

MODELAMIENTO TÉRMICO Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA.

Matías Yachán
Ing. Civil UCh

Modelamiento térmico estático/dinámico

Ganancias internas

- Iluminación: ?? [W/m²]
- Usuarios: ?? [W/m²]
- Equipos: ?? [W/m²]

+ ○ -

Infiltraciones ?? [W/m²]

+ ○ -

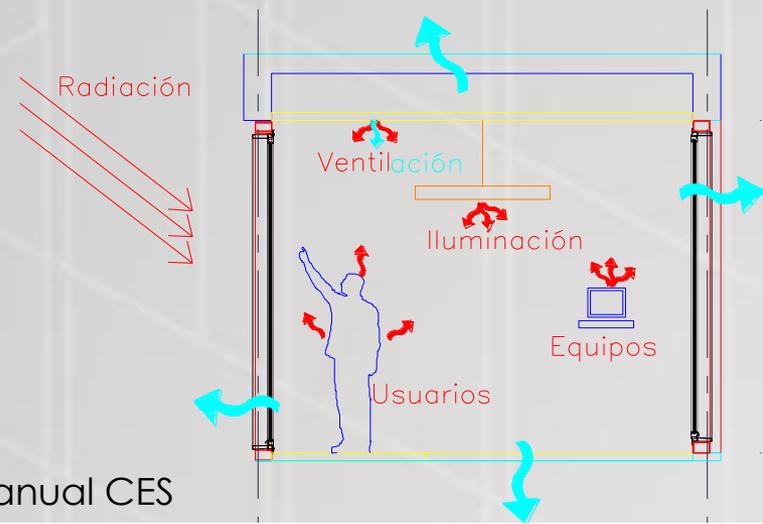
Ventilación ?? [W/m²]

+ ○ -

Radiación: ?? [W/m²]

+ ○ -

Envolvente: ?? [W/m²]



Fuente: Manual CES

Tabla 16: Valores de referencia para tasas de ocupación y cargas internas.

Recintos	Régimen		Tasa de ocupación		Tasas de ventilación ⁵⁷		Iluminancia [Lux]	Cargas Internas				
	Horario de lunes a viernes		Pers/100m ²	m ² /pers	L/s persona	L/s m ²		[W/pers]	Personas [W/m ²]	Equipos [W/m ²]	Iluminación [W/m ²]	
	Entrada	Salida					Vacaciones ⁵⁸					
General:												
Oficinas	8	18	A	10	10,0	2,5	0,3	400	82	8,20	15,3	12
Salones de reuniones	8	18	A	125	0,8	2,5	0,3	500	82	102,50	0	14
Estacionamientos	8	18	A	0	0	0	-	75	164	0	0	2
Bodegas, Archivos	8	18	A	2,5	40	0	0,6	150	98,4	2,46	0	Entre 3 y 10 ⁹⁹
Bibliotecas	8	18	A	25	4,0	3,8	0,3	400	131,2	32,80	1,4	13
Pasillos	8	18	A	0	0	0	0,3	50	-	0	0	5

Tabla 20 Tasas mínimas de ventilación

Fuente: (ASHRAE 62.1)

Categoría de ocupación	Tasas de aire exterior	
	por persona (Rp)	por área (Ra)
	L/s persona	L/s m ²
Edificios de oficina		
Espacio de oficina	2,5	0,3
Áreas de recepción	2,5	0,3
Telefonía/Data entry	2,5	0,3
Sala principal (Lobbies)	2,5	0,3

$$\Phi [W] = \sum \Phi_{Cargas\ internas} + \Phi_{Radiación} \pm \Phi_{Envolvente} \pm \Phi_{Infiltraciones} \pm \Phi_{RAH} \pm \Phi_{Inercia\ térmica}$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

$$\dot{\Phi}[W] = \sum \dot{\Phi}_{Cargas\ internas} + \dot{\Phi}_{Radiación} \pm \dot{\Phi}_{Envolvente} \pm \dot{\Phi}_{Infiltraciones} \pm \dot{\Phi}_{RAH} \pm \dot{\Phi}_{Inercia\ térmica}$$

Tablas

- Manual CES
- ASHRAE



- Software
- Registro Solarimetrico
- Planillas CES
- CEV v2.0

- $UxAx\Delta T$

- $mxCpx\Delta T$
- Tasas de Manual CES

- ??

- ¿Y que ΔT uso?

Con todo esto obtengo el calor generado/perdido X [W]

¿ **Potencia [W]** ?

Este flujo se reparte por el aire interior y las cosas y las calienta o enfría, dependiendo de a que temperatura se encontraban un instante o un dt anterior.

PARENTESIS (Conceptos físicos relevantes):

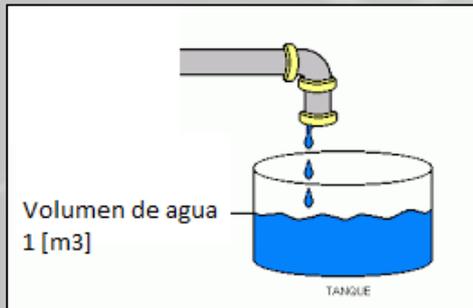
Diferencia entre Energía y Potencia:

❖ **Energía** (E) corresponde a la capacidad de realizar un trabajo. Esta magnitud se mide en Joules [J] (Sistema internacional), Calorías [Cal], Kilo watts hora [kWh], [BTU], etc.

❖ **Potencia** (P) corresponde a un flujo de energía, a una tasa de liberación de ésta, o bien a una tasa de consumo. Potencia se expresa en unidades Watt, [J/s]=[W], [HP], etc. Entonces la energía corresponde al producto de la Potencia por el tiempo transcurrido.

$$E = P \cdot t$$

Ejemplo práctico: Analogía hidráulica



❖ **Energía** es equivalente al volumen de agua requerido.

❖ **Potencia** corresponde al caudal con que decido llenar el estanque.

✓ A mayor caudal, menor es el tiempo en llenar el estanque, pero eso no varía el volumen de agua que este contiene.

❖ **Ejemplo.**

Entonces... 1kWh corresponde a la **ENERGÍA** que consume un aparato de 1000 Watts (1 Kilo Watt) de **POTENCIA**, durante un **TIEMPO** de 1 hora.

