

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]

+ ○ -

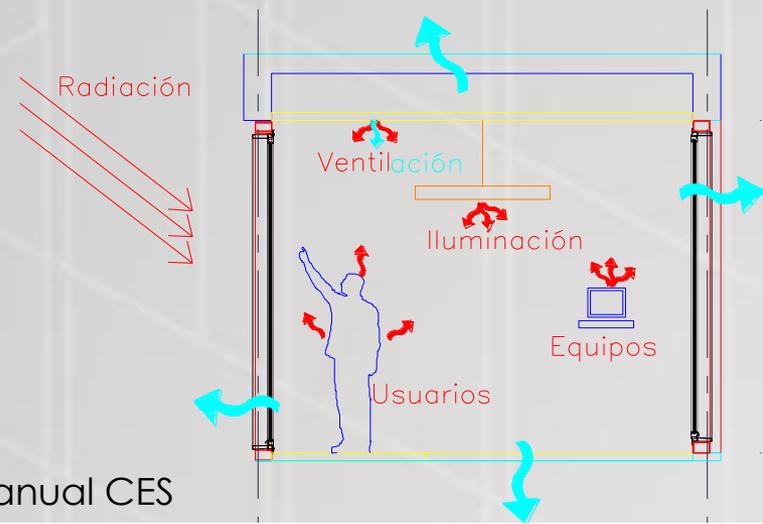
Ventilación ?? [W/m²]

+ ○ -

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		Ilumi-nancia [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					Vaca-ciones 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 Solarimétrico
- 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):

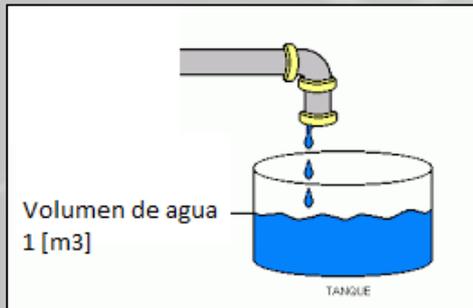
Diferencia entre Energía y Potencia:

❖ **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.

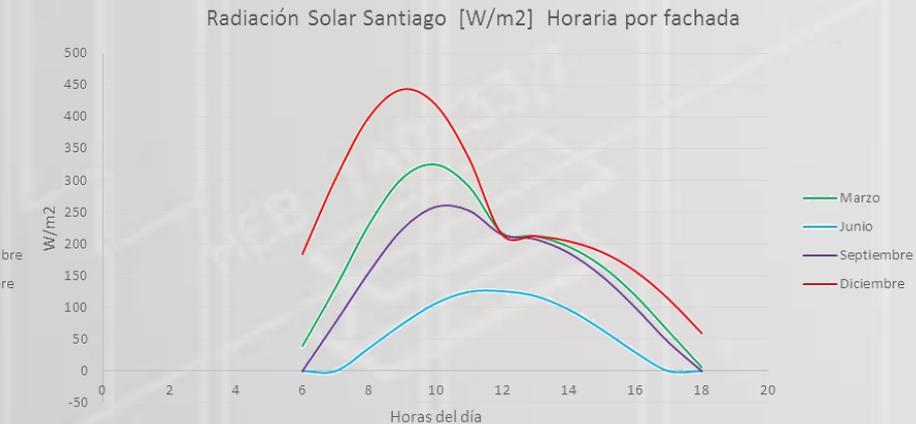
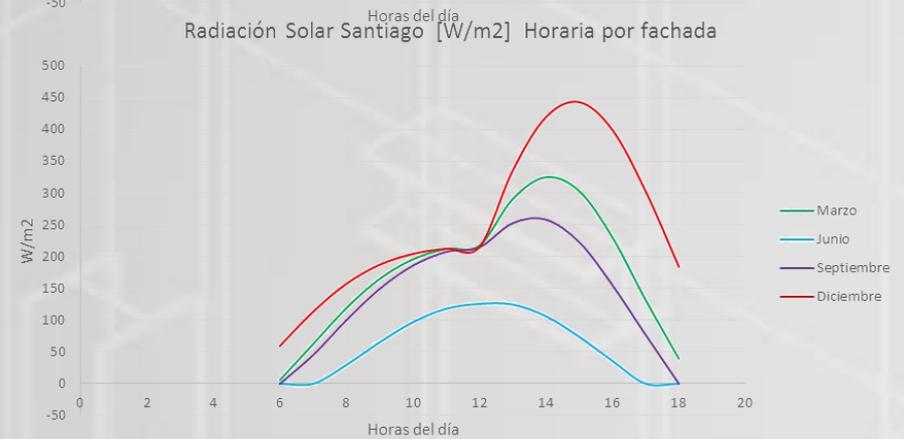
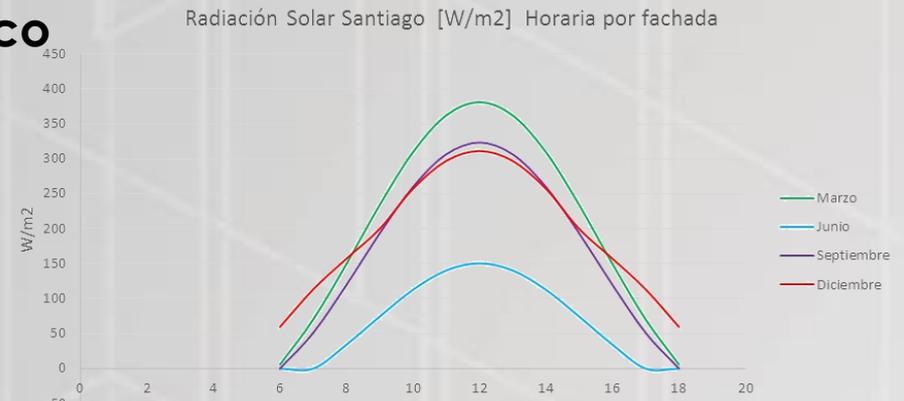
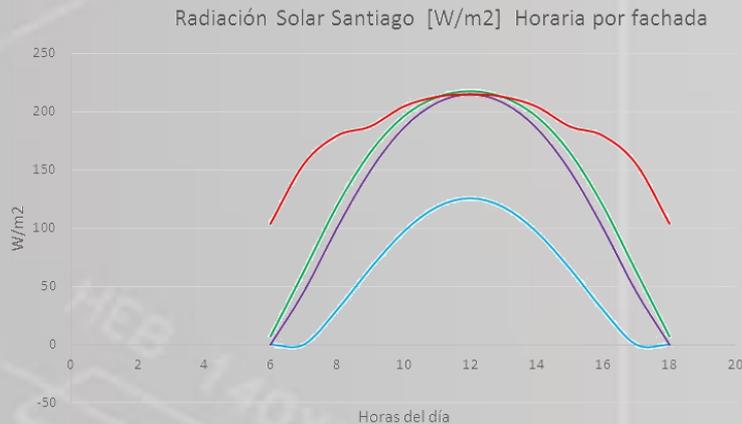
$$1[kWh] =$$
$$E = 1000 \left[\frac{J}{s} \right] \cdot 3600[s] = 3.600.000[J]$$

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

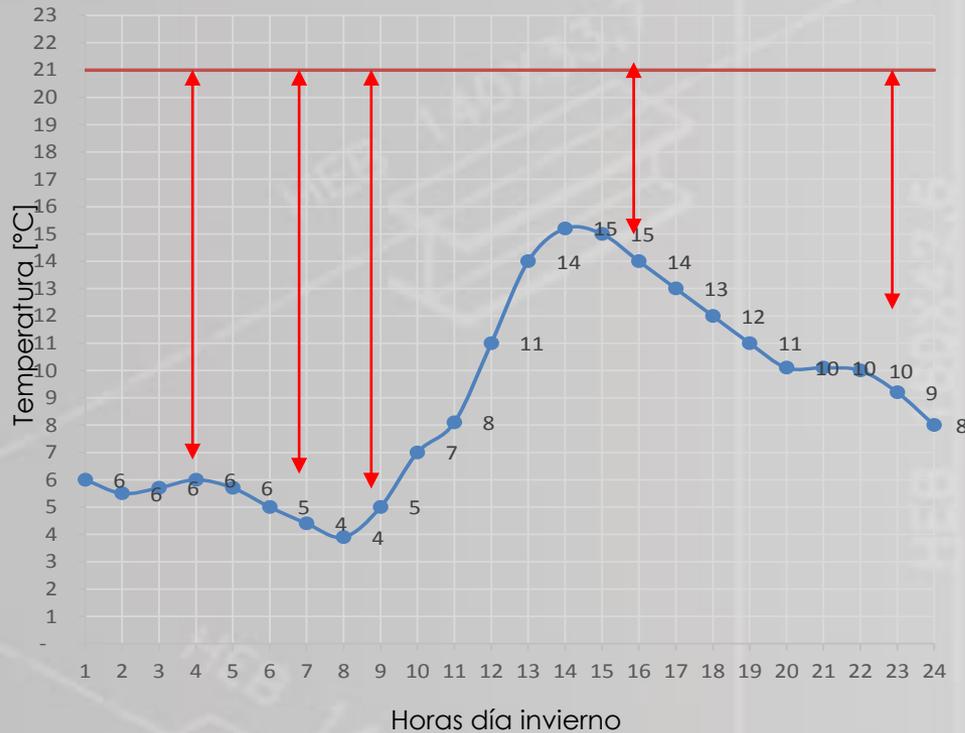
Radiación difusa horaria [%]													
Mes	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Enero	47,8	52,1	53,2	54,6	58,8	69,9	100	100	100	100	100	100	100
Febrero	45	52,9	54,5	56	60,1	70,8	100	100	100	100	100	100	100
Marzo	34,1	60,3	63,9	66	70,3	79,8	100	100	100	100	100	100	100
Abril	0	60,5	69,1	71,7	75,8	84,1	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 $U_x A_x 289$

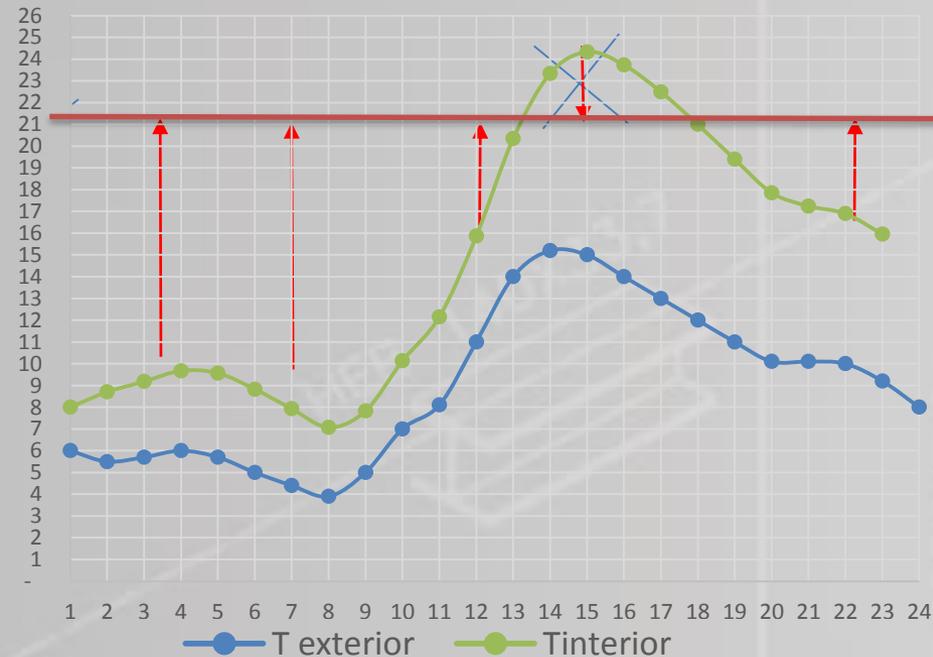
$U_x A_x 360$ o $U_x A_x 289$

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:

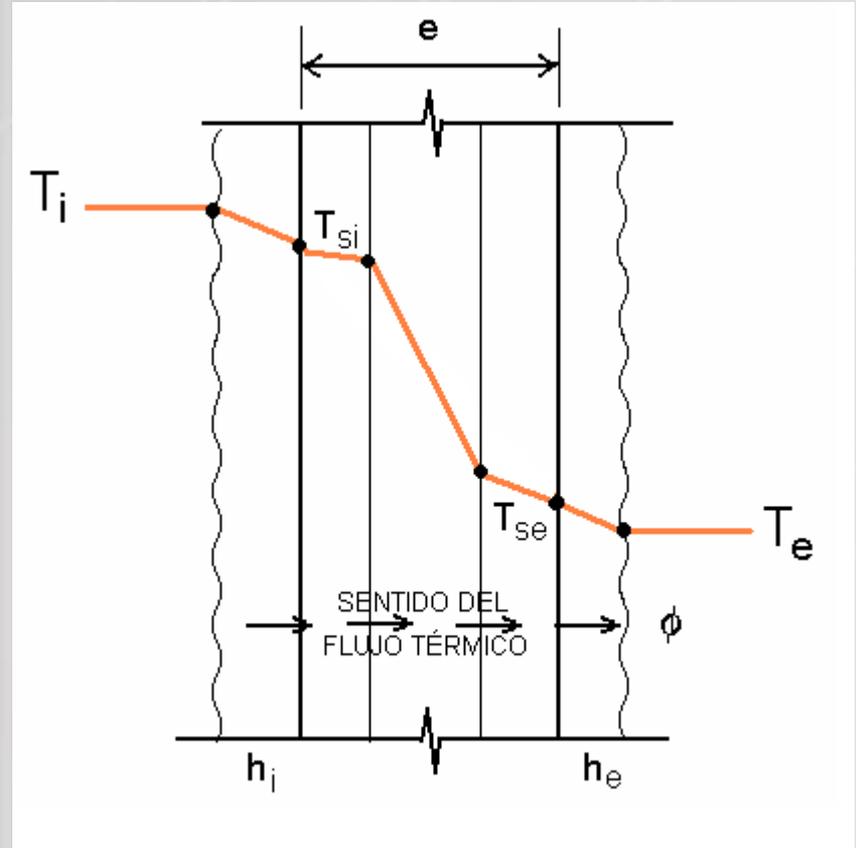
$$R_T = R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

$$\Delta T = T_i - T_e$$

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

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.

