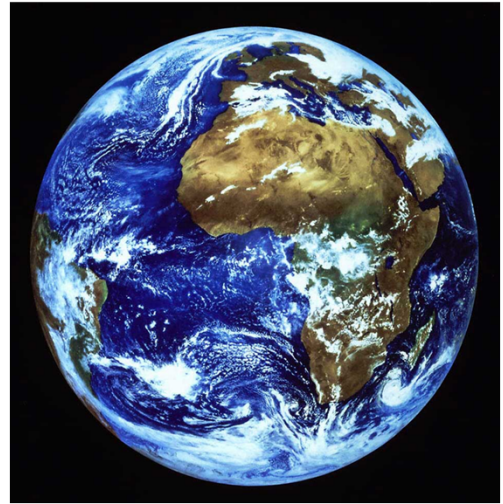


## MATERIALIDAD 2

Taller Arq. Daniel Perone



arqchiarito@gmail.com

El **clima** global está definido por la incidencia de radiación solar sobre la tierra, los mares y la atmósfera en movimiento.

El desagregado de las variables más importantes en la determinación de los distintos climas globales son:

- La **incidencia angular variable del sol-tierra**, por el efecto de movimiento de rotación y traslación. Para analizar el clima en relación al edificio es necesario considerar las variables en régimen temporal dinámico. El efecto de los movimientos de traslación y rotación determina condiciones variables de incidencia solar en cada latitud, de invierno a verano, de mes en mes, de hora en hora.
- El efecto de **inercia térmica diferencial** derivado de la capacidad de acumulación térmica de las masas de agua y tierra.

Si la radiación incidente sobre superficies de muy distinto calor específico(\*) tierra [0,8 J/gr K] o agua [4 J/gr K], la capacidad de acumulación térmica varía de 1:5 y el efecto inercial día/noche determina climas marítimos o continentales, de baja o alta amplitud térmica diaria.

- Los **vientos dominantes** a escala global.

El calentamiento diferencial de las superficies terrestres según latitud y la fuerza centrífuga de la rotación planetaria dan origen a circuitos cerrados globales de aire ascendentes y descendentes desde el ecuador a los polos. El análisis de los vientos locales en frecuencia y potencialidad determina su posible aprovechamiento.

- La **altitud** del sitio en relación al nivel del mar.

La temperatura media disminuye a medida que se asciende desde el nivel del mar. Se registran diferencias térmicas de 60 K de 0 a 10.000m de altitud.

Para el caso de climas locales o microclimas se corresponden a condiciones de menor escala, tales como los que surgen en casos de grandes concentraciones urbanas caracterizadas por la denominación: islas de calor, o climas costeros de riberas marinas o grandes lagos (fenómeno de brisas marinas), climas de montaña donde la orografía determina condiciones distintas a barlovento/sotavento, etc. (ver IRAM 11.603 / pp 28-30).

(\*) calor específico: magnitud física que define la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad. [J/gr K].

## UNIDAD DIDÁCTICA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO HIGROTÉRMICO

### DEFINICIÓN de CLIMA

EFFECTO A LARGO PLAZO DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LA ATMÓSFERA, LOS CONTINENTES Y LOS MARES DE LA TIERRA EN ROTACIÓN

#### VARIABLES EN LA DETERMINACIÓN DE LOS CLIMAS GLOBALES

- Incidencia del sol.
- Relación masa tierra-agua. Continentalidad.
- Vientos dominantes
- Altura sobre el mar.
- ...

#### VARIABLES EN LA MANIFESTACIÓN DEL CLIMA

- Temperatura bulbo seco
- Humedad.



El **clima** global está definido por la incidencia de radiación solar sobre la tierra, los mares y la atmósfera en movimiento.

El desagregado de las variables más importantes en la determinación de los distintos climas globales son:

- La **incidencia angular variable del sol-tierra**, por el efecto de movimiento de rotación y traslación. Para analizar el clima en relación al edificio es necesario considerar las variables en régimen temporal dinámico. El efecto de los movimientos de traslación y rotación determina condiciones variables de incidencia solar en cada latitud, de invierno a verano, de mes en mes, de hora en hora.
- El efecto de **inercia térmica diferencial** derivado de la capacidad de acumulación térmica de las masas de agua y tierra.