$$1[kWh] =$$

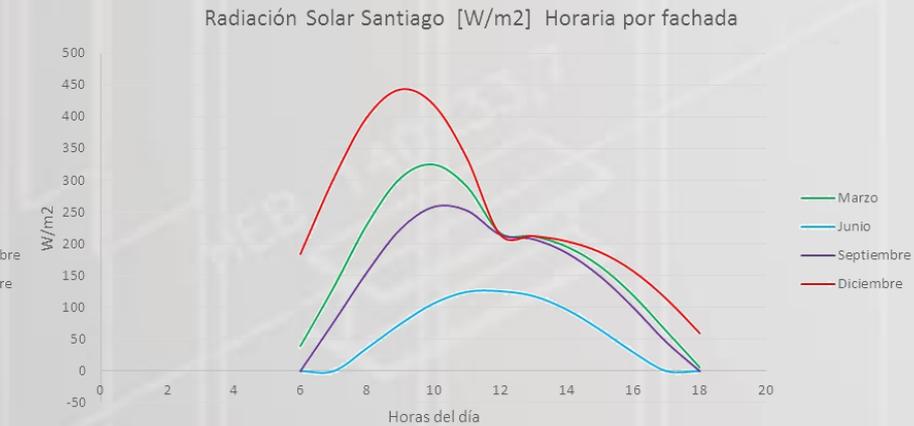
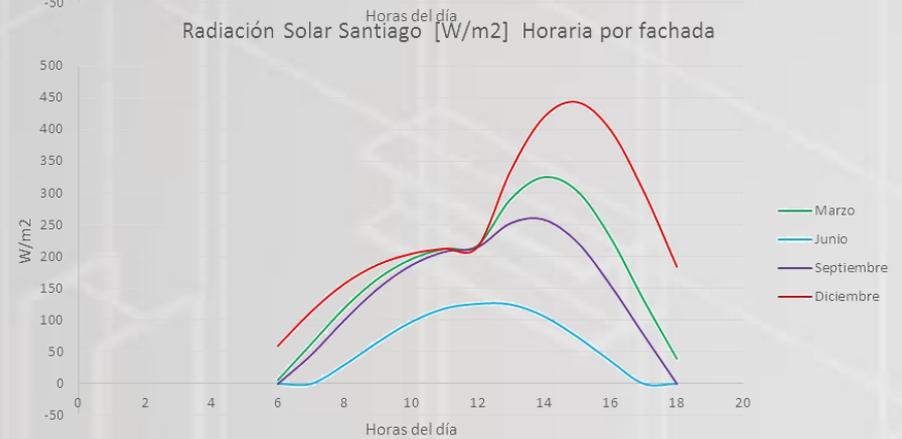
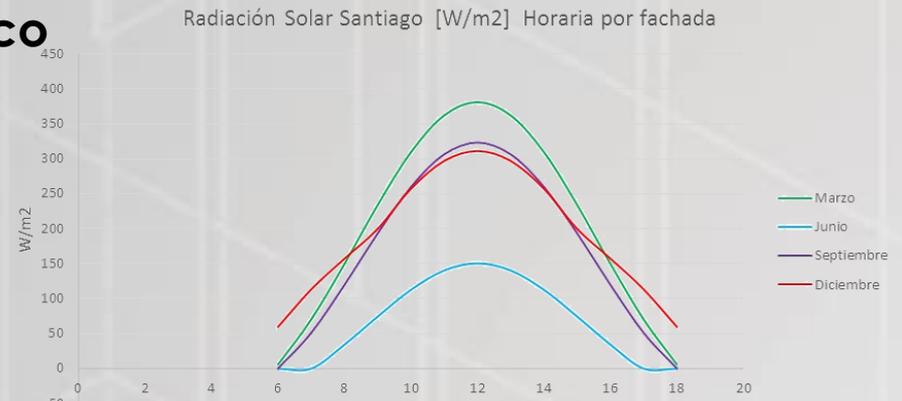
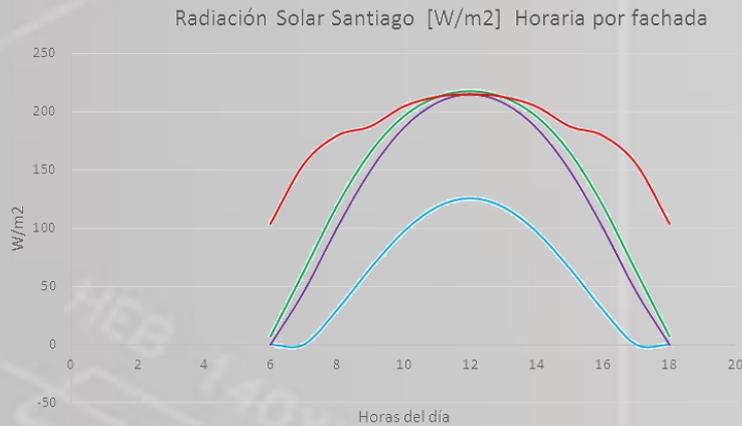
$$E = 1000 \left[\frac{J}{s} \right] \cdot 3600[s] = 3.600.000[J]$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

Radiación Solar

Registro solarmetrico
y/o Planilla CES
Se puede obtener
La radiación solar para
distintas ciudades de
Chile hora a hora

¿Cual es cual fachada?



$$\Phi[W] = \sum \Phi_{\text{cargas internas}} + \Phi_{\text{Radiación}} \pm \Phi_{\text{Envolvente}} \pm \Phi_{\text{Infiltraciones}} \pm \Phi_{\text{RAH}} \pm \Phi_{\text{Inercia térmica}}$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

Radiación Solar

Pero es importante considerar los porcentajes de radiación difusa en cada fachada.

¿Cual es cual fachada?

Radiación difusa horaria [%]													
Mes	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Enero	100	100	100	90,3	79,5	73,4	71,4	73,4	79,5	90,3	100	100	100
Febrero	100	100	90,4	78,9	70,7	65,8	64,1	65,8	70,7	78,9	90,4	100	100
Marzo	100	91,8	84,7	78	72,5	68,9	67,7	68,9	72,5	78	84,7	91,8	100
Abril	0	82,1	81,2	76,7	72,3	69,3	68,2	69,3	72,3	76,7	81,2	82,1	0
Mayo	67,4	87,4	85,9	83,3	81,4	80,6	81,4	83,3	85,9	87,4	67,4	0	0
Junio	0	89	90,2	88,9	87,6	87,1	87,6	88,9	90,2	89	0	0	0
Julio	24,4	87,3	86,8	84,5	82,7	82	82,7	84,5	86,8	87,3	24,4	0	0
Agosto	83,2	86,9	84,1	80,9	78,5	77,7	78,5	80,9	84,1	86,9	83,2	0	0
Septiembre	0	91,2	87,5	82,9	78,7	75,9	74,9	75,9	78,7	82,9	87,5	91,2	0
Octubre	100	99,8	92,5	86,4	81,4	78,1	76,9	78,1	81,4	86,4	92,5	99,8	100
Noviembre	100	100	100	89,4	81,3	76,3	74,7	76,3	81,3	89,4	100	100	100
Diciembre	100	100	100	95,1	84,2	77,9	75,8	77,9	84,2	95,1	100	100	100

Radiación difusa horaria [%]													
Mes	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Enero	100	100	100	100	100	100	100	69,9	58,8	54,6	53,2	52,1	47,8
Febrero	100	100	100	100	100	100	100	70,8	60,1	56	54,5	52,9	45
Marzo	100	100	100	100	100	100	100	79,8	70,3	66	63,9	60,3	34,1
Abril	0	100	100	100	100	100	100	84,1	75,8	71,7	69,1	60,5	0
Mayo	100	100	100	100	100	100	100	92,9	88,2	85,4	82,1	50,9	0
Junio	0	100	100	100	100	100	100	95,9	92,9	90,6	85,6	0	0
Julio	100	100	100	100	100	100	93,8	89,6	86,9	82,9	21	0	0
Agosto	100	100	100	100	100	100	90,7	84,9	81,7	79,1	65,8	0	0
Septiembre	0	100	100	100	100	100	100	86,7	79,1	75,2	73	68,3	0
Octubre	100	100	100	100	100	100	100	84	75,4	71,1	69	66,5	53,4
Noviembre	100	100	100	100	100	100	100	75,6	65,2	60,7	58,8	57,2	51,5
Diciembre	100	100	100	100	100	100	100	71,5	60,5	56,1	54,5	53,3	49,4

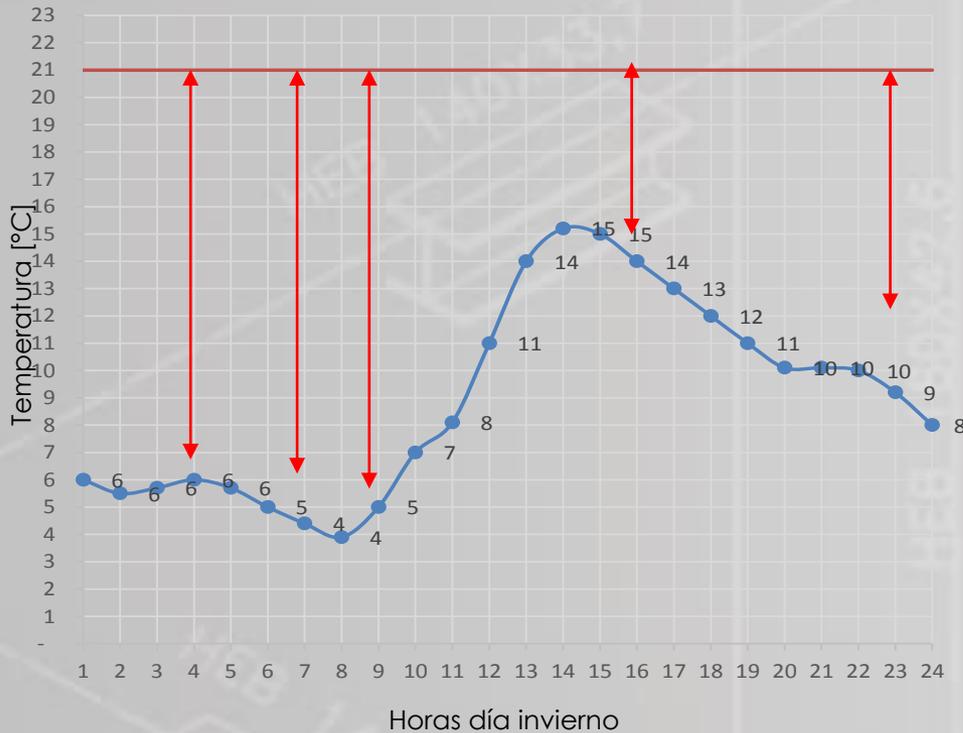
Radiación difusa horaria [%]													
Mes	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Enero	47,8	52,1	53,2	54,6	58,8	69,9	100	100	100	100	100	100	100
Febrero	45	52,9	54,5	56	60,1	70,8	100	100	100	100	100	100	100
Marzo	34,1	60,3	63,9	66	70,3	79,8	100	100	100	100	100	100	100
Abril	0	60,5	69,1	71,7	75,8	84,1	100	100	100	100	100	100	0
Mayo	50,9	82,1	85,4	88,2	92,9	100	100	100	100	100	100	0	0
Junio	0	85,6	90,6	92,9	95,9	100	100	100	100	100	0	0	0
Julio	21	82,9	86,9	89,6	93,8	100	100	100	100	100	100	0	0
Agosto	65,8	79,1	81,7	84,9	90,7	100	100	100	100	100	100	0	0
Septiembre	0	68,3	73	75,2	79,1	86,7	100	100	100	100	100	100	0
Octubre	53,4	66,5	69	71,1	75,4	84	100	100	100	100	100	100	100
Noviembre	51,5	57,2	58,8	60,7	65,2	75,6	100	100	100	100	100	100	100
Diciembre	49,4	53,3	54,5	56,1	60,5	71,5	100	100	100	100	100	100	100