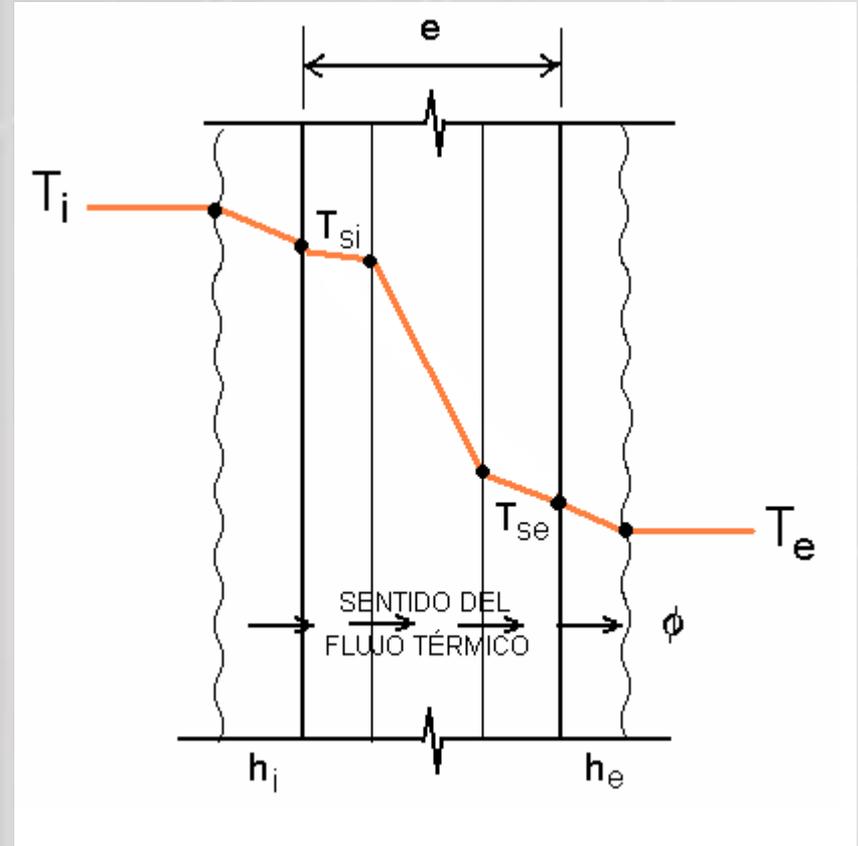
En Particular Para cualquier capa:

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

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

$$\phi_{Total} = U \cdot A \cdot \Delta T \quad R_t = R_{si} + \frac{0.15}{1.63} + R_{se} = 0.26 \left[\frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

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

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

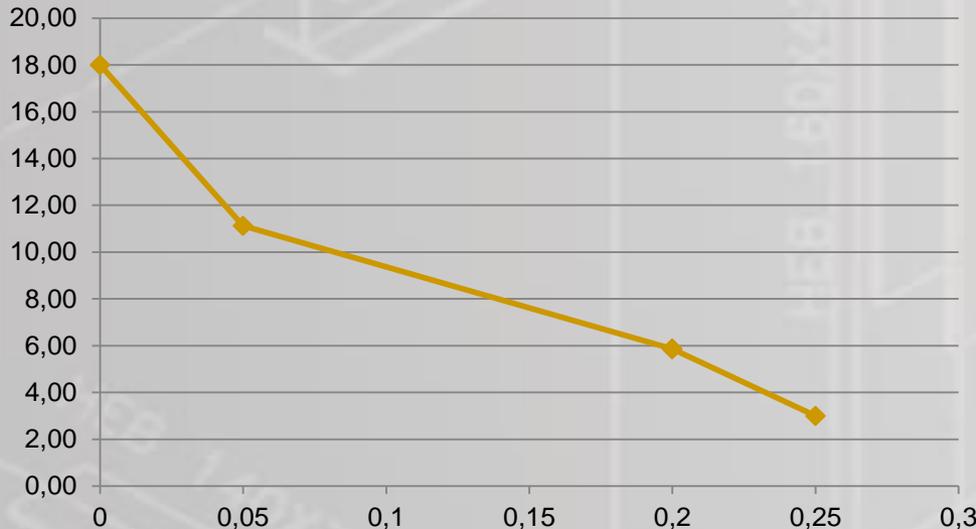
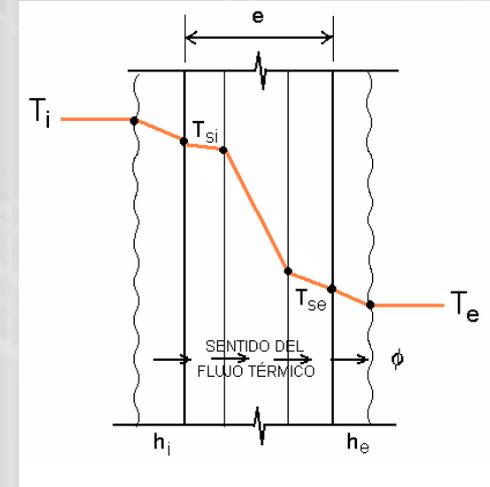
$$R_T = R_{si} + \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se}$$

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

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

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

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



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

Modelamiento térmico estático/dinámico

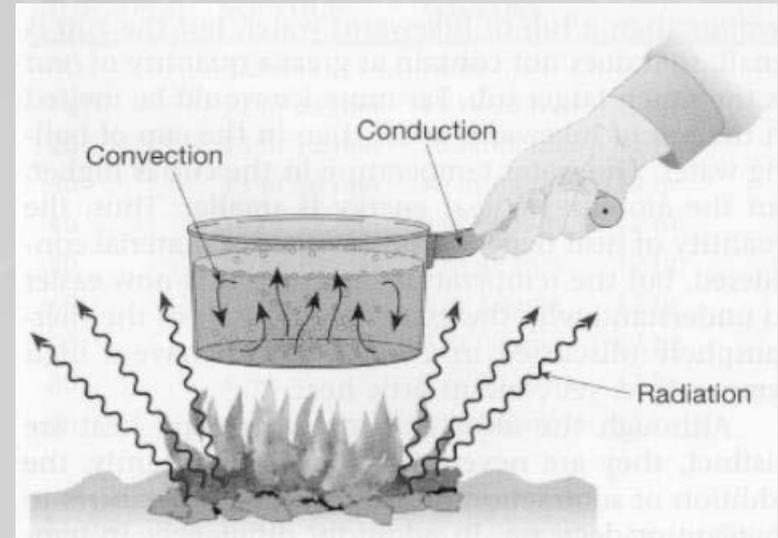
Ventilación

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

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

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

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



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

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 (para el caso base de PBDT se amplificó en un 35%):

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

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

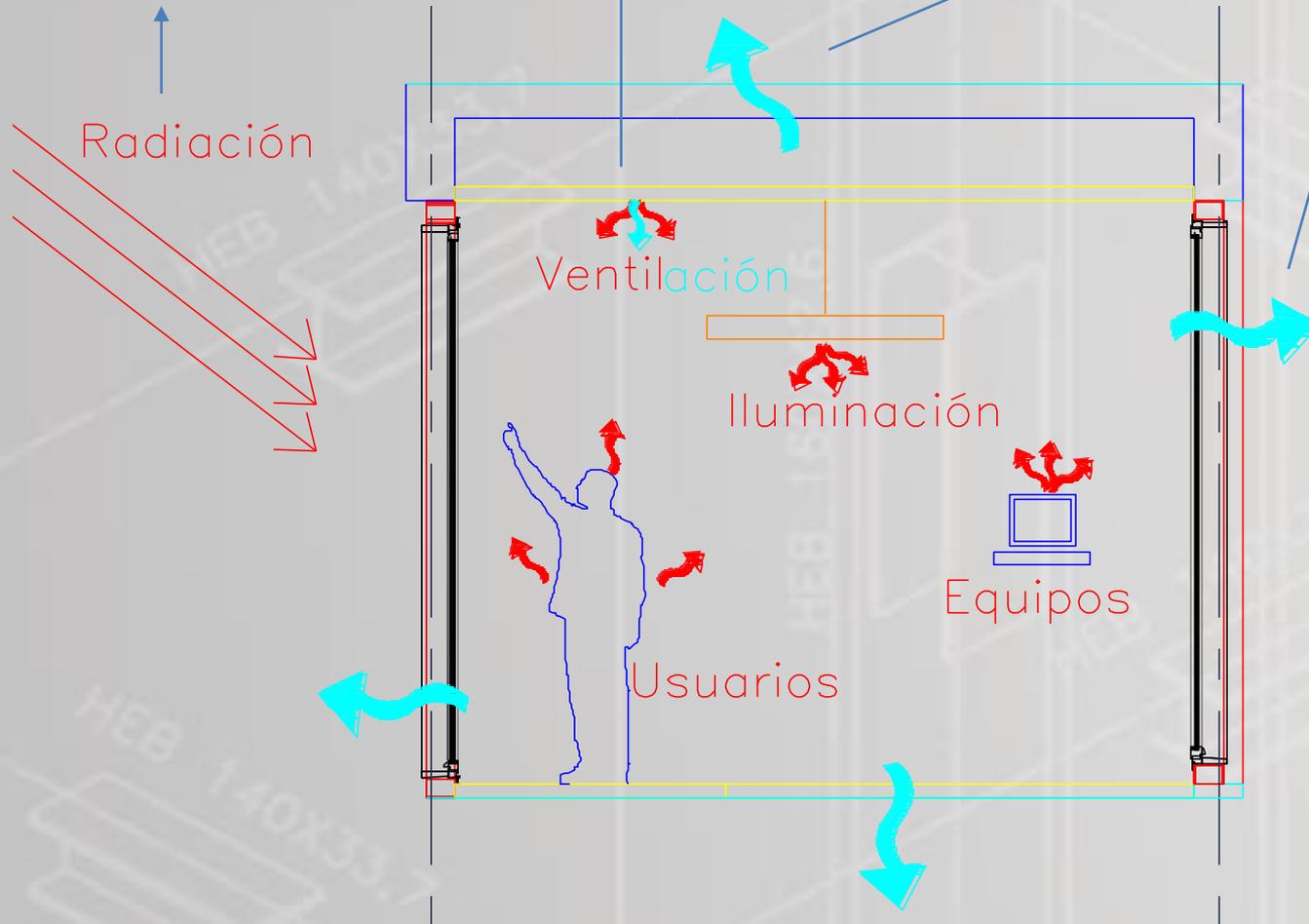
Ahora que entendemos un poco más de donde vienen y como obtener los datos veamos "algunas" cosas que puedo hacer de manera pasiva

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

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

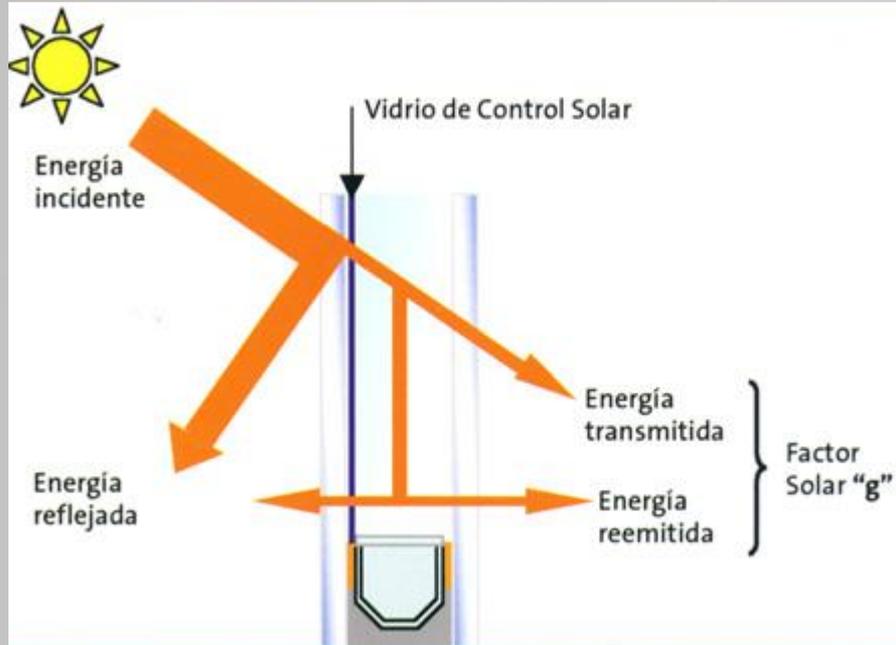
Mejorar Infiltraciones
Controlar RAH

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



Modelamiento térmico estático/dinámico

Factor Solar

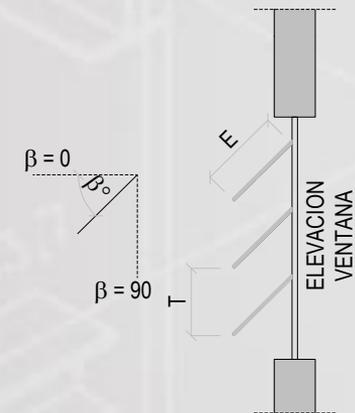
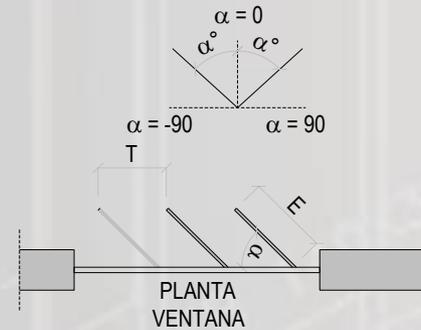
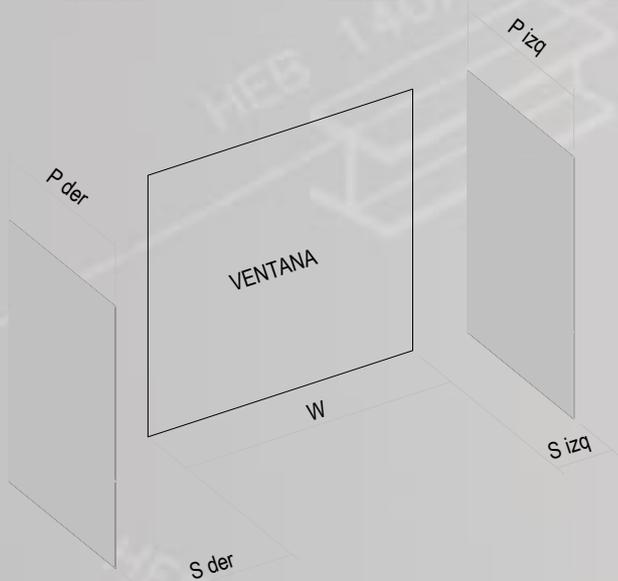
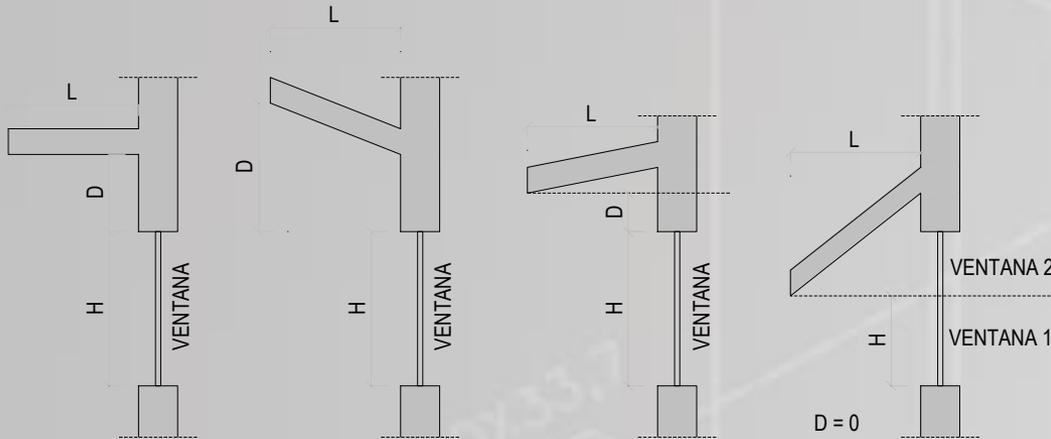


