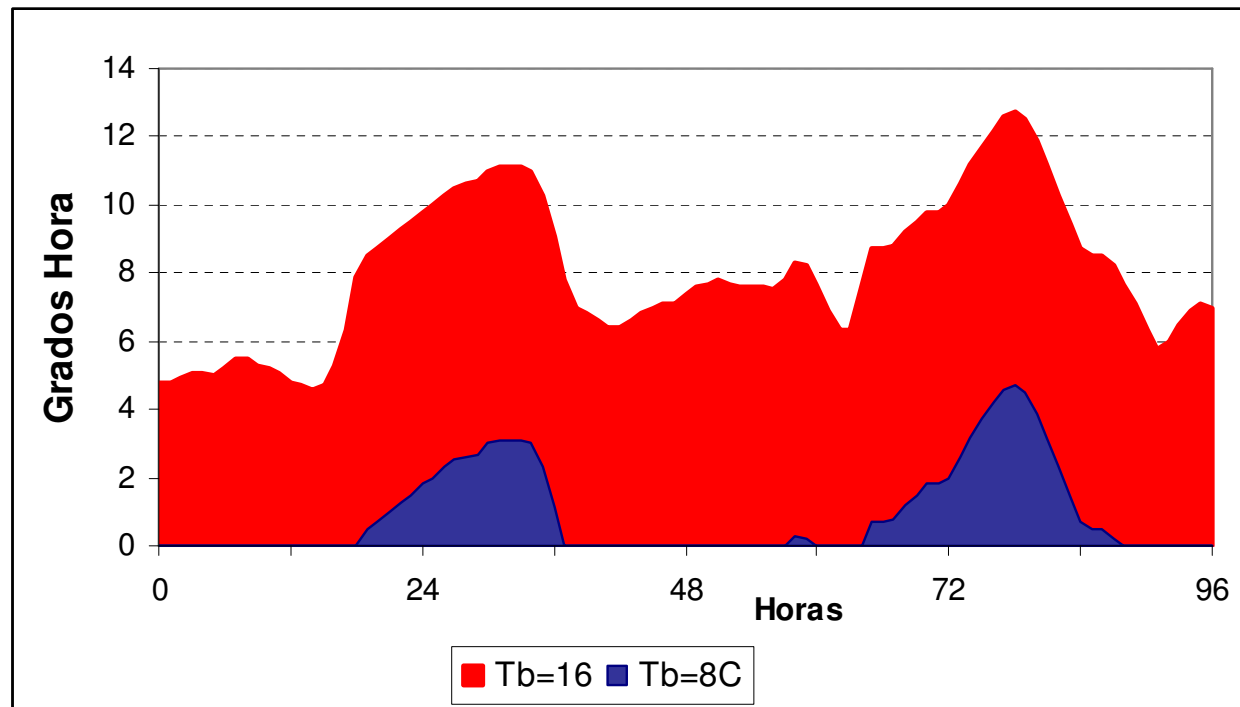
- Met. 1: $\approx 4\%$
- Met. 2: $\approx 5\%$



Cambio de T_{base}



- ¿Qué sucede si tengo grados día con una base de 15.5°C y los necesito con una base de 18.5°C ?
 - Existencia de data