Radiación difusa horaria [%]													
Mes	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Enero	68,2	81,5	94,2	100	100	100	100	100	100	100	94,2	81,5	68,2
Febrero	74	93,9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93,9	74
Marzo	86,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	86,5
Abril	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
Mayo	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
Junio	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0	0
Julio	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
Agosto	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	0
Septiembre	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0
Octubre	86,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	86,5
Noviembre	74,4	87,7	99,1	100	100	100	100	100	100	100	99,1	87,7	74,4
Diciembre	68,2	80	90,8	100	100	100	100	100	100	100	90,8	80	68,2

Modelamiento térmico estático/dinámico

Envolvente y Infiltraciones y RAH, Definición de ΔT

- Registro de temperatura horaria \longrightarrow No muy fácil de conseguir, no están todas las ciudades. Certificación CES, Meteoronorm, desde abril 2018 CEV-CEVE v2.0, Etc
- Registro de Grados Día
Los grados día corresponden a la suma de grados desde la temperatura exterior hasta alcanzar la temperatura deseada \longrightarrow <http://www.degreedays.net/>



En este caso obtenemos 289 GD

$U_x A_x \Delta T$ [W] o $U_x A_x \text{GD}$ [Wh]

$U_x A_x (21-6) * 24 \text{hrs}$ o $U_x A_x 289$

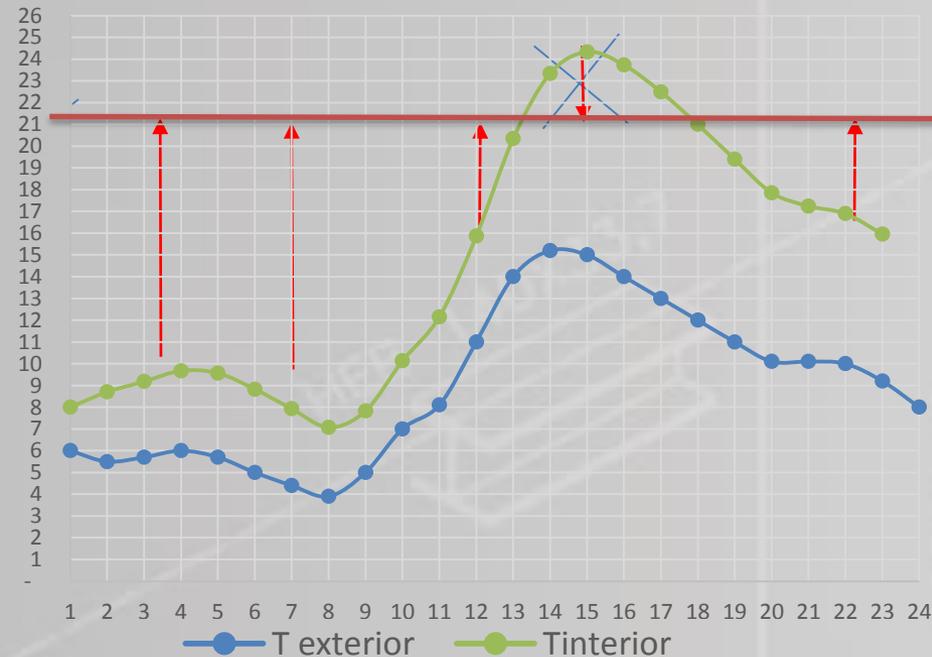
$U_x A_x 360$ o $U_x A_x 289$

Pero los registros de GD que hay son para las 24hrs del día, y a mi me interesa en las horas de uso que desee definir

$$\phi[W] = \sum \phi_{\text{cargas internas}} + \phi_{\text{Radiación}} \pm \phi_{\text{Envolvente}} \pm \phi_{\text{Infiltraciones}} \pm \phi_{\text{RAH}} \pm \phi_{\text{Inercia térmica}}$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

$$\phi[W] = \sum \phi_{Cargas\ internas} + \phi_{Radiación} \pm \phi_{Envolvente} \pm \phi_{Infiltraciones} \pm \phi_{RAH} \pm \phi_{Inercia\ térmica}$$



Potencia [W] x dt = Energía [Wh]

Esta energía, en forma de calor, se reparte por el aire interior y las cosas y las calienta o enfría, dependiendo de a que temperatura se encontraban un instante o un dt anterior.

Pero, si yo quiero controlar la temperatura interior, y dejarla fija, necesariamente requiero de un sistema de clima.

$$\phi[W] = \sum \phi_{Cargas\ internas} + \phi_{Radiación} \pm \phi_{Envolvente} \pm \phi_{Infiltraciones} \pm \phi_{RAH} \pm \phi_{Inercia\ térmica} \pm \phi_{clima} = 0$$

$$\phi_{Clima} \times dt = Demanda [Wh]$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

Envolvente Régimen Permanente y Transiente.

- Cálculo de temperaturas interiores a un cerramiento cualquiera.

En General:

$$\phi_{Total} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad \left[\frac{W}{m^2K} \right] * [m^2] * [K]$$

$$\phi_{Total} = \frac{A \cdot \Delta T}{R_T}$$

Donde:

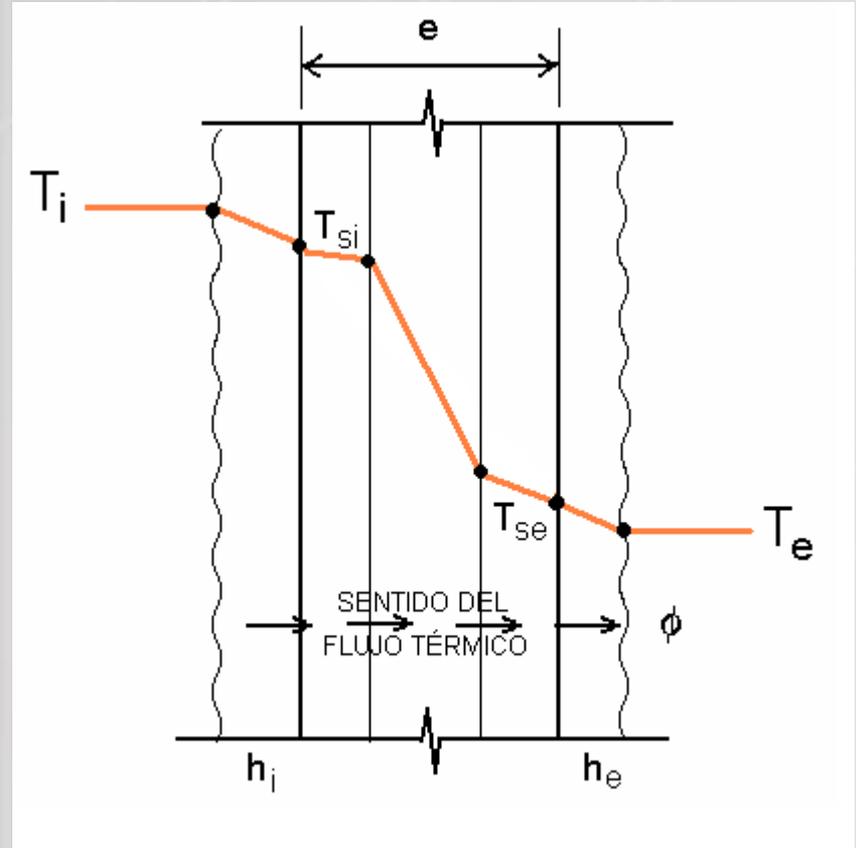
$$R_T = R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

$$\Delta T = T_i - T_e$$

$$\text{Conductividad} = \lambda = \left[\frac{W}{mK} \right]$$

R_{si} y R_{se} Capas limites de aire

$R_{si} = 0,12$ y $R_{se} = 0,05$ según NCh853



Modelamiento térmico estático/dinámico

Envolvente Régimen Permanente y Transiente.