Product	Nombre	e mm	U W/m ² K	F.Solar	F.Sombra
Optifloat Clear	Monolitico Incoloro	6	5,7	0,82	0,94
Energy Advantage Low-E	Energy Advantage Low-E	6	3,6	0,70	0,81
Eclipse Advantage Blue-Green	Eclipse Advantage Blue-Green	6	3,8	0,45	0,53
Optifloat Clear	DVH Incoloro	5	2,8	0,72	0,83
Optifloat Grey Tint	DVH 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 = FactorSombra x FactorSolar

Fuente: CEV v2.0

Modelamiento térmico estático/dinámico

Infiltraciones

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

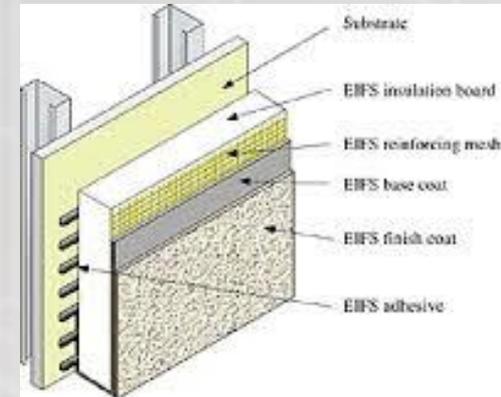
Tipo de Sello	Aplicaciones	Sustratos de Aplicación
Silicona Neutra	Ventanas, Juntas de cubiertas y techumbres	Vidrio, cristal, metales, superficies pintadas, maderas, acrílicos, policarbonatos, cerámicas y para aplicaciones sanitarias.
Siliconas estructurales	Ventanas, Muros Cortina	Vidrio, cristal, 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

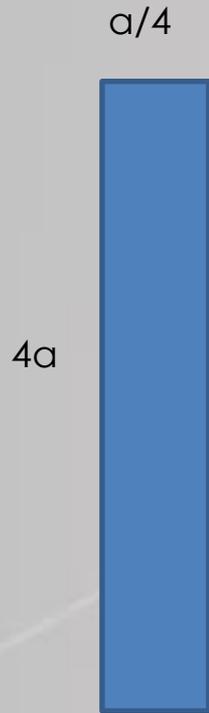
Modelamiento térmico estático/dinámico

Aislación



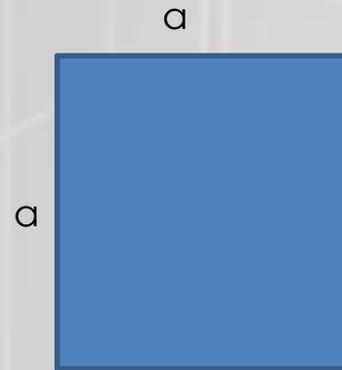
Modelamiento térmico estático/dinámico

¿ 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

Superficie útil:

- $4\text{m} \times 4\text{m} \times 12 \text{ módulos} = 192\text{m}^2$

Superficie vidriada por fachada:

- $3\text{m} \times 3\text{m} \times 4 \text{ módulos} = 36\text{m}^2$ (62%)

Superficie opaca por fachada:

- $1\text{m} \times 3\text{m} \times 4 \text{ módulos} + 16\text{m} \times 0,6\text{m} = 21,6\text{m}^2$

Envolvente opaca muros:

- Muro H.A 15cm sin aislación $U=3,82$ [W/m²K]

Envolvente opaca Techo:

- Losa H.A 15 cm sin aislación $U=4,31$ [W/m²K]

Envolvente opaca Piso:

- Losa H.A 15 cm sin aislación $U=3,2$ [W/m²K]

Envolvente translúcida:

- Vidrio Simple $U=5,8$ [W/m²K]



Modelamiento térmico estático/dinámico

Superficie útil:

- 4mx4mx12 módulos = 192m²

Superficie vidriada por fachada:

- 3mx3mx4 módulos = 36m² (62%)

Superficie opaca por fachada:

- 1mx3mx4 módulos + 16mx0,6m = 21,6m²

Envolvente opaca muros:

- Muro H.A 15cm sin aislación U=3,82 [W/m²K]

Envolvente opaca Techo:

- Losa H.A 15 cm sin aislación U=4,31 [W/m²K]

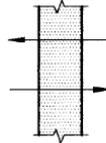
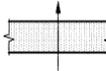
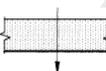
Envolvente opaca Piso:

- Losa H.A 15 cm sin aislación U=3,2 [W/m²K]

Envolvente translúcida:

- Vidrio Simple U=5,8 [W/m²K]

Tabla 2

Resistencias térmicas de superficie en m ² · K/W						
Posición del elemento y sentido del flujo de calor	Situación del elemento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor de 60° respecto a la horizontal 	0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60° respecto a la horizontal 	0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual a 60° respecto a la horizontal 	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Modelamiento térmico estático/dinámico

Oficina:

Uso: 9am-20pm

Días: 5 días a la semana

Rango de temperatura clima: 21°C/24°C

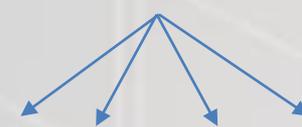
Radiación



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

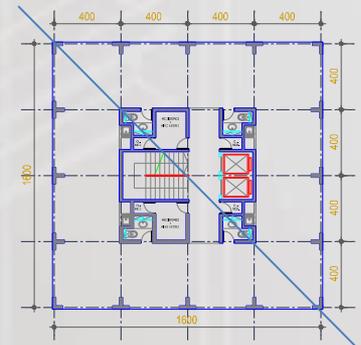
Termopanel

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]

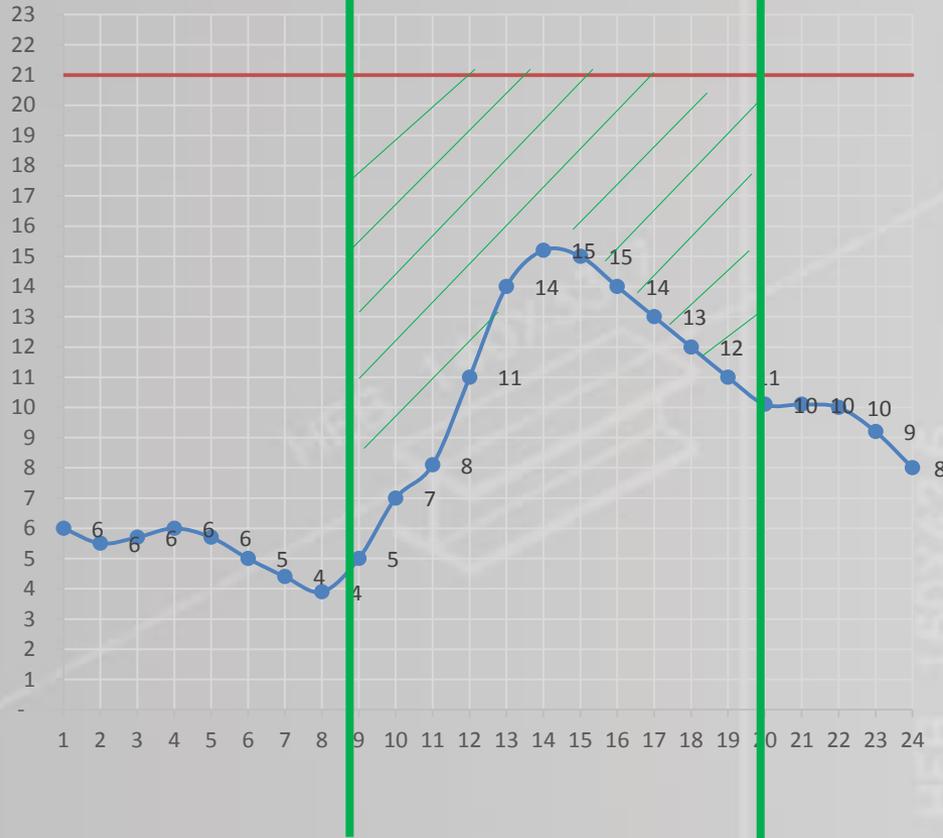
Infiltraciones	1,5 []
RAH	0,7 []
m*Cp*GD	123.904,7 [Wh]

$m = r * vol * RAH = 1,2 [kg/m3] * 192 [m2] * 3 [m] * (1,5 + 0,7) [RAH]$
 $Cp = 1015 [J/kgK]$
 (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

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



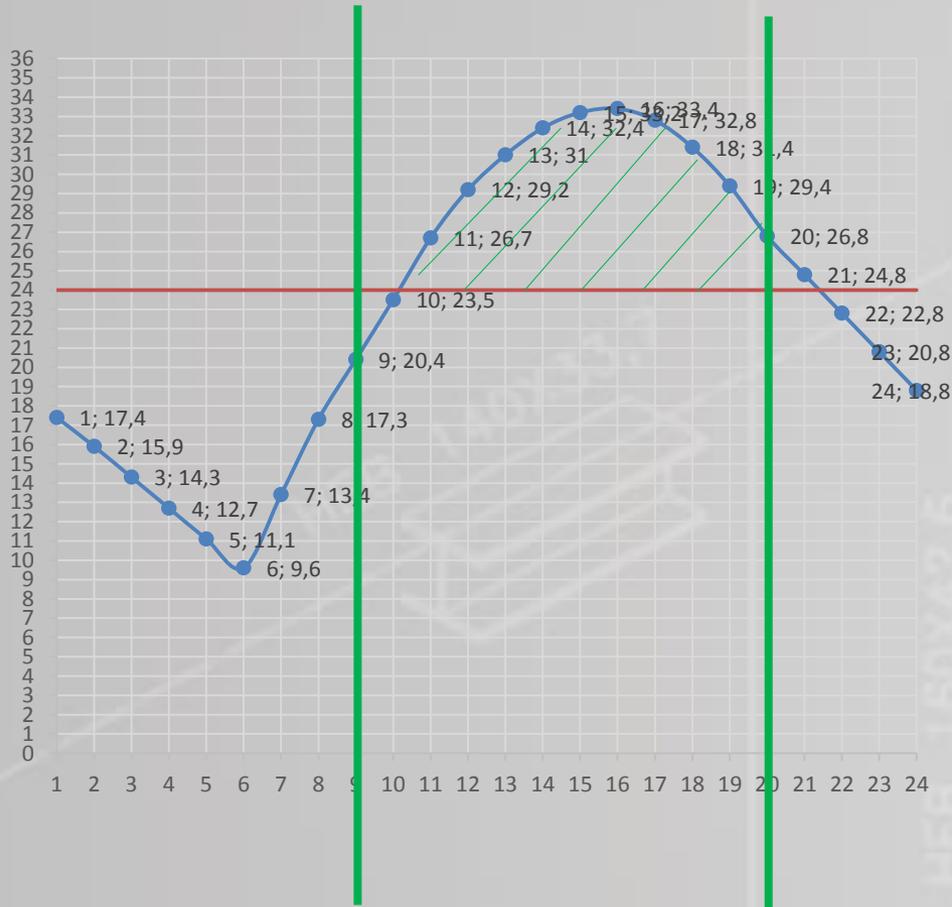
En este caso obtenemos 289 GD

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]

Modelamiento térmico estático/dinámico

Superficie útil:

- 4mx4mx12 módulos = 192m²

Superficie vidriada por fachada:

- 3mx3mx4 módulos = 36m² (62%)

Superficie opaca por fachada:

- 1mx3mx4 módulos + 16mx0,6m = 21,6m²

Envolvente opaca muros:

- Muro H.A 15cm sin aislación U=3,82 [W/m²K]

Envolvente opaca Techo:

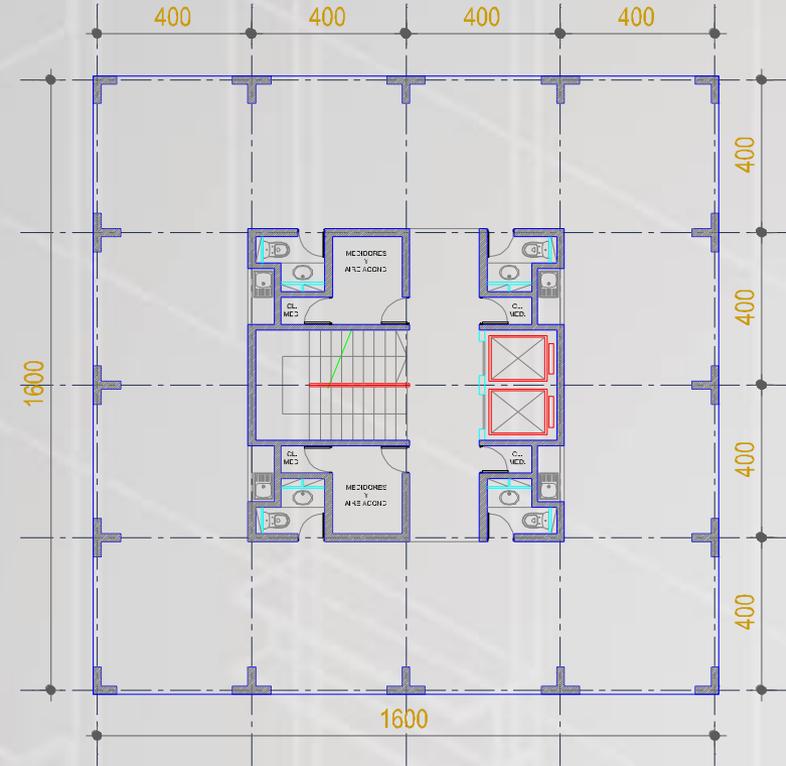
- Losa H.A 15 cm sin aislación U=4,31 [W/m²K]