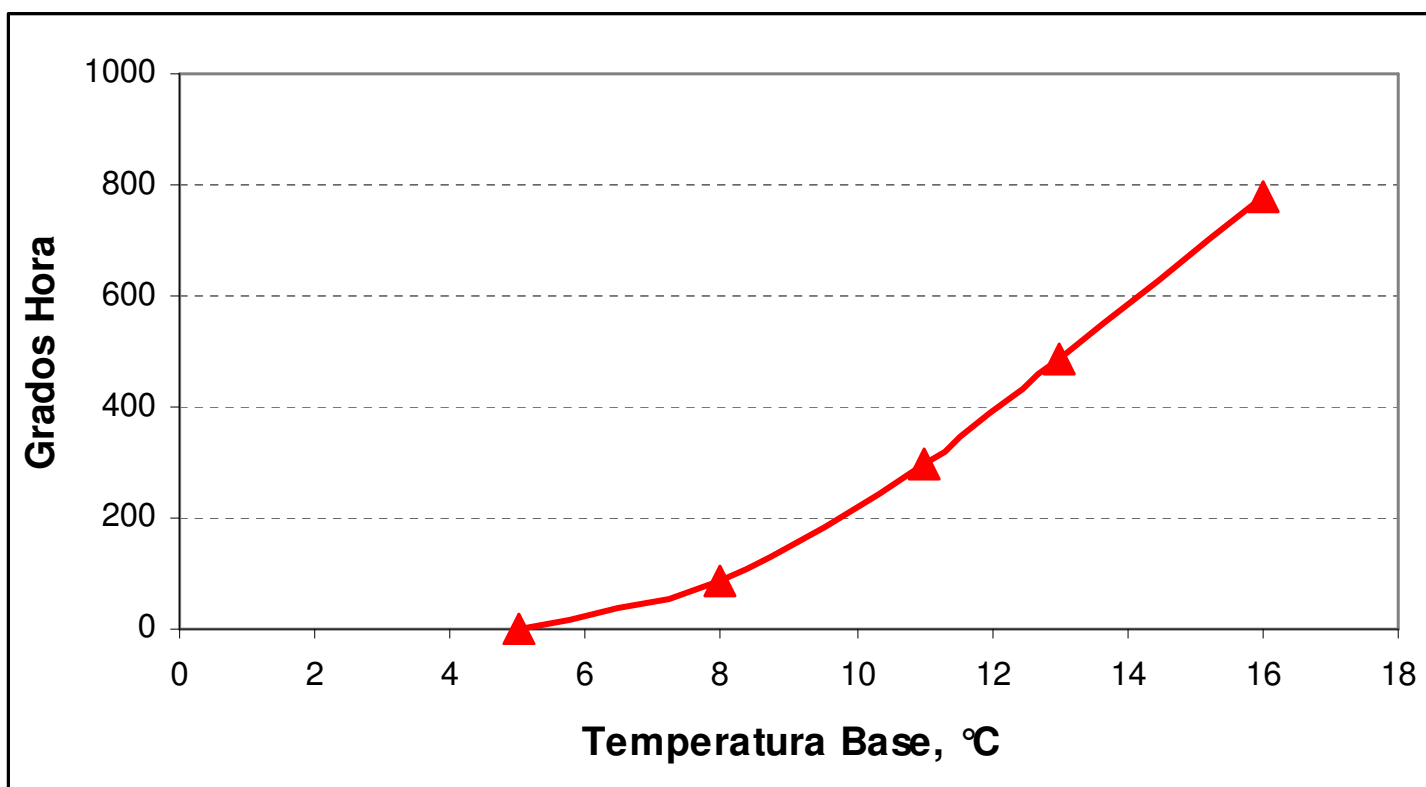


Cambio de T_{base}

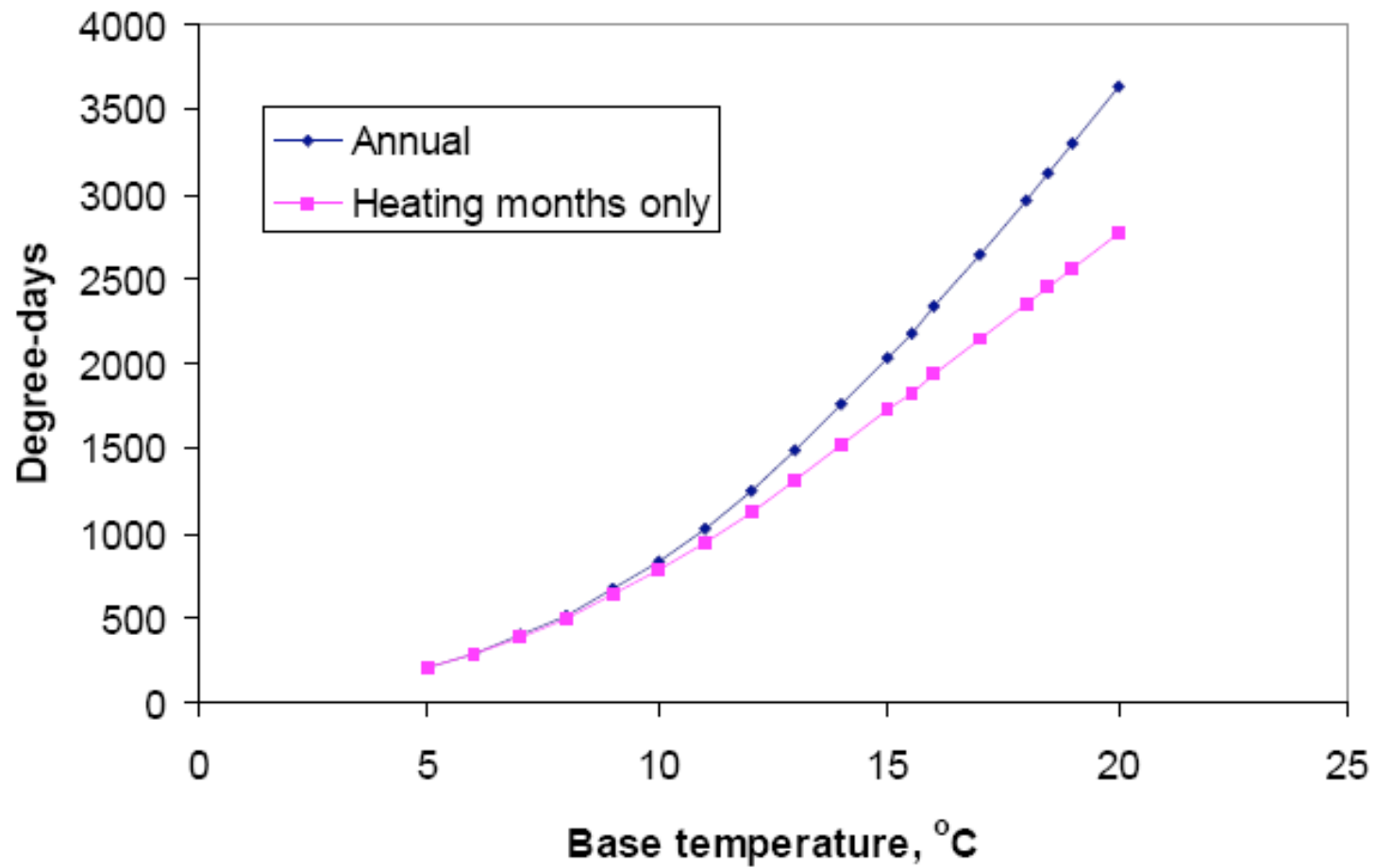


- ¿Qué sucede si tengo grados día con una base de 15.5°C y los necesito con una base de 18.5 °C?
- Depende mucho de la variación de T de cada lugar
- No hay fórmulas genericas
- En UK se ha propuesto: $D_{\theta b} = aD_{15,5} + b$
- La forma mas practica es iterar usando Newton-Raphson

Cambio de T_{base}



Cambio de T_{base}



Resumen Cálculo Grados Día



Table 2.4 Summary of degree-day calculation methods

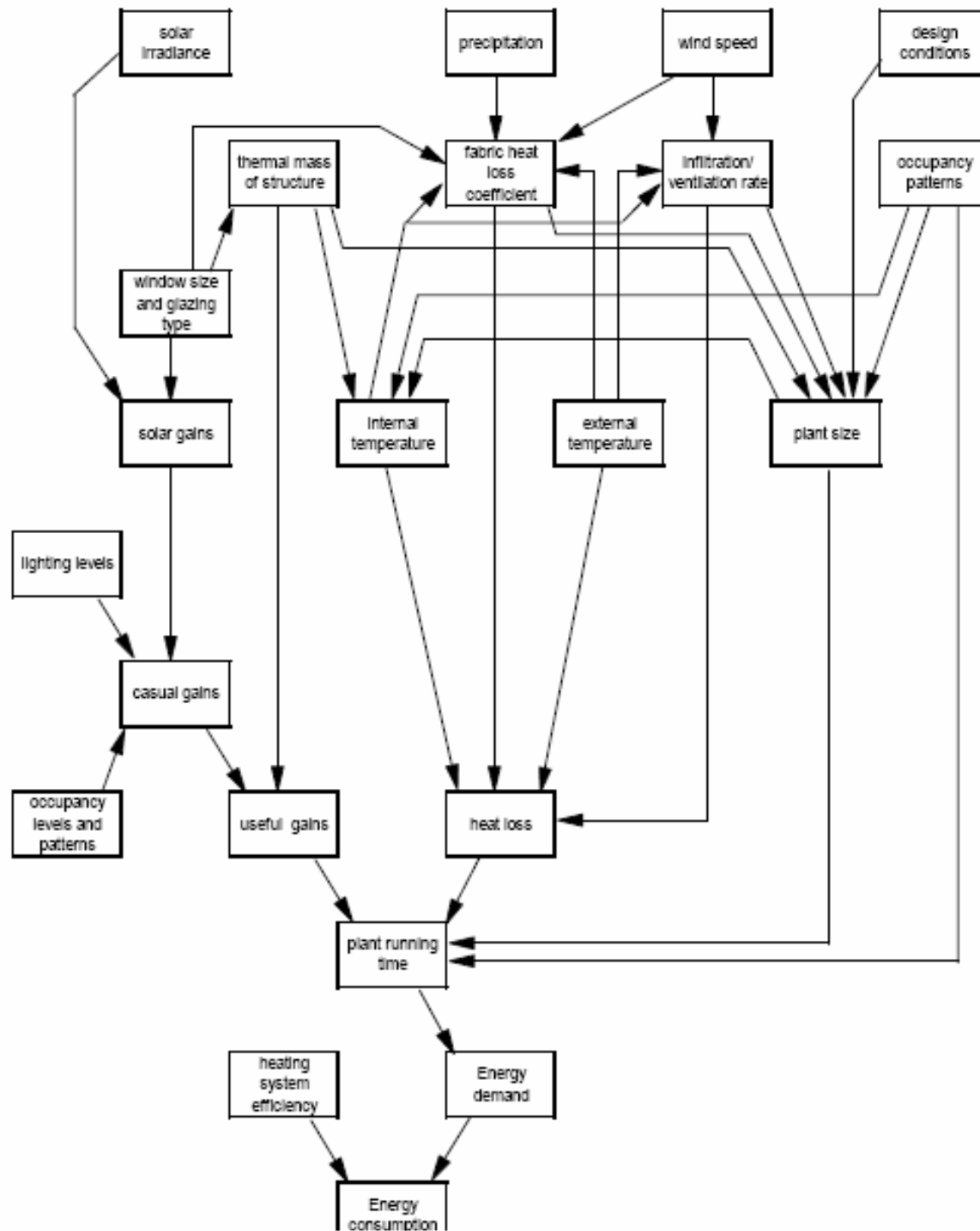
Degree-day calculation method	Required data	Recommended applications and comments
Mean degree-hours; equations 2.1 and 2.2	Hourly outdoor dry bulb temperatures	In-house data collection systems with automated calculation procedures. The most accurate method.
Meteorological equations: Tables 2.1 and 2.2	Daily outdoor maximum and minimum temperatures	Automated procedures more complex than degree-hours. The standard UK method for published degree-days.
Mean daily temperature	Mean daily temperatures	Where available data is limited to mean daily temperature. Accepted standard method in USA and Germany.
Hitchin's formula: equation 2.4	Mean monthly temperature Monthly standard deviation (not essential)	Mean monthly temperature can be easy to obtain. Ideal for use in energy estimating where other data is not available. Can be used for base temperature conversions.