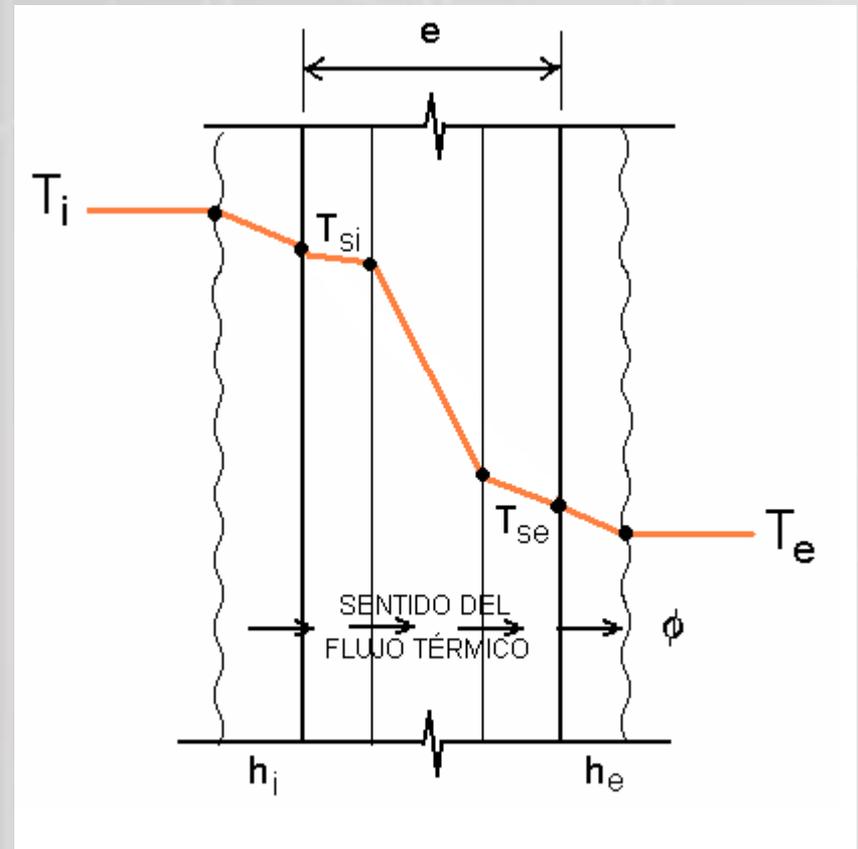
En Particular Para cualquier capa:

$$\phi_{Total} = \frac{\Delta T_i}{R_i}$$

Por lo tanto igualando los flujos de calor:

$$\frac{\Delta T_i}{R_i} = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$\Delta T_i = \Delta T \cdot \frac{R_i}{R_T}$$



Conclusión:

La caída de la temperatura en cada capa, es proporcional a la fracción de la resistencia térmica total que aporta dicha capa.

$$\phi[W] = \sum \phi_{cargas\ internas} + \phi_{Radiación} \pm \phi_{Envolvente} \pm \phi_{Infiltraciones} \pm \phi_{RAH} \pm \phi_{Inercia\ térmica}$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

Envolvente Régimen Permanente y Transiente - Ejemplo

$$\lambda_{\text{Hormigón}} = 1,63 \left[\frac{W}{mK} \right] \quad \lambda_{\text{Poliestireno expandido}} = 0,04 \left[\frac{W}{mK} \right]$$

Muro de H.A de 15cm

$$R_t = R_{si} + \frac{0,15}{1,63} + R_{se} = 0,26 \left[\frac{m^2K}{W} \right]$$

$$U = 3,8 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Muro de H.A de 15cm + 1cm Poliestireno expandido

$$R_t = R_{si} + \frac{0,15}{1,63} + \frac{0,01}{0,04} + R_{se} = 0,51 \left[\frac{m^2K}{W} \right]$$

$$U = 1,9 \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

Envolvente Régimen Permanente y Transiente - Ejemplo

$$\phi_{Total} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$Rt = R_{si} + \frac{0.15}{1.63} + R_{se} = 0.26 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

$$\phi_{Total} = \frac{\Delta T}{R_T}$$

$$\Delta T = (18 - 3)^\circ C = 15^\circ C$$

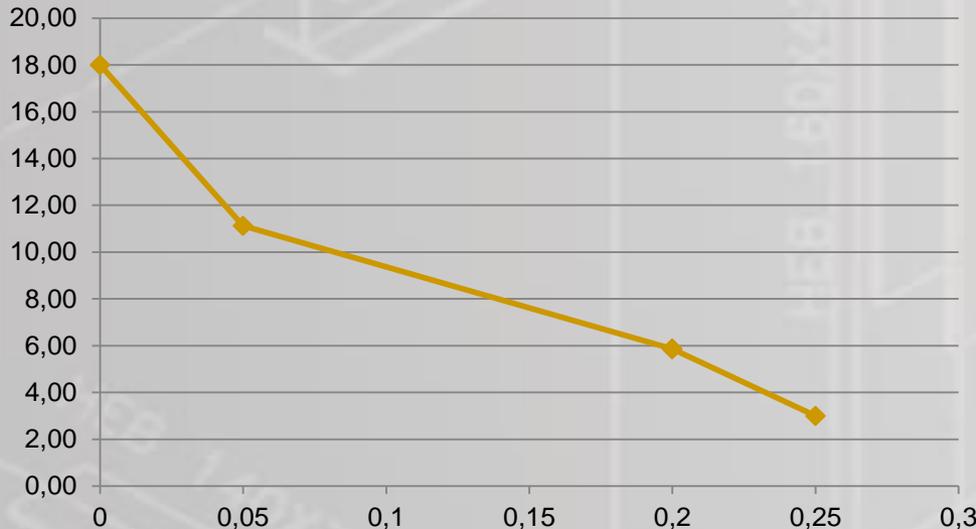
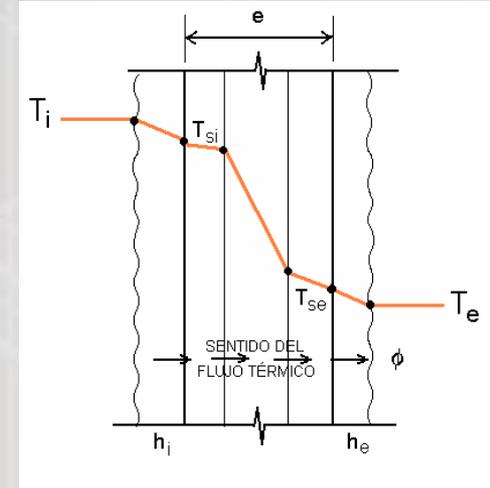
$$R_T = R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