Envolvente opaca Piso:

- Losa H.A 15 cm sin aislación U=3,2 [W/m²K]

Envolvente translúcida:

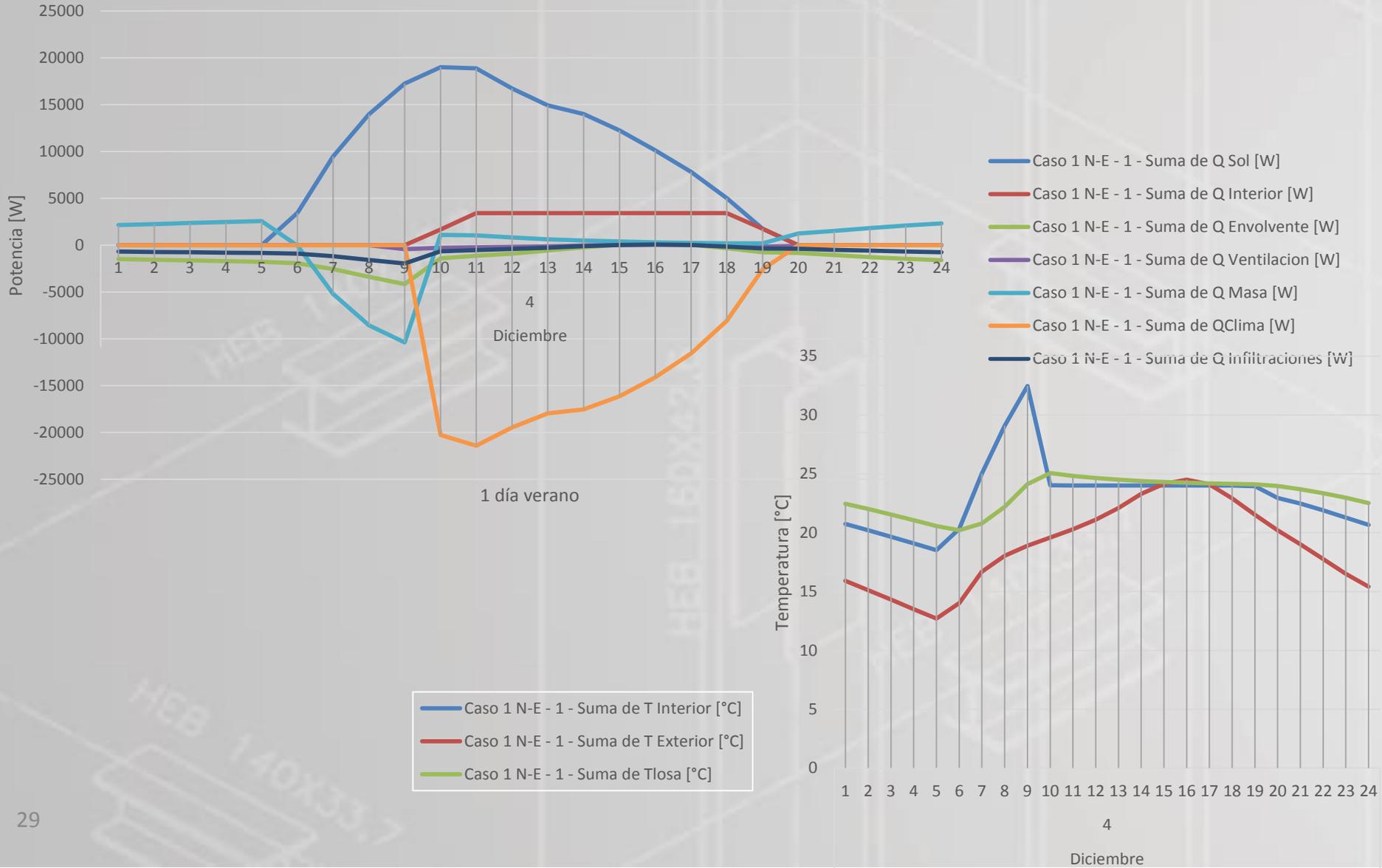
- Vidrio Simple U=5,8 [W/m²K]



N°	Nombre del Caso	Radiacion			Ventilacion		Envolvente			
		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

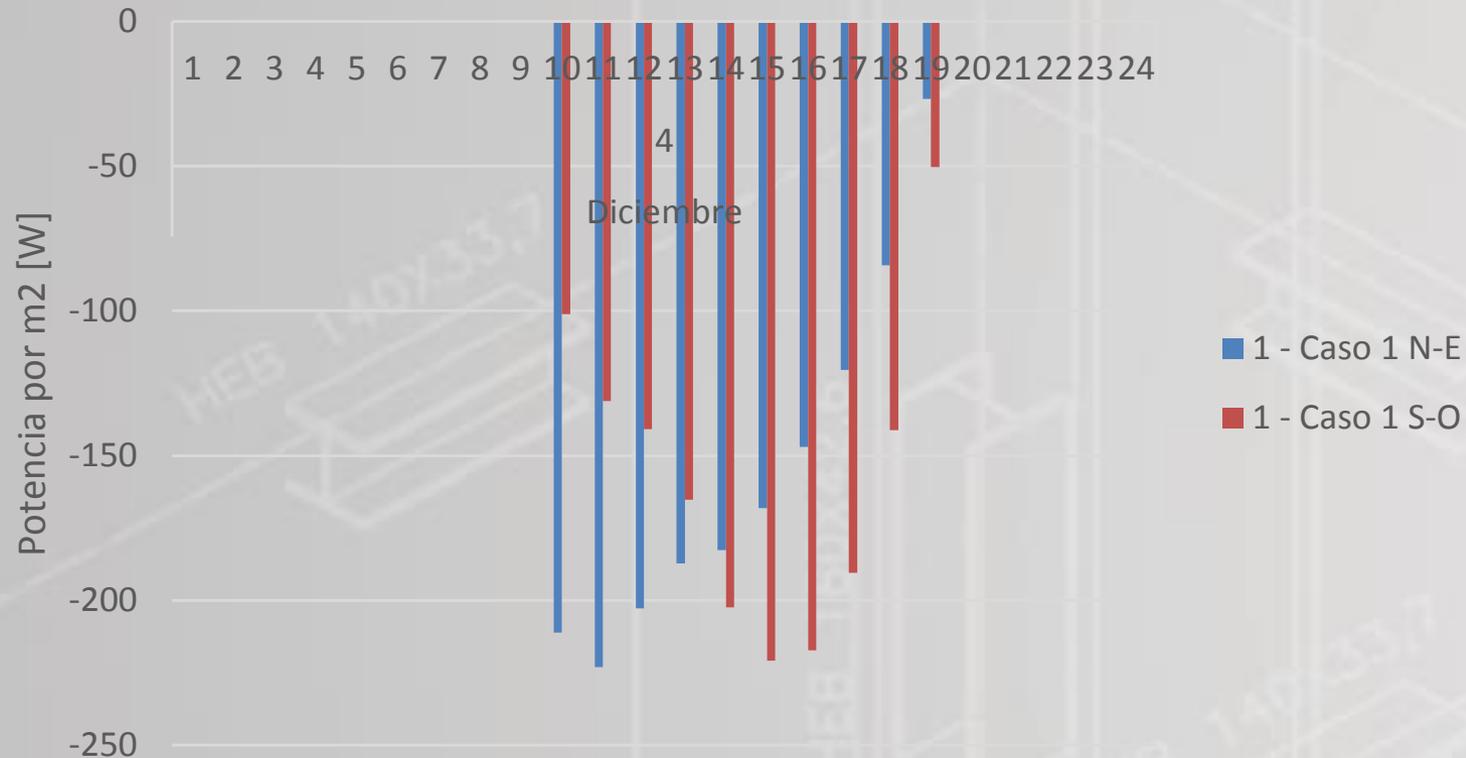
Modelamiento térmico dinámico

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



Modelamiento térmico dinámico

La planta libre se dividió en 2 triángulos abordando las caras Norte y Oriente en un caso y Sur y poniente en el otro.

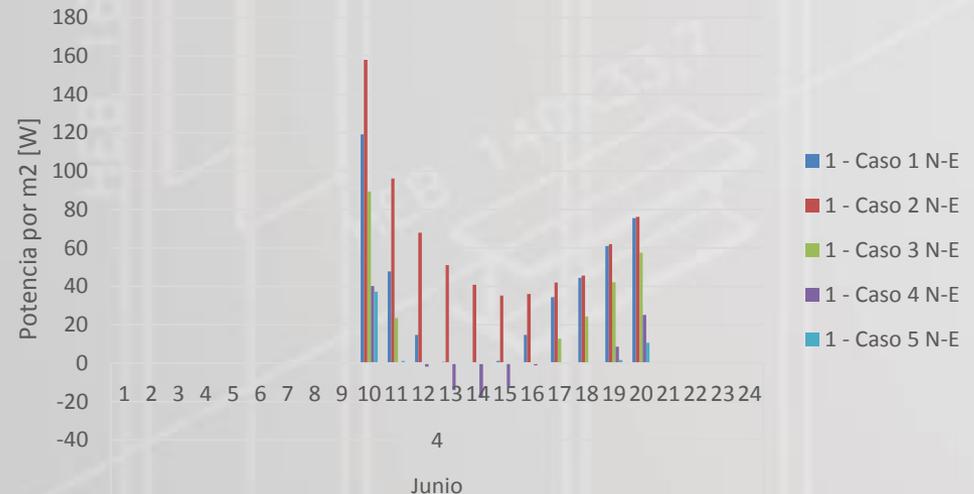
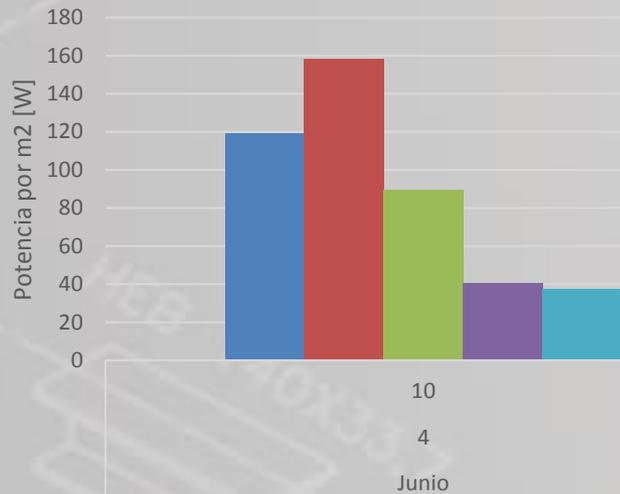


Efectivamente se ven diferencias en la potencia de clima por m2 requerida

Modelamiento térmico dinámico

Potencia necesaria de clima por m² hora a hora para satisfacer
 Temperatura = 24°C verano y 21°C invierno

	Nombre del Caso	Diciembre [Wh/m ² -día]	Junio [Wh/m ² -día]
Caso 1	Caso Base	-1416,0	573,1
Caso 2	FSg + FS	-602,4	799,2
Caso 3	Mejora Infiltraciones	-1471,7	403,3
Caso 4	Envolvente 1	-1186,8	165,4
Caso 5	Todo	-775,8	137,0



Modelamiento térmico estático/dinámico

Estático

	Diciembre	Junio
	[Wh/m2-día]	[Wh/m2-día]
Caso 1	-3542,6	690,8

Dinámico

	Diciembre	Junio
	[Wh/m2-día]	[Wh/m2-día]
Caso 1	-1416,0	573,1


$$\frac{690,8}{573,1} = 1,205 = 20\%$$

Bastante aceptable para ser estático y fácil de implementar

$$\frac{3542,6}{1416,0} = 2,5 = 150\%$$

Aquí se hace necesario metodologías más exactas, y un caso dinámico es necesario.



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

MODELAMIENTO TÉRMICO Y OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA: PROBLEMAS CON HUMEDADES

Matías Yachán
Ing. Civil UCh

Humedades – Tipos posibles.

- Humedades de Construcción.
- Humedad del Suelo.
- Humedades por Lluvias.
- Humedades Accidentales.
- Humedades por Condensación.



Humedades de Construcción.

$$T_s = K \cdot e^2$$

Donde,

T_s = Tiempo de secado (días).

e = Espesor (cm).

k = Constante.

Roger Cadiergues

- **Valores de K:**

Hormigón celular 1,2

Hormigón vibrado 1,6

Mortero cemento 2,5

Ladrillos 0,3

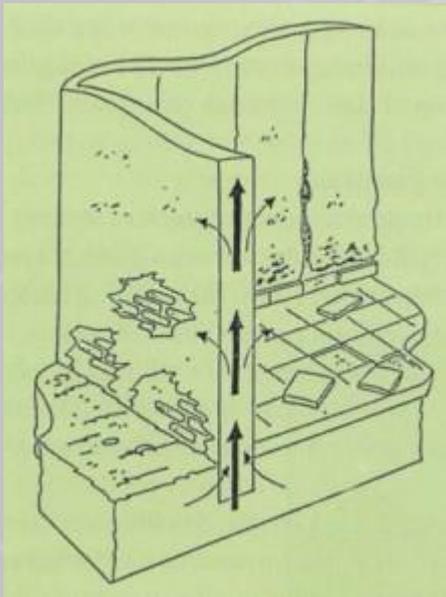
Yeso 1,2

Madera 0,9



Humedades del suelo (Capilaridad).

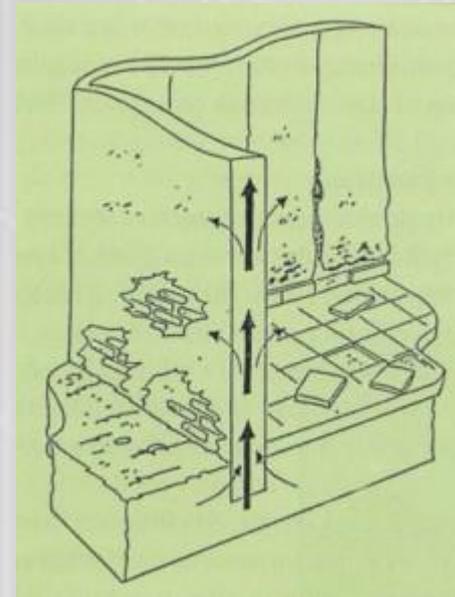
- Capilaridad debida al nivel freático.
- Se genera un flujo interior en las fundaciones y parte baja de los muros. Esta humedad se evapora en la superficie y eventualmente genera presión interna en los materiales de revestimientos.
- Eventuales eflorescencias.