Si la radiación incidente sobre superficies de muy distinto calor específico(\*) tierra [0,8 J/gr K] o agua [4 J/gr K], la capacidad de acumulación térmica varía de 1:5 y el efecto inercial día/noche determina climas marítimos o continentales, de baja o alta amplitud térmica diaria.

- Los **vientos dominantes** a escala global.

El calentamiento diferencial de las superficies terrestres según latitud y la fuerza centrífuga de la rotación planetaria dan origen a circuitos cerrados globales de aire ascendentes y descendentes desde el ecuador a los polos. El análisis de los vientos locales en frecuencia y potencialidad determina su posible aprovechamiento.

- La **altitud** del sitio en relación al nivel del mar.

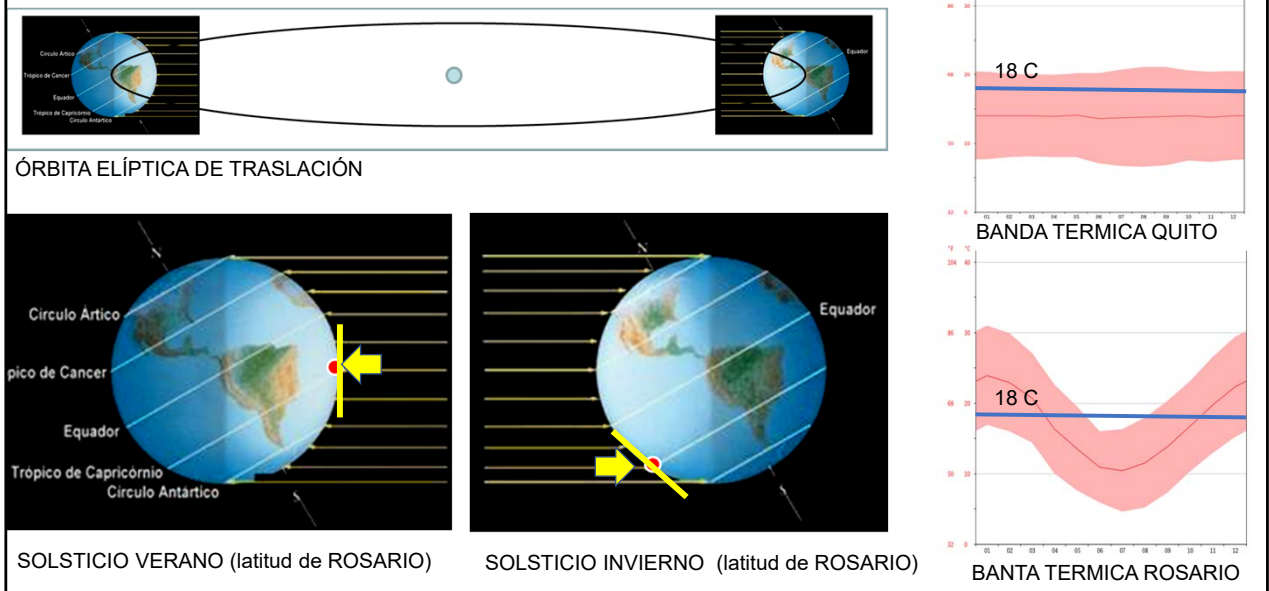
La temperatura media disminuye a medida que se asciende desde el nivel del mar. Se registran diferencias térmicas de 60 K de 0 a 10.000m de altitud.

Para el caso de climas locales o microclimas se corresponden a condiciones de menor escala, tales como los que surgen en casos de grandes concentraciones urbanas caracterizadas por la denominación: islas de calor, o climas costeros de riberas marinas o grandes lagos (fenómeno de brisas marinas), climas de montaña donde la orografía determina condiciones distintas a barlovento/sotavento, etc. (ver IRAM 11.603 / pp 28-30).

(\*) calor específico: magnitud física que define la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad. [J/gr K].

## UNIDAD DIDÁCTICA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO HIGROTÉRMICO

### DEFINICIÓN de CLIMA/ VARIABLE INCIDENCIA SOLAR



La relación angular sol-superficie es fundamental en la determinación de los diversos **clima** a nivel global. La inclinación del eje rotatorio con la elíptica de traslación es la causa de la manifestación de esas diferencias.