$$\Delta T_{R_{si}} = 15^\circ C \cdot \frac{0.12}{0.26} = 6.9^\circ C$$

$$\lambda_{Hormigón} = 1,63 \left[\frac{W}{mK} \right]$$

$$R_{si} + R_{se} = 0.12 + 0.05$$

$$T_{si} = 18 - 6.9 = 11.1^\circ C$$



Modelamiento térmico estático/dinámico

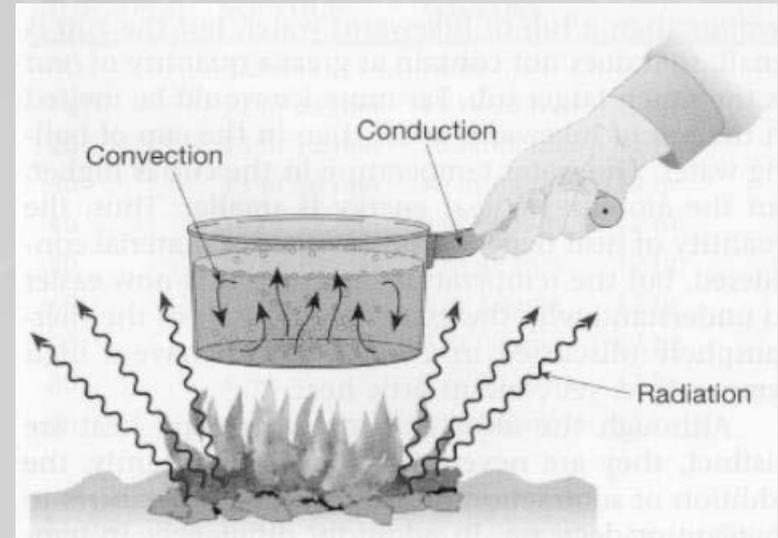
Ventilación

$$\Delta E = m * C_p * \Delta T [J] \text{ o } [Wh]$$

$$m = \rho * Vol \quad (RAH)$$

$$C_p = \text{Calor específico, } \left[\frac{J}{kgK} \right]$$

$$C_{p \text{ aire}} = 1015 \left[\frac{J}{kgK} \right]$$



$$\Phi[W] = \sum \Phi_{\text{cargas internas}} + \Phi_{\text{Radiación}} \pm \Phi_{\text{Envolvente}} \pm \Phi_{\text{Infiltraciones}} \pm \Phi_{\text{RAH}} \pm \Phi_{\text{Inercia térmica}}$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

Ventilación - Ejemplo

Se tiene una vivienda de 60 m² y 2.3 m de altura de piso a cielo con tres habitaciones.

En condición de invierno la temperatura interior se mantiene a 18°C mientras que la temperatura exterior es de 7°C, condición razonable para la zona centro de Chile a las 22:00 hrs.

¿Que calor pierde la vivienda debido a la ventilación?

Solución:

El nivel base de ventilación por salubridad considerado por la PBDT corresponde a:

$$F_{Min} = 2.5 \left[\frac{lbs}{s * persona} \right] * Usuarios + 0.3 \left[\frac{lbs}{s * m^2} \right] * superficie [m^2]$$

La cantidad de usuarios se define como el numero de recintos + 1, es decir, 3+1= 4 personas.

A las 22:00 se asume una ocupación del 100%, por tanto la ocupación es de 4 personas.

$$F_{Min} = 1,35 \cdot \left(2.5 \left[\frac{lbs}{s * persona} \right] * 4 personas + 0.3 \left[\frac{lbs}{s * m^2} \right] * 60 [m^2] \right) = 37,8 \left[\frac{lbs}{s} \right] = 0,0378 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

$$RAH = \frac{0,0378 \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 3600 \left[\frac{s}{hr} \right]}{60[m^2] \cdot 2,3m} = 0,99 \left[\frac{1}{hr} \right]$$

La relación entre la energía absorbida por una masa y la variación de su temperatura es función del calor específico, como sigue:

Cp: Calor específico del aire 1015 J/kg °C.

ρ: Densidad del aire 1,2 kg/m³

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$\dot{Q} = \rho \cdot F_{Min} \cdot Cp \cdot \Delta T \quad \dot{Q} = 1.2 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \cdot 0,0385 \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 1015 \left[\frac{J}{kg * ^\circ C} \right] \cdot (18 - 7)^\circ C = 516[W]$$

$$\Phi[W] = \sum \Phi_{Cargas\ internas} + \Phi_{Radiación} \pm \Phi_{Envolvente} \pm \Phi_{Infiltraciones} \pm \Phi_{RAH} \pm \Phi_{Inercia\ térmica}$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

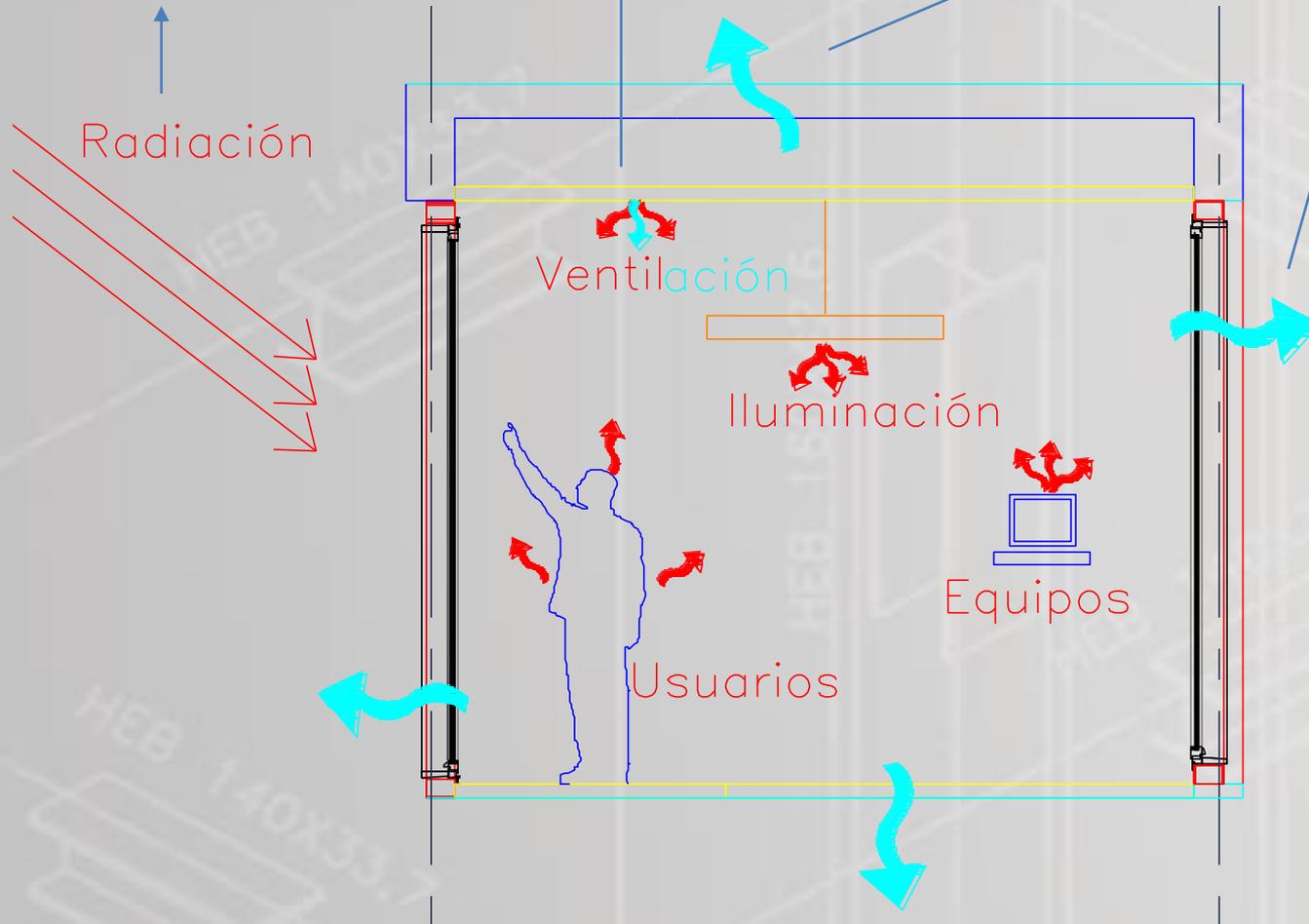
Ahora que entendemos un poco más de donde vienen y como obtener los datos veamos "algunas" cosas que puedo hacer de manera pasiva

$$\dot{\Phi}[W] = \sum \dot{\Phi}_{Cargas\ internas} + \dot{\Phi}_{Radiación} \pm \dot{\Phi}_{Envolvente} \pm \dot{\Phi}_{Infiltraciones} \pm \dot{\Phi}_{RAH} \pm \dot{\Phi}_{Inercia\ térmica} \pm \dot{\Phi}_{Clima}$$