Ejemplo ascenso capilar

EVIDENCIA #1

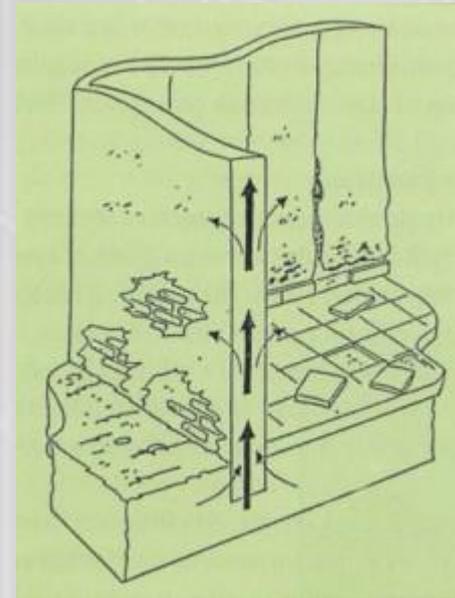
- Daño por ambas caras.
- Englobamiento del revestimiento.



Ejemplo ascenso capilar

EVIDENCIA #2

- Sustancia aparece por debajo del revestimiento, no por encima, como sería en el caso de hongos.



Ejemplo ascenso capilar

EVIDENCIA #3

- Marca continua de humedad alrededor de la casa.



Ejemplo ascenso capilar

Ensayo doméstico.

Solubilidad en agua del material residual.



Cristalización luego de la evaporación del agua.



Ejemplo ascenso capilar

Sustancia al microscopio.

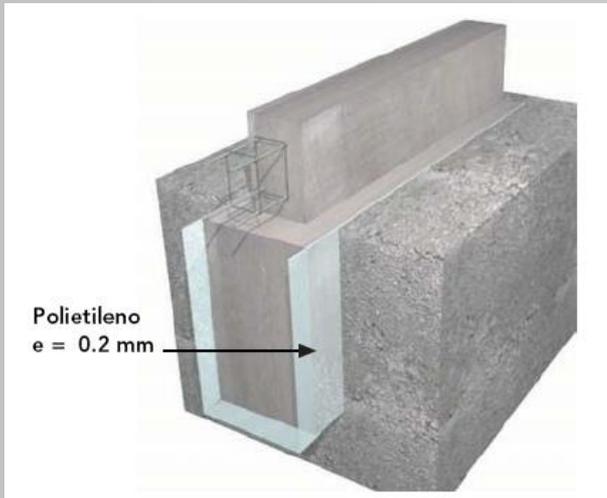


Sales



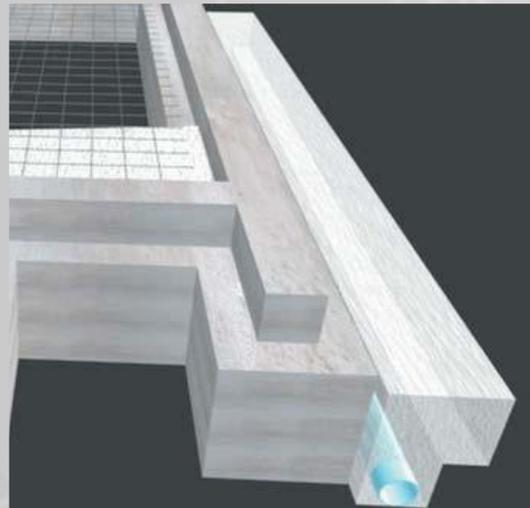
Hongos

Recomendaciones usuales.



Impermeabilización de las fundaciones.

Diseño de Drenaje (requiere de suelos mas bien granulares).



Inyecciones de sello.

Sikamur-inyecto Cream-100

Imágenes entregadas por Sika

Humedades por llluvias.

- Calidad de la impermeabilización.
- Calidad de los materiales.
- Calidad de la ejecución.
- Mal diseño:
 - Ej: Aleros cortos.

La evolución de las técnicas constructivas hace que hoy en día los muros estén expuestos a la lluvia, ello no ocurría 100 años atrás.



Humedades por llluvias.

- Calidad de la impermeabilización.
- Calidad de los materiales.
- Calidad de la ejecución.
- Diseño:
 - Ej: Aleros cortos.



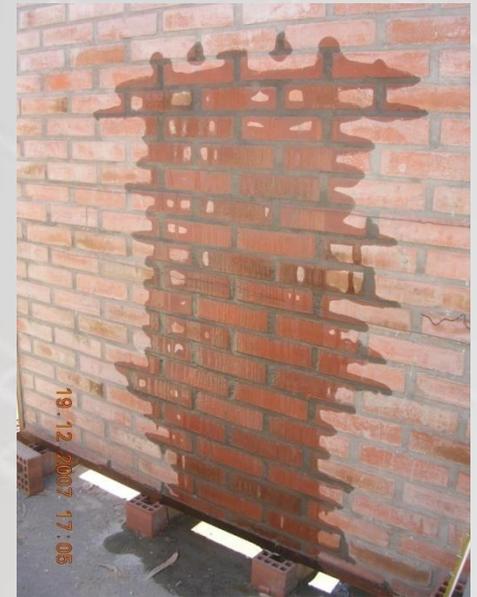
- Ejecución defectuosa de techumbre

La impermeabilización para efectos de lluvia debe hacerse con materiales porosos, que permitan la eliminación del vapor interior, de otra forma se generan problemas de condensación. Esto es fundamental para tabiquerías



Ensayo de lluvia en muros de albañilería.

- NCh 2814. Ensayo de Penetración de agua en muros de albañilería.
- Caudal de agua aplicado de 138 [L/m² hr].
- Presión de 5 cm.c.a. Pretende modelar un viento intenso de aprox. 100 km/hr.
- Ensayo sostenido durante 4 hr.
- Reensayo luego de 28 días.



Primeros Indicios.



Primer indicio de humedad en Muro 1



Cara opuesta a la cámara en Muro 4 luego de 11 min de ensayo.

Tamaño de poros si incide

Humedades Accidentales.

- Ejemplo: Rotura de cañerías.



Humedades por Condensación.

- Problema Higrotérmico.

Es tanto un problema de cantidad de agua presente como de la temperatura que exista.



Definiciones

- **Humedad Absoluta.**

Corresponde a la cantidad de agua presente en el aire. [gr/m³]

- **Humedad Relativa.**

Corresponde al porcentaje de agua presente en el aire, respecto de la cantidad máxima de agua que éste podría sostener a esa temperatura. [%]

$$H.R = \frac{H.A}{H.A^{Sat.}}$$

- **Presión de vapor.**

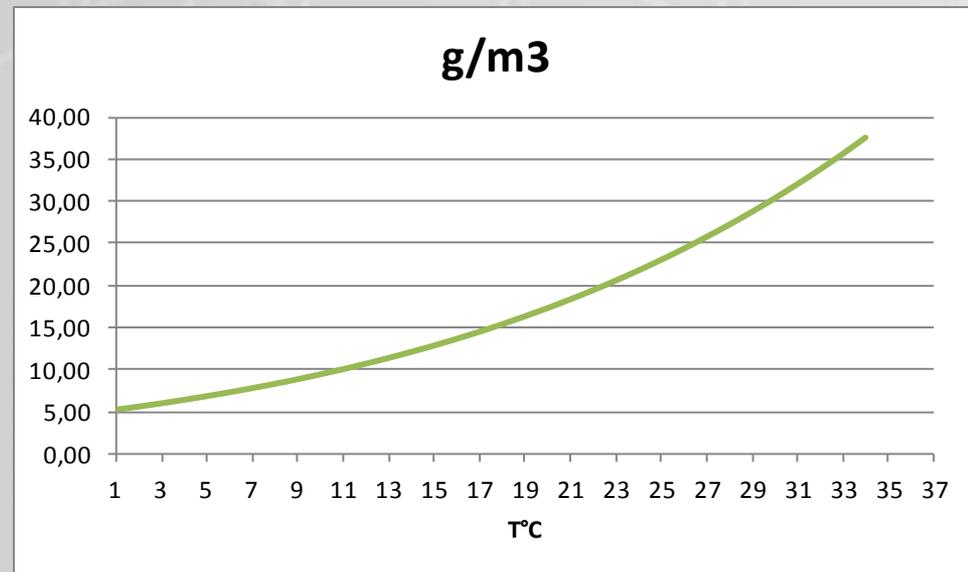
Presión parcial que ejerce el volumen de vapor presente en una masa de aire húmedo.

Humedad de saturación

- Humedad absoluta de saturación [g/m³]

T °C	g/kg	m ³ /kg	g/m ³
0	3,76	0,7781	4,83
1	4,04	0,7813	5,17
2	4,35	0,7846	5,54
3	4,67	0,7879	5,93
4	5,02	0,7912	6,34
5	5,39	0,7946	6,78
6	5,78	0,798	7,24
7	6,2	0,8015	7,74
8	6,64	0,8049	8,25
9	7,11	0,8084	8,80
10	7,62	0,812	9,38
11	8,15	0,8156	9,99
12	8,72	0,8192	10,64
13	9,32	0,8229	11,33
14	9,96	0,8267	12,05
15	10,63	0,8305	12,80
16	11,35	0,8343	13,60
17	12,11	0,8382	14,45

T °C	g/kg	m ³ /kg	g/m ³
18	12,92	0,8422	15,34
19	13,78	0,8462	16,28
20	14,68	0,8504	17,26
21	15,64	0,8545	18,30
22	16,65	0,8588	19,39
23	17,73	0,8632	20,54
24	18,86	0,8676	21,74
25	20,06	0,8721	23,00
26	21,33	0,8767	24,33
27	22,68	0,8815	25,73
28	24,09	0,8863	27,18
29	25,59	0,8912	28,71
30	27,18	0,8963	30,32
31	28,85	0,9014	32,01
32	30,62	0,9068	33,77
33	32,48	0,9122	35,61
34	34,46	0,9178	37,55



Humedad Absoluta vs Relativa

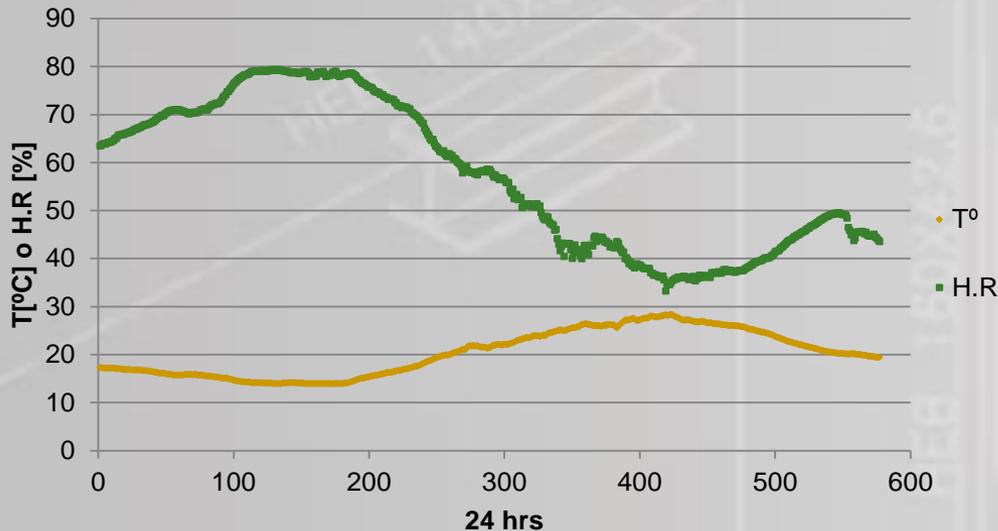
- Verificación en psicrométrico.

Peak diurno: 28°C y 36%

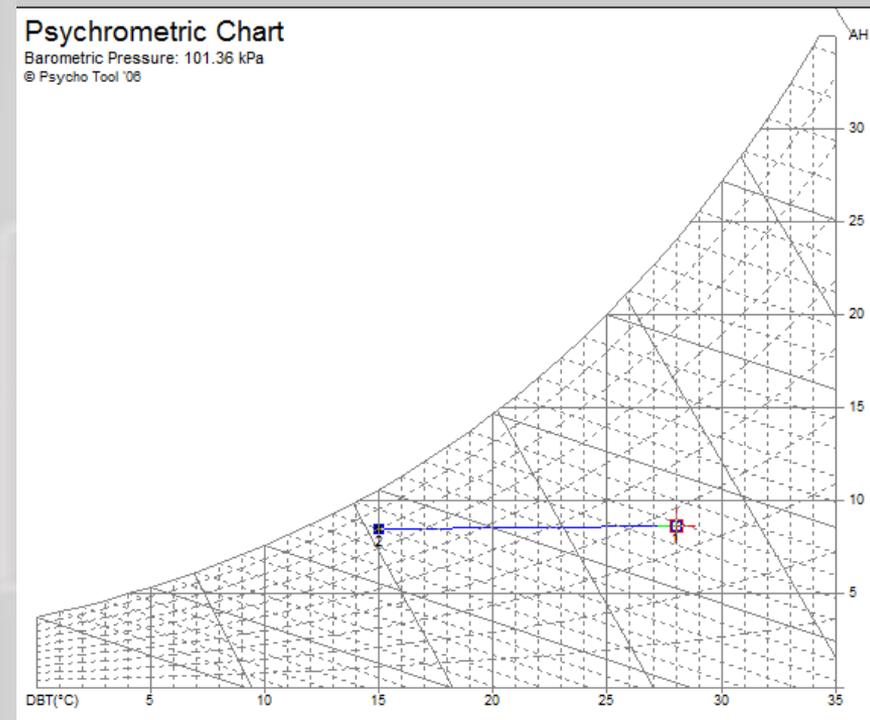
Peak Nocturno: 15°C y 80%

HA de 8,5 gr/kg o bien 10 gr/m³

T^a y H.R un día de Verano en Santiago.



La Humedad absoluta es relativamente constante mientras que la relativa varia conforme varia la T°.



Transferencia de calor, Régimen Permanente y Transiente.