Nótese como ejemplo en los puntos rojos de la imagen correspondiente a una latitud media (Rosario) la diferencia angular en verano e invierno entre la incidencia solar y el plano de superficie (diferencia angular entre el plano de suelo y el sol). Esta diferencia es responsable fundamental del efecto de estacionalidad.

En las imágenes a derecha se indican las evoluciones de los registros de temperaturas a lo largo de un año para latitudes próximas al ecuador (ciudad de Quito) y a Rosario ( $-33^\circ$ ). Claramente se distingue el efecto derivado del ángulo de incidencia de la radiación solar, con diferencias térmicas imperceptibles en el ecuador a lo largo del año y cómo se maximiza a medida que nos alejamos de la línea ecuatorial.

La traducción de la palabra Klima (en griego) significa sol inclinado, lo que muestra la fuerte dependencia de esta variable en su determinación y el conocimiento histórico del fenómeno y sus causas.

Ver clases de clima de M1 (en moodle en Clases de Materialidad 1/repaso):

[https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod\\_folder/content/0/06-clima-i-confort-higrot%C3%A9rmico.pdf?forcedownload=1](https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod_folder/content/0/06-clima-i-confort-higrot%C3%A9rmico.pdf?forcedownload=1)

[https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod\\_folder/content/0/07-clima-ii-sol.pdf?forcedownload=1](https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod_folder/content/0/07-clima-ii-sol.pdf?forcedownload=1)

[https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod\\_folder/content/0/08-clima-iii-humedad.pdf?forcedownload=1](https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod_folder/content/0/08-clima-iii-humedad.pdf?forcedownload=1)

[https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod\\_folder/content/0/09-clima-iv-viento.pdf?forcedownload=1](https://moodle.fapyd.unr.edu.ar/pluginfile.php/13637/mod_folder/content/0/09-clima-iv-viento.pdf?forcedownload=1)

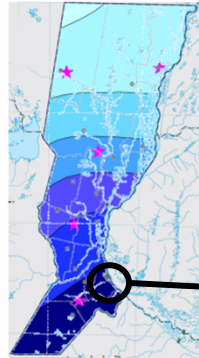
## UNIDAD DIDÁCTICA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO HIGROTÉRMICO

### IRAM 11.603 - ROSARIO - INVIERNO

ESTACIÓN	P	LAT	LONG	ASNM	TMED	TMÁX	TMÍN	TMA	TDMN	PREC	HR	HELRE	VM	GD16	GD18	GD20	GD22
ROSARIO (AERO)	SF	-32,92	-60,78	25	12,20	17,9	6,5	-7,8	-4,0	147	80	5,4	13,0	651	970	1365	1840

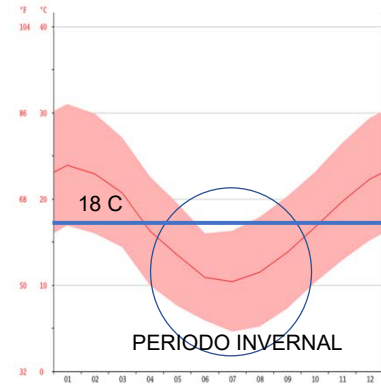
ROSARIO – INVIERNO - IRAM 11603

Insolación media Junio  
(kWh/m<sup>2</sup>/día)



RADIACIÓN MEDIA DIARIA JUNIO  
Rosario.....2,2 Kwh/m2/dia

Insolación media diaria, medida en kWh/m<sup>2</sup>/día, para el mes de Junio.



TEMP. MEDIAS (MES A MES)

#### Análisis de Rosario invierno.

Se presentan los datos de IRAM 11,603 para invierno en Rosario y se acompañan con breves comentarios analíticos, ya que al menos en el proyecto arquitectónico lo interesante de la información numérica es la posibilidad de ponderar y establecer relaciones que indiquen la dimensión del efecto que produce en las primeras instancias de decisión. Así es que habrá variables que analizadas y ponderadas resultan de poco impacto y otras serán determinantes.