Factor Solar vidrios (FSg)
Factor de Sombra (FS)

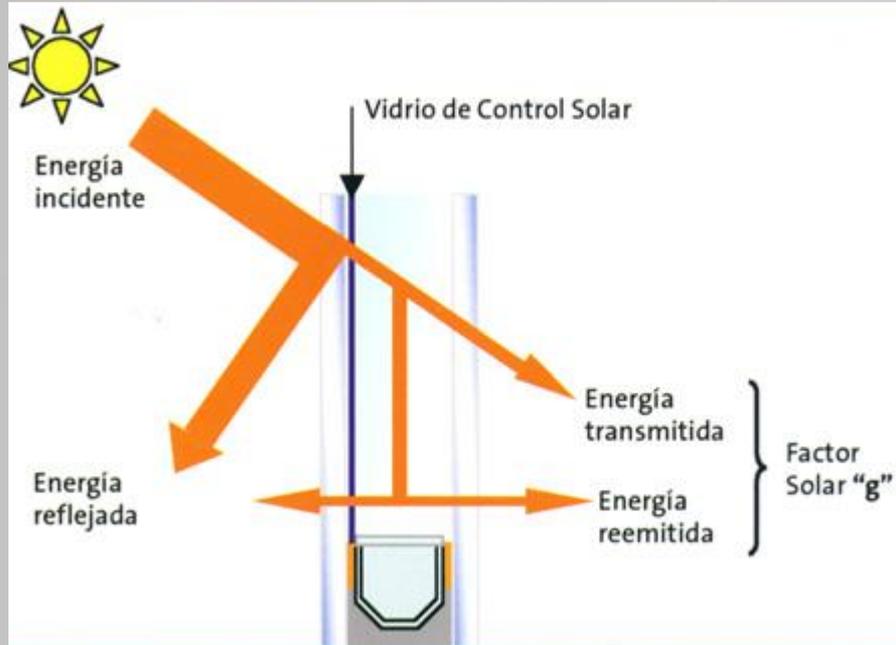
Mejorar Infiltraciones
Controlar RAH

Mejorar Envolvente
Valor U de muros, piso, techo, ventanas



Modelamiento térmico estático/dinámico

Factor Solar

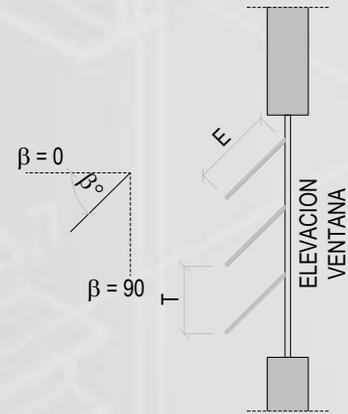
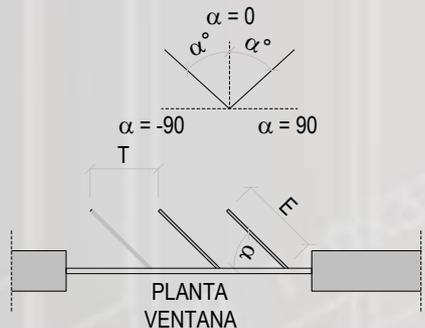
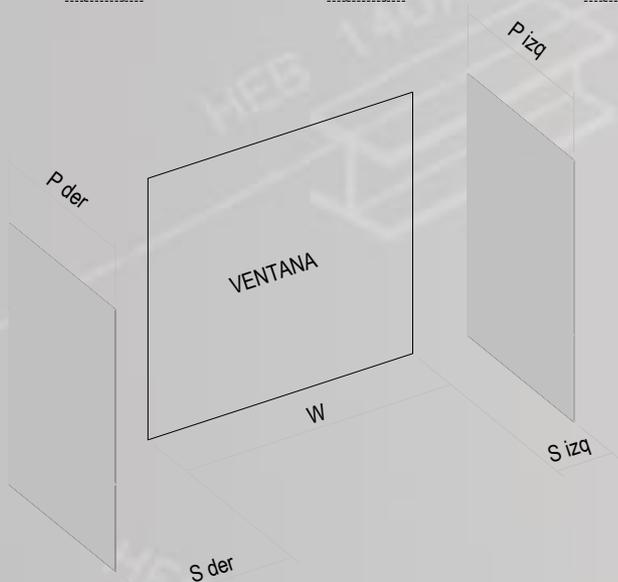
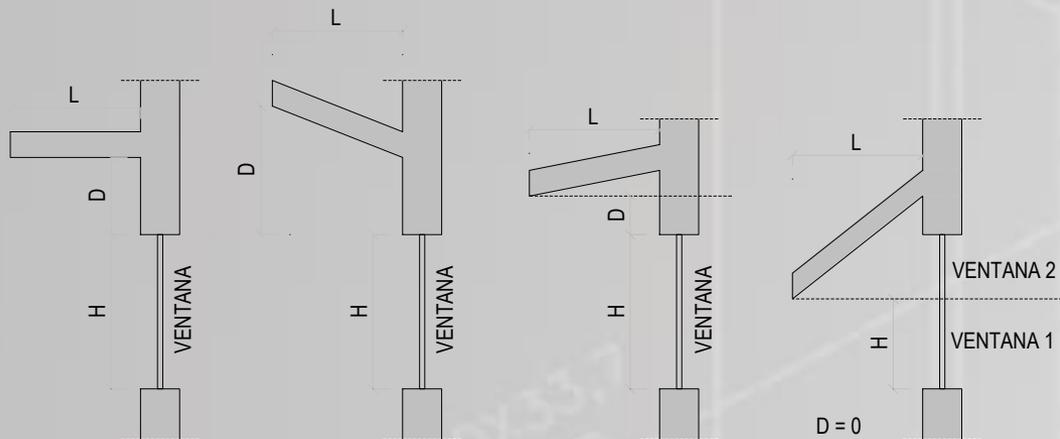


Product	Nombre	e mm	U W/m ² K	F.Solar	F.Sombra
Optifloat Clear	Monolitico Incoloro	6	5,7	0,82	0,94
Energy Advantage Low-E	Energy Advantage Low-E	6	3,6	0,70	0,81
Eclipse Advantage Blue-Green	Eclipse Advantage Blue-Green	6	3,8	0,45	0,53
Optifloat Clear	DVH Incoloro	5	2,8	0,72	0,83
Optifloat Grey Tint	DVH Gris	6	2,8	0,45	0,52
Optifloat Bronze Tint	DVH Bronce	6	2,8	0,50	0,58
Optifloat Blue-Green Tint	DVH Blue-Green	6	2,8	0,50	0,58
Eclipse Advantage Clear	DVH Eclipse Clear	6	1,9	0,55	0,63
Eclipse Advantage Grey	DVH Eclipse Gris	6	1,9	0,33	0,39
Eclipse Advantage Bronze	DVH Eclipse Bronce	6	1,9	0,38	0,44
Eclipse Advantage Blue-Green	DVH Eclipse Blue-Green	6	1,9	0,38	0,44
Eclipse Advantage EverGreen	DVH Eclipse	6	1,9	0,29	0,33