Estimación de Uso Energía



- El uso de energía en edificios es muy complicado de estimar.
- Depende de muchos parámetros
 - Internos
 - Externos
 - Tipo de uso

Estimación Uso de Energía



Estimación de Uso Energía



- Pérdidas instantaneas:

$$Q_E = U'(\theta_{sp} - \theta_o) - Q_C + Q_G; \text{ donde } Q_E > 0$$

- Energía calefacción

$$E = \int Q_E dt = \int U'(\theta_{sp} - \theta_o) dt + \int Q_C dt - \int Q_G dt$$

donde $Q_E > 0$

Estimación de Uso Energía



- Simplificaciones:
 - Calefacción continua

$$E = U' \int (\theta_{sp} - \theta_o - \frac{Q_G}{U'}) dt$$

$$E = \sum \left(\Sigma UA + \frac{1}{3} NV \right) \left(\theta_i - \theta_{ao} - \frac{(Q_s + Q_i)}{(\Sigma UA + \frac{1}{3} NV)} \right)$$

- Temperatura Base

$$\theta_b = \theta_{sp} - \frac{Q_G}{U'}$$

Estimación de Uso Energía



- Temperatura Base

$$\theta_b = \theta_{sp} - \frac{Q_G}{U'}$$

$$\theta_b = \theta_i - \frac{(Q_s + Q_I)}{(\Sigma UA + \frac{1}{3} NV)}$$

$$E = (\Sigma UA + \frac{1}{3} NV) \sum (\theta_b - \theta_{ao})$$

Estimación de Uso Energía



- Grados Dia

$$D_d = \int (\theta_b - \theta_o) dt$$

- Energía Calefacción

$$E = U' \int (\theta_b - \theta_o) dt$$

- Energía Sistema

$$F = \frac{24 \cdot U' \cdot D_d}{\eta}$$

$$F = \frac{E}{\eta} = \frac{24 \left(\sum U A + \frac{1}{3} N V \right) \times D_d}{\eta}$$

Estimación de Uso Energía



Consumo Anual de Energía =
Coeficiente Pérdida ×
Grados Día anuales ×
Factores de corrección
(horas de operación y plant response)

Ejemplo 1



- Un edificio posee un valor U' de 20kW/K y posee unas ganancias térmicas de 130kW . Se mantiene a 19°C y la eficiencia del sistema de calefacción es 75% . Calcular el uso de energía para el mes de Junio?

Ejemplo 1



- Determinar Temperatura Base
 - 12.5 ° C
- Determinar Grados Día Junio
 - 140.8 Grados Dia
- Determinar Uso de Energía
 - $F = 90.112 \text{ kWh}$

Calefacción Intermitente



- ¿Qué sucede cuando un edificio solo se calefaciona durante algunas hora del día/noche?

$$Q_c \neq 0$$

- ¿Cómo afecta el tipo de construcción del edificio en el consumo de energía?
 - Construcción pesada
 - Construcción liviana

Calefacción Intermittente