- Cálculo de temperaturas interiores a un cerramiento cualquiera.

En General:

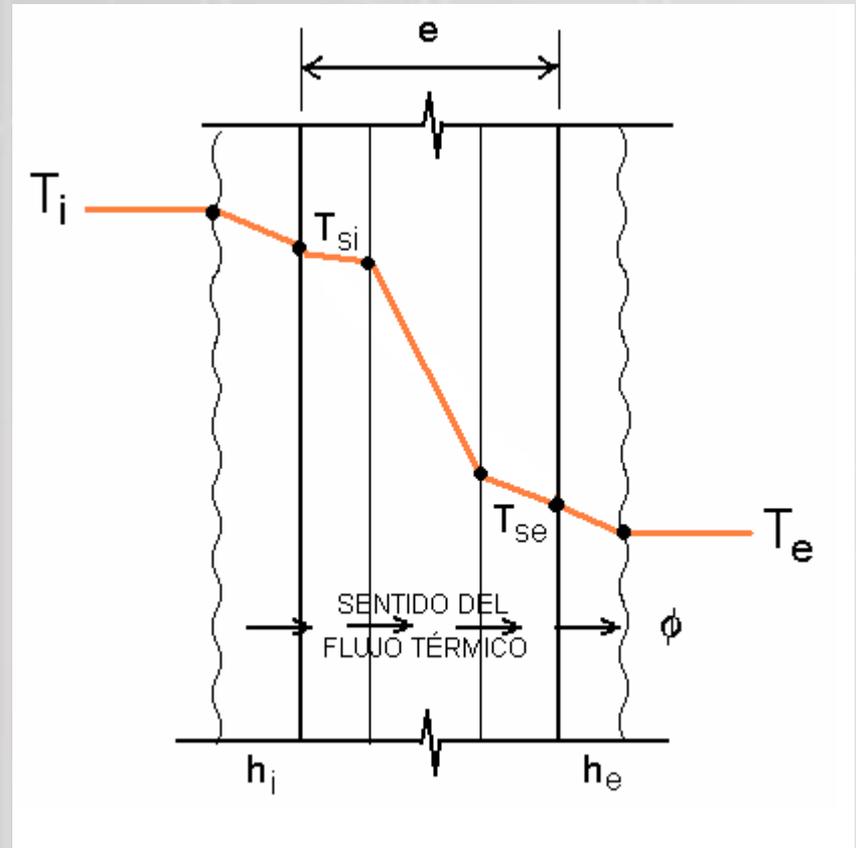
$$\phi_{Total} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

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

Donde:

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

$$\Delta T = T_i - T_e$$



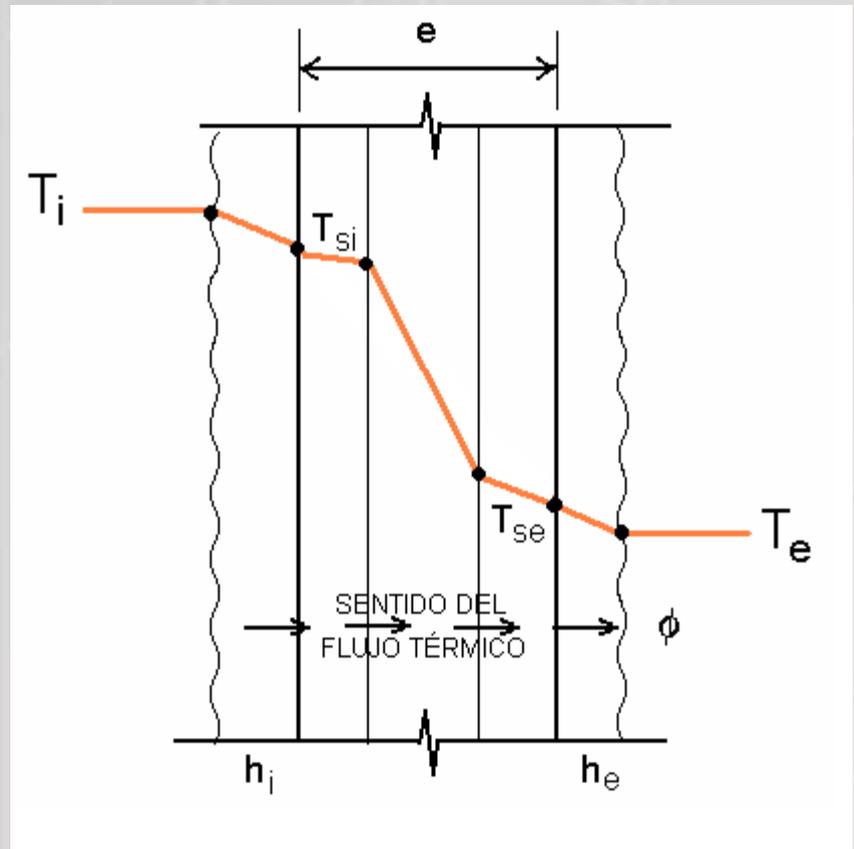
En Particular Para cualquier capa:

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

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.

Tipos de Humedades por Condensación.

- **Humedades Superficiales:**

Elementos pesados de baja resistencia térmica.

Ej: Muros de Hormigón.

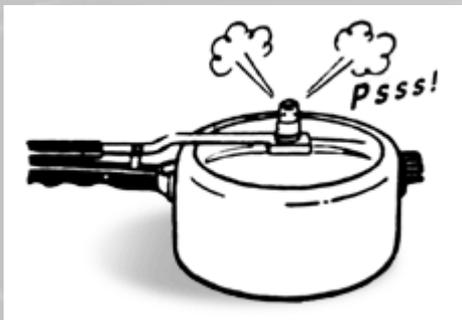
- **Humedades Intersticiales:**

Elementos livianos de alta resistencia y altas permeabilidades.

Ej: Tabiquería.

Para ambos casos es determinante la alta humedad relativa interior.

Fuentes generadoras de agua.



Cocina gas fuego lento	100 [gr/h]
Cocina gas fuego alto	400 [gr/h]
Olla ebullición tapada	350 [gr/h]
Olla ebullición destapada	900 [gr/h]
Ducha	2000 [gr/h]
Baño de tina	300 [gr/h]
1 Kg ropa	40 [gr/h]
Plato comida caliente	60 [gr/h]
Transpiración humana mínima	100 [gr/h]
Transpiración humana máxima	400 [gr/h]
Respiración en reposo	40 [gr/h]
1 Kg Gas Natural	2,25 [l]
1 Kg de Gas Licuado	1,7 [l]
1 Kg de petroleo	1,25 [l]
1 Kg de parafina	1,37 [l]

Fuentes generadoras de agua.



Peso molecular: $2 * (12 * 12 + 1 * 26) + 37 * (16 * 2) = 24 * (12 + 16 * 2) + 26 * (1 * 2 + 16)$

$$(340g) + (1184g) = (1056g) + (468g)$$

$$(1000g) + (3482g) = (3106g) + (1376g)$$

$$(4482g) = (4482g)$$

Volumen Aire: 80% Nitrógeno – 20% Oxígeno

Peso Aire: 11% Oxígeno $32 / (8 * 28 + 2 * 32)$

1m³ aire pesa 1.2kg = 1m³ aire tiene aprox. 132g Oxígeno

Digamos consumo Toyotomi 0.2 l/h = 170g/h parafina (densidad de 0,84 kg/L)

592 g/h Oxígeno = 4.5 m³/h de aire

Toyotomi:



0.08 l/h (mín)
0.26 l/h (máx)

Problemas originados por la condensación.

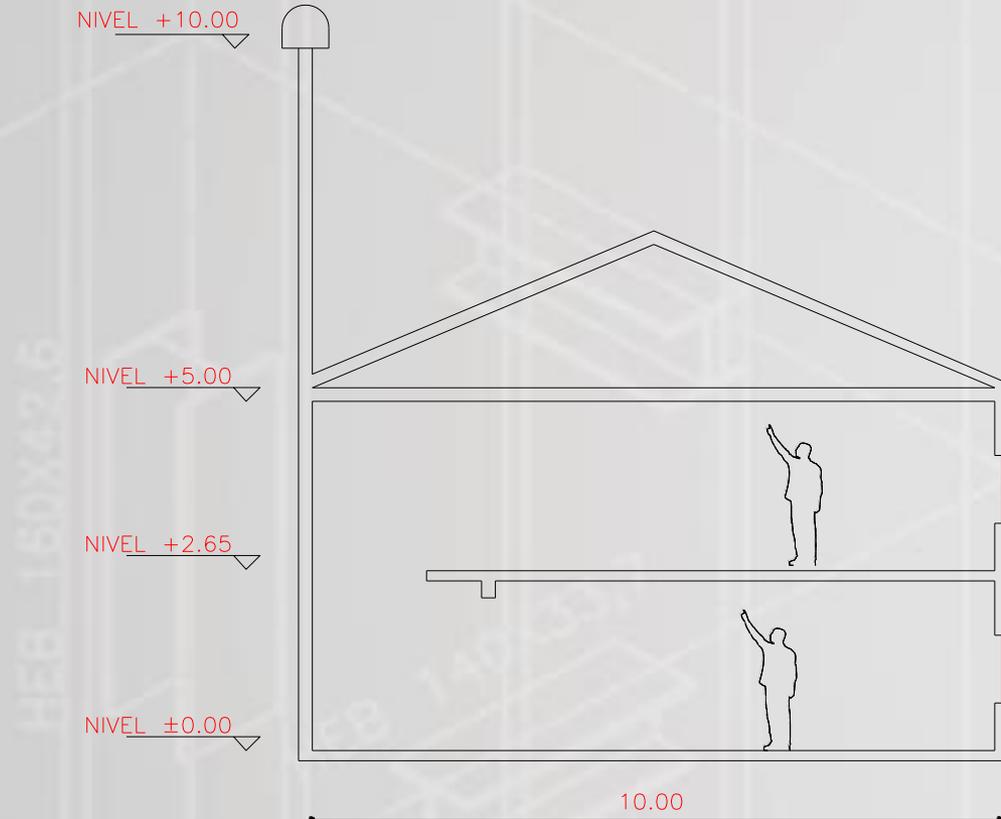
- Sopladura y deformación de revestimientos.
- Baja en la resistencia térmica.
- Generación de hongos y malos olores.
- Enfermedades bronquiales.



Ejemplo: Condensación Superficial.

Se considera un muro de Hormigón de 15 cm de espesor

Temperatura interior	Ti	18[°C]
Temperatura exterior	Te	3[°C]
Humedad relativa exterior	H.R ext	90%[%]
Edificio		
Altura	H	2,5[m]
Ancho	B	5[m]
Largo	L	10[m]
Pisos	pisos	2[]
Área recinto	A	100[m ²]
Volumen recinto	V	250[m ³]



Cálculo.

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

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

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

$$\lambda_{hormigon} = 1.63 \frac{W}{m \cdot K}$$

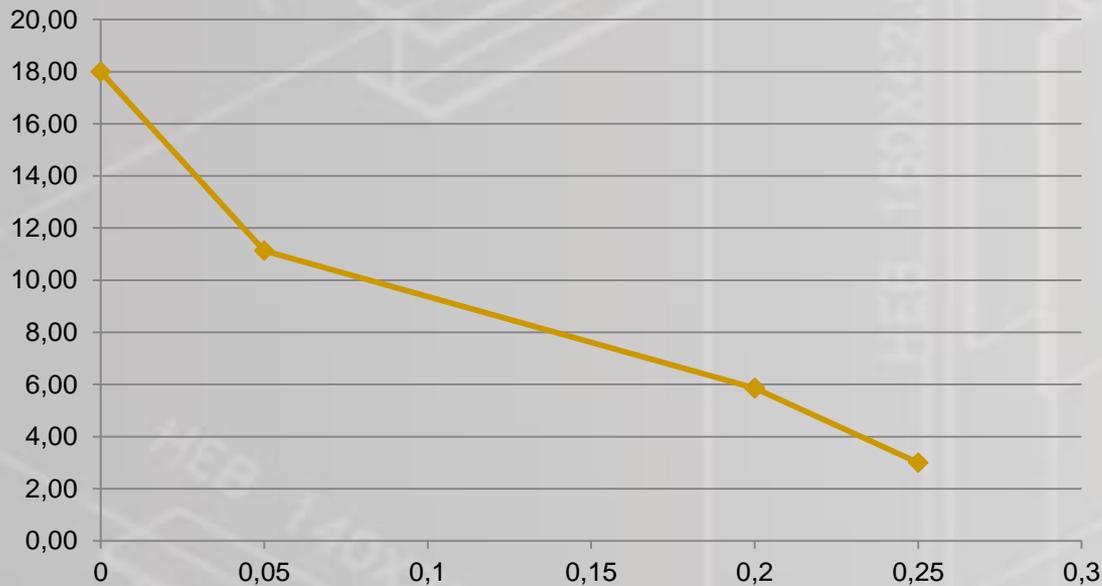
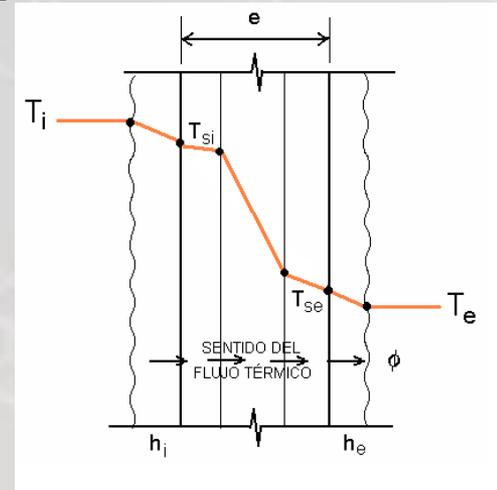
$$R_{si} + R_{se} = 0.12 + 0.05$$

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

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

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

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



HAY CONDENSACIÓN ?

Cálculo.