Fuente: Catalogo Vidrios Lirquen

Modelamiento térmico estático/dinámico

Factor de sombra



Factor solar modificado

$FSM = \text{FactorSombra} \times \text{FactorSolar}$

Fuente: CEV v2.0

Modelamiento térmico estático/dinámico

Infiltraciones

Tabla 5: *Uso de sellos apropiados según tipo de unión.*

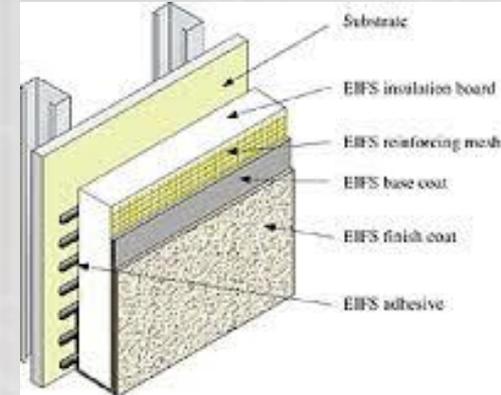
Tipo de Sello	Aplicaciones	Sustratos de Aplicación
Silicona Neutra	Ventanas, Juntas de cubiertas y techumbres	Vidrio, cristal, metales, superficies pintadas, maderas, acrílicos, policarbonatos, cerámicas y para aplicaciones sanitarias.
Siliconas estructurales	Ventanas, Muros Cortina	Vidrio, cristal, metales, superficies pintadas, maderas.
Adhesivo de Poliuretano	Juntas de cubiertas y techumbres	Madera, metales, primer para metal y pinturas de terminación, materiales cerámicos y plásticos.
Sellos de XPS (apoyo para adhesivo de Poliuretano)	Ventanas, Muros Cortina	Juntas de dilatación, fachadas, pavimentos, prefabricados, paneles, baños, cocinas, puertas y ventanas.
Espuma de Poliuretano	Ventanas, Sellado Paso de Instalaciones	Alrededor de marcos de puertas y ventanas, pasadas de ductos, aire acondicionado, orificios, etc.
Cintas Expansibles	Ventanas	Alrededor de marcos de puertas y ventanas.
Membranas en Cinta EPDM	Ventanas, Muros Cortina	Alrededor de marcos de puertas, ventanas y muros cortinas.
Caucho de Butilo extruible o cinta	Juntas de cubiertas y techumbres	Metales aluminizados o pintados con distintas pinturas utilizadas en este rubro. No corroe el, o el cobre.
Silano-modificado (híbrido)	Juntas de cubiertas y techumbres	PVC rígido, plástico reforzado con fibra de vidrio (GRFP), madera, cerámica, teja, ladrillos, hormigón, aluminio, acero inoxidable, etc.

Fuente: *Elaboración propia en base a "Recomendaciones técnicas para la especificación de ventanas" de la CDT CChC, y recomendaciones de 3M y Sika.*

Fuente: CES

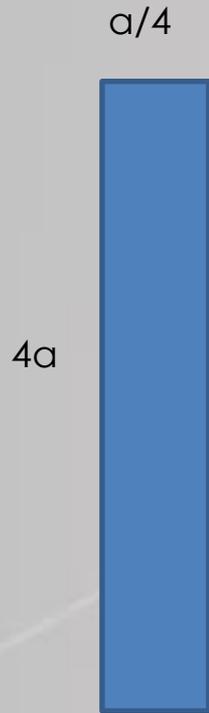
Modelamiento térmico estático/dinámico

Aislación



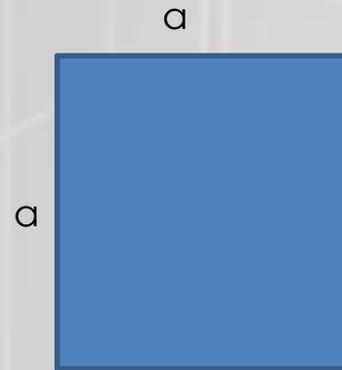
Modelamiento térmico estático/dinámico

¿ Da lo mismo la forma del espacio a modelar?



$$\text{Área} = 4a \times a/4 = a^2$$

$$\text{Perímetro} = 2 \times (4a + a/4) = 8,5a$$



$$\text{Área} = a \times a = a^2$$

$$\text{Perímetro} = 2 \times (a + a) = 4a$$

$$U \times A \times \Delta T$$

influye

¿Infiltraciones?
Más superficie...

influye

$$\frac{\text{Perímetro}}{\text{Área}} = \frac{4a}{a^2} = \frac{4}{a}$$

Modelamiento térmico estático/dinámico

Oficina:

Uso: 9am-20pm

Días: 5 días a la semana

Rango de temperatura clima: 21°C/24°C

Radiación



RAH



Envolvente



N°	Nombre del	Radiacion			Ventilacion		Envolvente				
Caso	Caso	FSg	FS	FSM	Infiltraciones	RAH	Muros	Vidrios	Techo	Piso	
1	Caso Base	0,8	1,0	0,8		1,5	0,7	3,8	5,8	4,3	3,2
2	FSg + FS	0,5	0,6	0,3		1,5	0,7	3,8	5,8	4,3	3,2
3	Mejora Infiltraciones	0,8	1,0	0,8	0,5	0,7	3,8	5,8	4,3	3,2	
4	Envolvente 1	0,8	1,0	0,8		1,5	0,7	1,9	2,6	0,5	0,7
5	Todo	0,5	0,6	0,3	0,5	0,7	1,9	2,6	0,5	0,7	

Termopanel con buen tinte + Aleros/obstrucciones

Sellos

Volcapol 1cm yeso carton + 1cm poliestireno expandido 15kg/m3

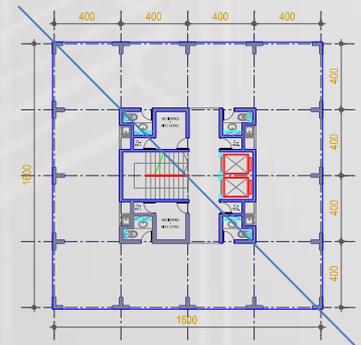
Termopanel

80mm Lana de vidrio

50mm Poliestireno expandido 15kg/m3

Condiciones modelo dinámico:

Planta dividida en 2, N-E y S-O con el 50% de la superficie en cada caso



Modelamiento térmico estático (día invierno)

$$\Phi [W] = \sum \Phi_{Cargas\ internas} + \Phi_{Radiación} \pm \Phi_{Envolvente} \pm \Phi_{Infiltraciones} \pm \Phi_{RAH} \pm \Phi_{Inercia\ térmica}$$

Ganancias internas	
Gente	8,2 [W/m2]
Equipos	15,3 [W/m2]
Iluminación	12 [W/m2]
Total	35,5 [W/m2]
hrs uso	11 [hrs]
Aporte calórico	74.976,0 [Wh]

$$35,5 [W/m2] * 11 [hrs] * 192 [m2]$$

Radiación Solar diaria por orientación [Wh/m2]				
Mes	Norte	Oeste	Este	Sur
Enero	2550	3221,8	3221,8	2198,5
Febrero	2812	2939,6	2939,6	1942,8
Marzo	2645	2298,1	2298,1	1741
Abril	2172	1678	1678	1381,4
Mayo	1251	1050,1	1050,1	970,9
Junio	874,1	776,3	776,3	745,4
Julio	1088	920	920	859
Agosto	1581	1310,1	1310,1	1180,5
Septiembre	2185	1868,7	1868,7	1590,8
Octubre	2522	2441,3	2441,3	1976,6
Noviembre	2608	3005	3005	2188,5
Diciembre	2480	3233,3	3233,3	2298,9

m2 ventana/fachada	36 [m2]
Radiación	114.195,6 [Wh]

Envolvente	Área [m2]	U [W/m2K]	U*A [W/K]
Muros	86,4	3,8	330,0
Techo	192,0	4,3	827,5
Vidrio	144,0	5,8	835,2
Piso	192,0	3,2	614,4
Total			2.607,2

GD	289,0 [K*hrs]
U*A*GD	753.471,6 [Wh]

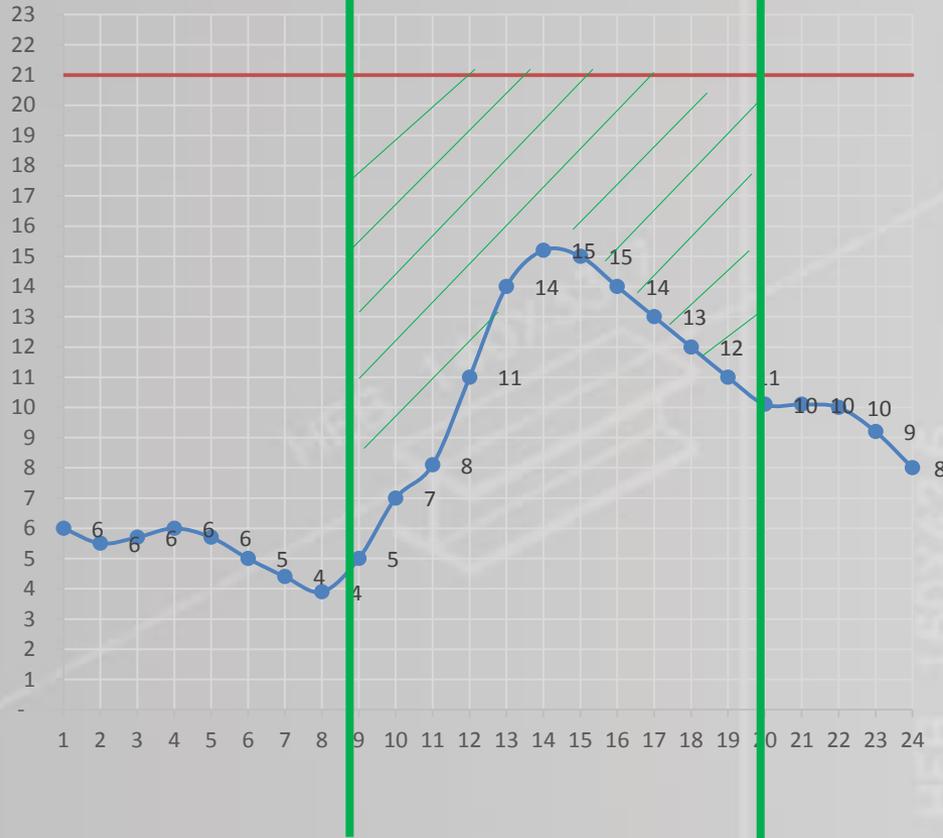
Infiltraciones	1,5 []
RAH	0,7 []
m*Cp*GD	123.904,7 [Wh]