Humedad relativa interior	H.R int	35%[%]
Humedad relativa exterior	H.R ext	90%[%]
Humedad absoluta exterior(interior inicial)	H.A ext	5,33[g/m3]
Humedad absoluta interior de sat.	H.A int	15,34[g/m3]

Temperatura Condensación	Tsi	11,1[°C]
Humedad Absoluta máxima int	H.A max	10,1[g/m3]
Humedad relativa máxima int	H.R max	66%[%]

1) Cantidad Personas	un	10[]
Transpiración humana mínima	H int 1	400[g/h]

$$\text{Horas} = \text{Vol} * (\text{H.Asat} - \text{H.Aini}) / \text{Aporte} _ \text{Humedad}$$

Horas para saturar aire	Horas	1,2[h]
-------------------------	-------	--------

Humedades de saturación gr/m3

T°C	g/m3
0	4,83
1	5,17
2	5,54
3	5,93
4	6,34
5	6,78
6	7,24
7	7,74
8	8,25
9	8,80
10	9,38
11	9,99
12	10,64
13	11,33
14	12,05
15	12,80
16	13,60
17	14,45

T°C	g/m3
18	15,34
19	16,28
20	17,26
21	18,30
22	19,39
23	20,54
24	21,74
25	23,00
26	24,33
27	25,73
28	27,18
29	28,71
30	30,32
31	32,01
32	33,77
33	35,61
34	37,55

Cálculo.

Humedad relativa máxima int	H.R max	66%[%]
-----------------------------	---------	--------

Analisis Horario

Caudal de infiltraciones	Q	0 [RAH]
Caudal Mecánico	Q	0 [RAH]
Caudal de ventilación	Q	0 [RAH]
Caudal de ventilación	Q	0 [m3/h]
Caudal de ventilación	Q	0,00 [m3/s]
Aporte Humedad interior	Hm	0,278 [g/s]

Tiempo	H.A int	H.R int	
T0	5,3	35%	
T1	9,3	61%	
T2	13,3	87%	Condensación superficial
T3	17,3	113%	Condensación superficial
T4	21,3	139%	Condensación superficial
T5	25,3	165%	Condensación superficial
T6	29,3	191%	Condensación superficial
T7	33,3	217%	Condensación superficial
T8	37,3	243%	Condensación superficial
T9	41,3	269%	Condensación superficial
T10	45,3	296%	Condensación superficial

Analisis Horario

Caudal de infiltraciones	Q	0,3 [RAH]
Caudal Mecánico	Q	0 [RAH]
Caudal de ventilación	Q	0,3 [RAH]
Caudal de ventilación	Q	75 [m3/h]
Caudal de ventilación	Q	0,02 [m3/s]
Aporte Humedad interior	Hm	0,278 [g/s]

Tiempo	H.A int	H.R int	
0	5,3	35%	
1	8,8	57%	
2	11,4	74%	Condensación superficial
3	13,3	86%	Condensación superficial
4	14,7	96%	Condensación superficial
5	15,7	102%	Condensación superficial
6	16,5	107%	Condensación superficial
7	17,0	111%	Condensación superficial
8	17,5	114%	Condensación superficial
9	17,8	116%	Condensación superficial
10	18,0	117%	Condensación superficial

Horas para saturar aire	Horas	1,5[h]
-------------------------	-------	--------

Cálculo.

Cuanta energía hay asociado a evitar condensación superficial?

Análisis Horario		
Caudal de infiltraciones	Q	0,3 [RAH]
Caudal Mecánico	Q	0,7 [RAH]
Caudal de ventilación	Q	1 [RAH]
Caudal de ventilación	Q	250 [m3/h]
Caudal de ventilación	Q	0,07 [m3/s]
Aporte Humedad interior	Hm	0,278 [g/s]

Tiempo	H.A int	H.R int
0	5,3	35%
1	7,9	51%
2	8,8	57%
3	9,1	60%
4	9,3	60%
5	9,3	61%
6	9,3	61%
7	9,3	61%
8	9,3	61%
9	9,3	61%
10	9,3	61%

$$\Delta E = m * C_p * \Delta T$$

Ventilador Mecánico	Vm	175,00	[m3/h]
Calor específico	Cp	1015,00	[J/kgK]
Densidad	ρ	1,20	[kg/m ³]
Energía perdida	ΔE	888,13	[W]

¿¿Y si pongo aislación??

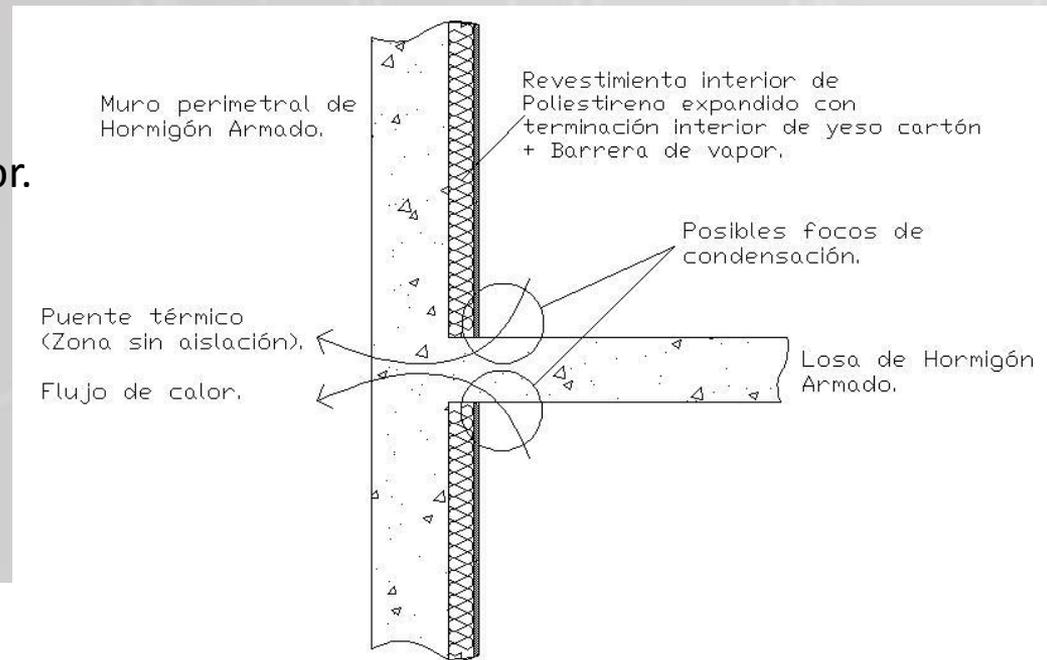
Por donde Aislar.

Por el interior:

Se hace necesario una barrera de vapor.

Se generan puentes térmicos.

Se reduce el espacio interior.



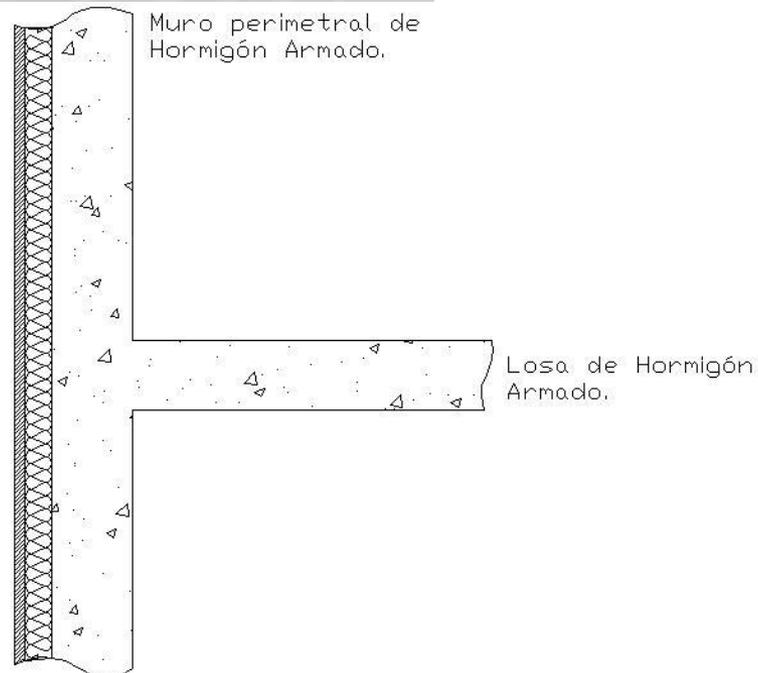
Por el exterior:

No hay puentes.

No se reduce el espacio.

Se instala con la vivienda en uso.

No se necesita BV.



Sistema terminado de aislación exterior (SATE o EIFS).

Caso Intersticial:

Para hablar de humedad intersticial hay que considerar la presencia de vapor de agua al interior de la envolvente. El parámetro que nos dice cuanta agua está penetrando en cada elemento, es la presión de vapor.

El vapor de agua es capaz de penetrar por los poros del muro pudiendo alcanzar las zonas frías de este, y condensando al interior. Este problema aunque afecta a todos los materiales incluso al hormigón en una pequeña medida, se presenta fuertemente en los tabiques, elementos de alta resistencia térmica.

El cálculo del flujo de vapor que atraviesa de un elemento es análogo al flujo de calor antes analizado. Así como el flujo térmico depende de una diferencia de temperatura y una resistencia térmica, un flujo de vapor depende análogamente, esta vez de una diferencia de presiones de vapor y una resistencia a la difusión de vapor.

Analogía:

$$\phi_{Calor} = \frac{T_i - T_e}{R_T} \quad \phi_{Vapor} = \frac{P^v_i - P^v_e}{R_V}$$

$$R_V = e \cdot r_v$$

Donde

R_V : Resistencia a la difusión de vapor.

r_v : Resistividad a la difusión de vapor.

Y corresponde al inverso de la permeabilidad.

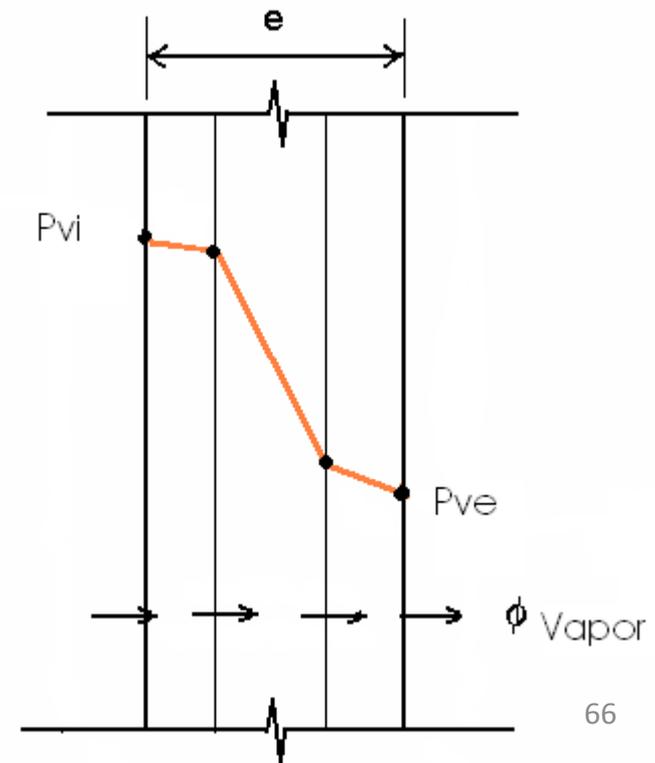
$$r_v = 1/P$$

$$permeabilidad = \frac{g \cdot cm}{m^2 \cdot día \cdot mmHg}$$

La permeancia es la permeabilidad para un material de espesor conocido.

El cálculo entonces del perfil interior de presiones de vapor, se realiza de idéntica forma que la determinación del perfil de temperaturas interior.

Proporcional a la resistencia al vapor porcentual.



Material	Resistividad al vapor r_v (1)	
	MN s/g m	mmHg m ² día/g cm
Aire en reposo (cámaras)	5,5	0,004
Aire en movimiento (cámaras ventiladas)	0	0
Fábrica de ladrillo macizo	55	0,048
Fábrica de ladrillo perforado	36	0,031
Fábrica de ladrillo hueco	30	0,026
Fábrica de piedra natural	150-450	0,13-0,39
Enfoscados y revocos	100	0,087
Enlucidos de yeso	60	0,052
Placas de amianto-cemento	1,6-3,5	0,001-0,003
Hormigón con áridos normales o ligeros	30-100	0,026-0,086
Hormigón aireado con espumantes	20	0,017
Hormigón celular curado al vapor	77	0,06
Madera	45-75	0,039-0,065
Tablero aglomerado de partículas	15-60	0,013-0,052
Contrachapado de madera	1.500-6.000	1,30-5,20
Hormigón con fibra de madera	15-40	0,013-0,035
Cartón-yeso, en placas	45-60	0,039-0,052
AISLANTES TÉRMICOS		
Aglomerado de corcho UNE 56.904	92	0,08
Espuma elastomérica	48.000	41,6
Lana de vidrio (2)	9	0,007
Lana mineral: Tipos I y II	9,6	0,008
Tipos III, IV y V	10,5	0,009
Perlita expandida	0	0
Poliestireno expandido UNE 53.310:		
Tipo I	138	0,12
Tipo II	161	0,14
Tipo III	173	0,15
Tipo IV	207	0,18
Tipo V	253	0,22
Poliestireno extrusionado	523-1.047	0,45-0,90
Polietileno reticulado	9.600	8,33
Poliisocianurato, espuma de	77	0,06
Poliuretano aplicado in situ, espuma de:		
Tipo I	96	0,083
Tipo II	127	0,111
Tipo III	161	0,142
Tipo IV	184	0,166
Poliuretano aplicado in situ, espuma de:		
Tipo I	76	0,066
Tipo II	82	0,071
Urea formaldehído, espuma de	20-30	0,017-0,026

Tabla 4.3. Resistencia al vapor de agua

Materiales en forma de lámina (1)	Resistencia al vapor (2)	
	MN s/g	mmHg m ² día/g
Hoja de aluminio de 8 micras	4.000	347
Lámina de polietileno de 0,05 mm	103	9
Lámina de polietileno de 0,10 mm	230	20
Lámina de poliéster de 25 micras	24	2,08
Papel Kraft con oxiasfalto	9,7	0,84
Papel Kraft	0,43	0,037
Pintura al esmalte	7,5-40	0,65-3,48
Papel vinílico de revestimiento	5-10	0,43-0,86

- (1) Pueden considerarse como barreras de vapor aquellos materiales laminares cuya resistencia al vapor está comprendida entre 10 y 230 MN s/g (0,86 y 20 mmHg m² día/g).
- (2) Es el inverso de la permeancia al vapor.

Ej: Condensación Intersticial.

El problema consistirá en evaluar el comportamiento de un muro de tabique formado como sigue.

50mm de lana de vidrio.