$m = r * vol * RAH = 1,2 [kg/m3] * 192 [m2] * 3 [m] * (1,5 + 0,7) [RAH]$
 $Cp = 1015 [J/kgK]$
 (se divide en 3600 segundos por que GD esta en horas)

Envolvente	- 753.471,6 [Wh]
RAH	- 123.904,7 [Wh]
Ganancias Internas	74.976,0 [Wh]
Radiación	114.195,6 [Wh]
Total	688.204,7 [Wh]
Total /m2	3.584,4 [Wh/m2]

Modelamiento térmico estático

$$\phi[W] = \sum \phi_{Cargas\ internas} + \phi_{Radiación} \pm \phi_{Envolvente} \pm \phi_{Infiltraciones} \pm \phi_{RAH} \pm \phi_{Inercia\ térmica}$$



En este caso obtenemos 289 GD

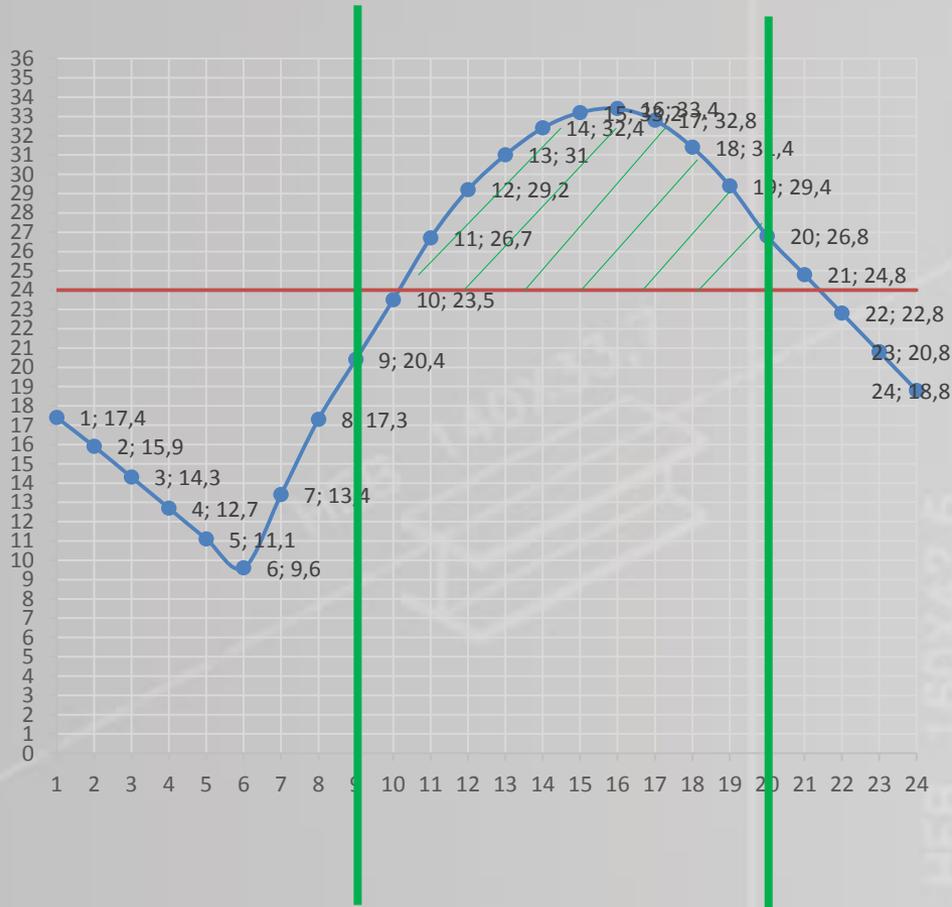
En este caso obtenemos 106 GD

Envolvente	- 753.471,6 [Wh]
RAH	- 123.904,7 [Wh]
Ganancias Internas	74.976,0 [Wh]
Radiación	114.195,6 [Wh]
Total	688.204,7 [Wh]
Total /m2	3.584,4 [Wh/m2]

Envolvente	- 276.359,8 [Wh]
RAH	- 45.446,0 [Wh]
Ganancias Internas	74.976,0 [Wh]
Radiación	114.195,6 [Wh]
Total	132.634,2 [Wh]
Total /m2	690,8 [Wh/m2]

Modelamiento térmico estático

¿y en verano?



En este caso obtenemos 66 GD

Modelamiento térmico estático

$$\Phi [W] = \sum \Phi_{\text{Cargas internas}} + \Phi_{\text{Radiación}} \pm \Phi_{\text{Envolvente}} \pm \Phi_{\text{Infiltraciones}} \pm \Phi_{\text{RAH}} \pm \Phi_{\text{Inercia térmica}}$$

Ganancias internas	
Gente	8,2 [W/m2]
Equipos	15,3 [W/m2]
Iluminación	12 [W/m2]
Total	35,5 [W/m2]
hrs uso	11 [hrs]
Aporte calórico	74.976,0 [Wh]

Envolvente	Área	U	U*A
	[m2]	[W/m2K]	[W/K]
Muros	86,4	3,8	330,0
Techo	192,0	4,3	827,5
Vidrio	144,0	5,8	835,2
Piso	192,0	3,2	614,4
Total			2.607,2

Radiación Solar diaria por orientación [Wh/m2]				
Mes	Norte	Oeste	Este	Sur
Enero	2550	3221,8	3221,8	2198,5
Febrero	2812	2939,6	2939,6	1942,8
Marzo	2645	2298,1	2298,1	1741
Abril	2172	1678	1678	1381,4
Mayo	1251	1050,1	1050,1	970,9
Junio	874,1	776,3	776,3	745,4
Julio	1088	920	920	859
Agosto	1581	1310,1	1310,1	1180,5
Septiembre	2185	1868,7	1868,7	1590,8
Octubre	2522	2441,3	2441,3	1976,6
Noviembre	2608	3005	3005	2188,5
Diciembre	2480	3233,3	3233,3	2298,9

GD	66,0 [K*hrs]
U*A*GD	172.073,1 [Wh]

Infiltraciones	1,5 []
RAH	0,7 []
m*Cp*GD	28,296,6 [Wh]

$m = r * vol * RAH =$
 $1,2 [kg/m^3] * 192 [m^2] * 3 [m] * (1,5 + 0,7) [RAH]$
 $Cp = 1015 [J/kgK]$
 (se divide en 3600 segundos por que GD esta en horas)

m2 ventana/fachada	36 [m2]
Radiación	404.834,4 [Wh]

Envolvente	172.073,1 [Wh]
RAH	28.296,6 [Wh]
Ganancias Internas	74.976,0 [Wh]
Radiación	404.834,4 [Wh]
Total	680.180,1 [Wh]
Total /m2	3.542,6 [Wh/m2]



I N G E N I E R Í A

Gracias.

Matías Yachan V. / Ingeniero Asocaido E3

Ingeniero Civil Estructural

Universidad de Chile

+569 – 90742040

matias.yachan@e3ingenieria.cl

www.e3ingenieria.cl

E3 Ingeniería – Estructuras, Eficiencia y Estrategias contra Incendios