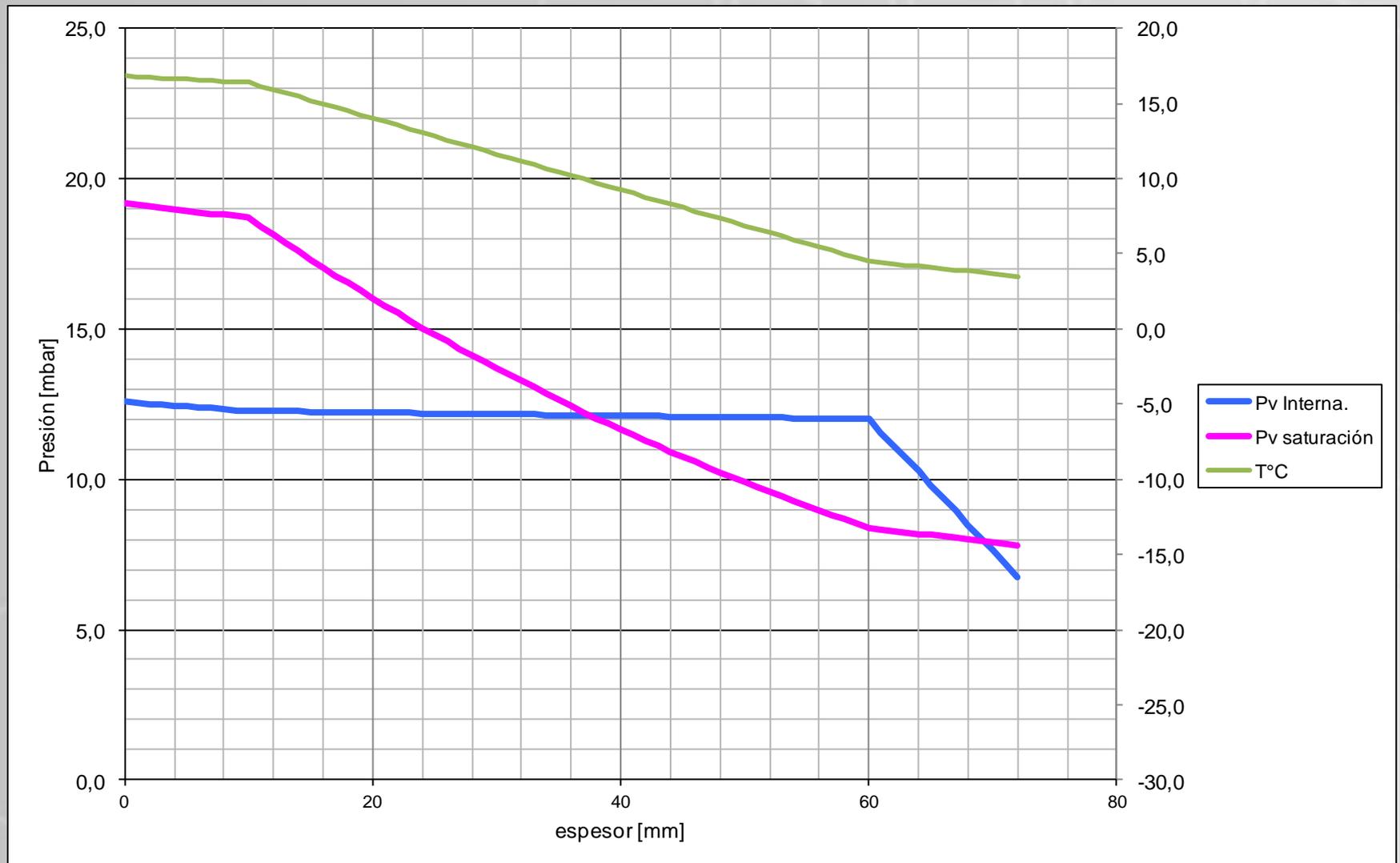
Plancha de yeso cartón de 10mm por el interior.

OSB de 12 mm por el exterior.

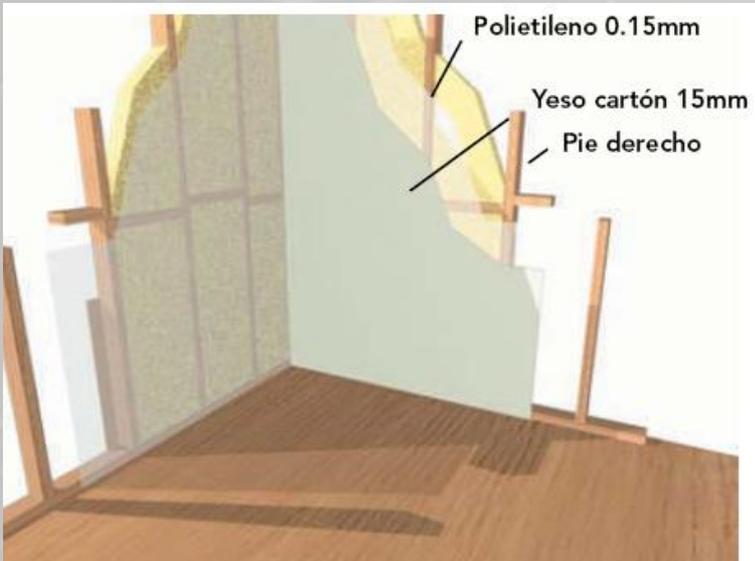
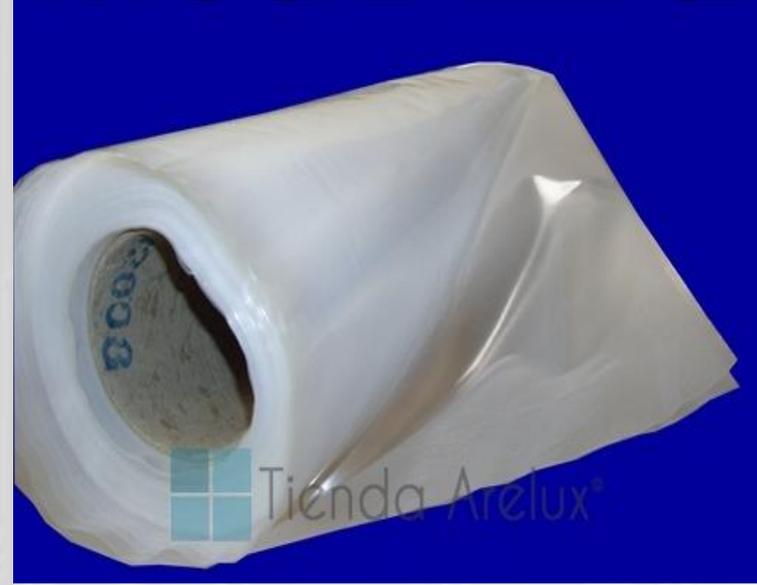
Temperatura interior	Ti	18[°C]
Temperatura exterior	Te	3[°C]
Humedad relativa exterior	H.R ext	90%[%]
Humedad relativa interior	H.R int	61%[%]

- El problema se reduce a comparar las presión de vapor de saturación con la presión de vapor real dentro del muro.
- El buen comportamiento de las Barreras de Vapor.
¿Dónde Colocarlas?

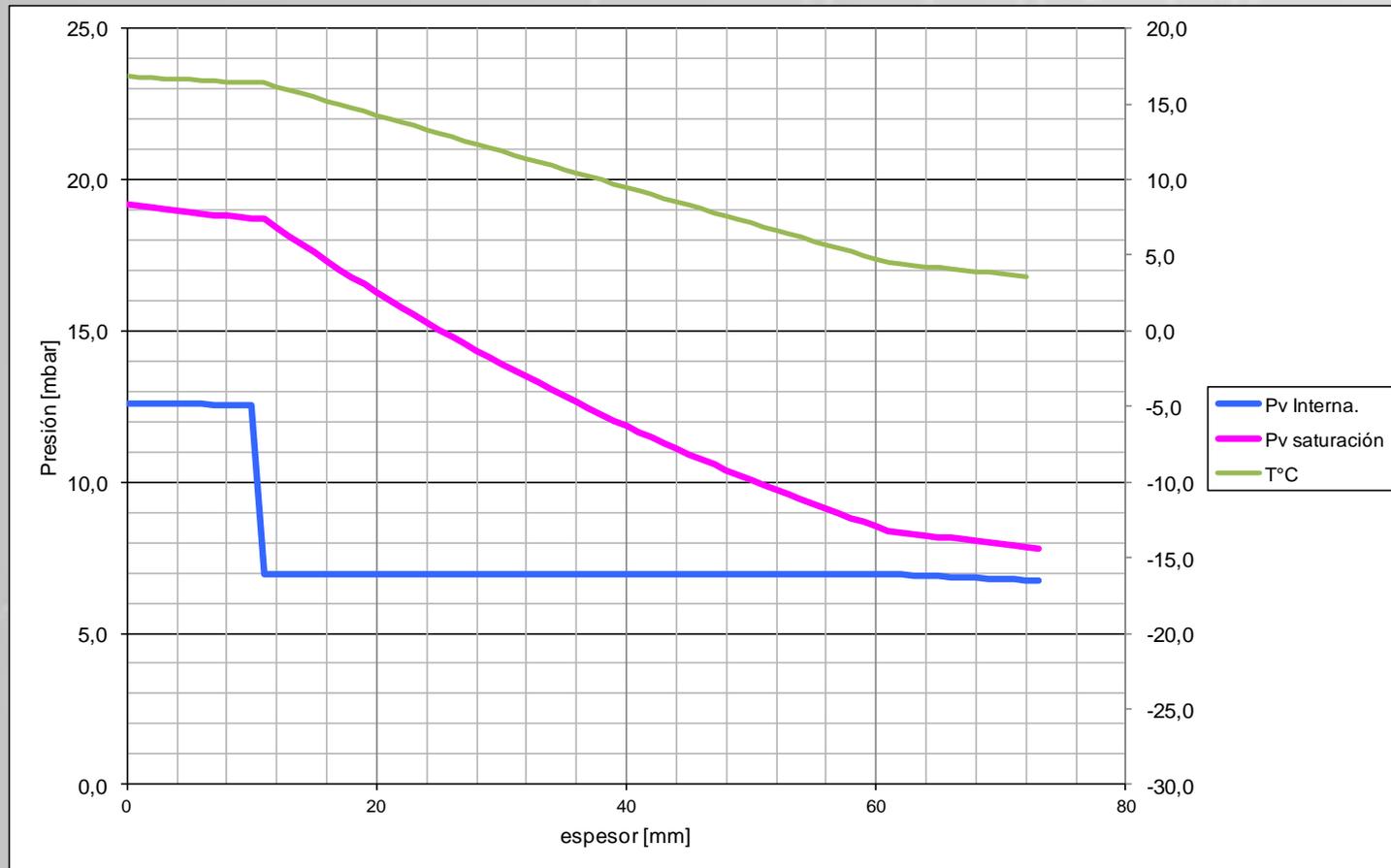
Resultado.



Barrera de Vapor.

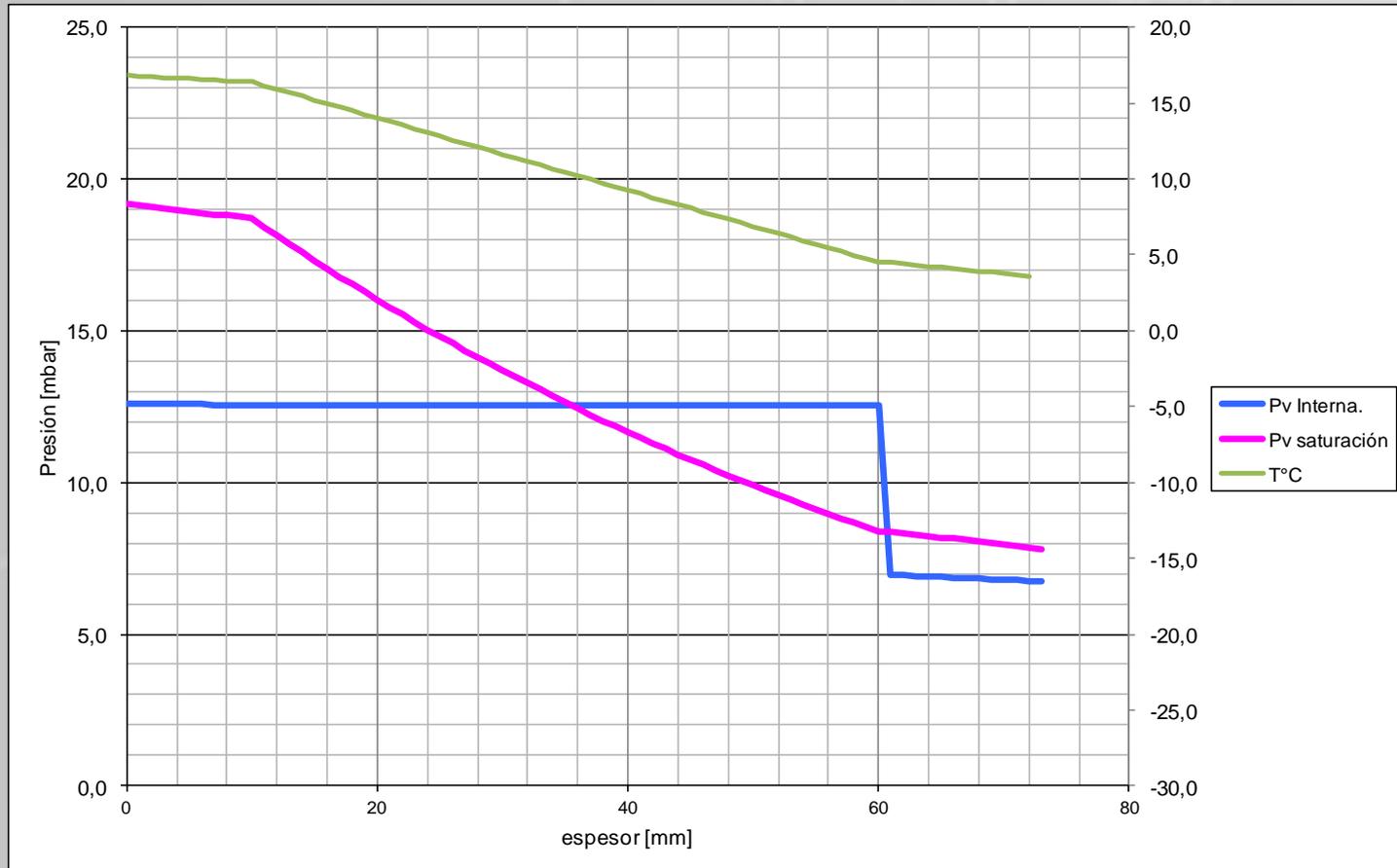


Barrera de Vapor



Barrera de Humedad

¿Y si pongo la barrera por fuera??





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