En tabla se indican inicialmente datos geo-referenciales: latitud (LAT), longitud (LONG) y altura sobre nivel mar (ASNM). Luego, temperaturas media (TMED), mínima (TMIN) y máxima (TMA). Nótese que las medias máximas (TMA) apenas alcanza la temperatura de confort estándar (usualmente ubicada a partir de 18°C), es decir no hay potencial útil de aire exterior para inyectar directamente al interior y en consecuencia el flujo de calor es en sentido de las pérdidas (de interior a exterior), por tanto es indispensable ajustar el diseño de aislaciones térmicas y el evitar infiltraciones de aire exterior.

La propia Norma hace énfasis en este punto al ubicar la TDMIN (temperatura de diseño mínima) en -4°C; es decir indica diseñar aislaciones para condiciones exteriores muy por debajo de las medias mínimas que la propia Norma indica.

El cuadro de datos avanza con precipitaciones (PREC), humedad relativa media mensual (HR=80%, muy húmedo) y heliofanía relativa (HELRE=5.4H). La heliofanía media está indicando una cobertura de nubes que reduce en el 30% la radiación directa plena (\*), si considera que la cantidad de horas diurnas en solsticio de invierno es 8h. Es decir, aparece aquí un recurso potencial disponible (radiación solar) aceptablemente bueno (un 70% del tiempo global) para calentamiento.

Los últimos datos corresponden a velocidad de viento (VM) bajos, que disminuye el riesgo de infiltraciones de aire comparado con otras geografías.

Los siguientes datos corresponden al concepto grados día (GD) de calefacción necesarios con distintas base 16, 18, 20 y 22°C de temperatura de confort interior. Expresa hora a hora el déficit en °C acumulado de la temperatura exterior para llegar a las distintas bases de temperatura confort.

Para tener una referencia intuitiva Rosario tiene GD18=1000°C, Ushuaia 4500°C y Posadas 100°C, podría concluirse en trazos gruesos, que tiene una necesidad de calefacción: media y una disponibilidad del recurso solar: aceptable.

(\* ) la disponibilidad solar plena (alta heliofanía) suele ser propia de climas continentales.

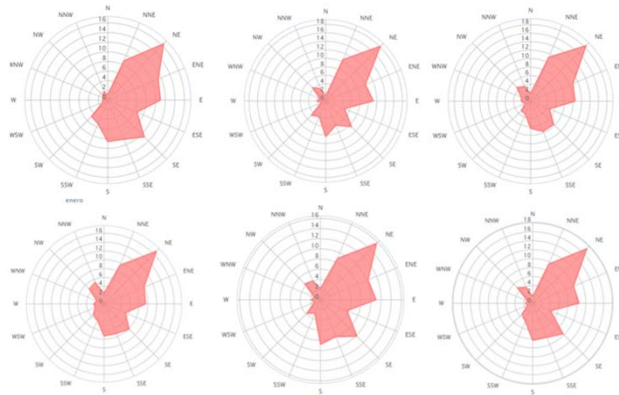


## UNIDAD DIDÁCTICA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO HIGROTÉRMICO

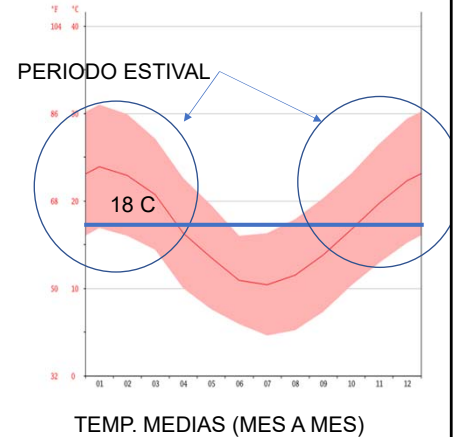
### IRAM 11.603 - ROSARIO - VERANO

ESTACIÓN	P	LAT	LON	ASNM	TMED	TMAX	TMIN	TMA	TDMX	PREC	HR	HELRE	VM
ROSARIO (AERO)	SF	-32,92	-60,78	25	23,27	29,3	17,2	40,5	37,3	486,2	71,5	8,6	12,9

ROSARIO – VERANO - IRAM 11603



ROSA DE VIENTOS (OCT/NOV/DIC y ENE/FEB/MAR)



Para el **periodo estival** en **Rosario** (aeropuerto Fisherton), luego de las geo-referencias indica: temperaturas medias (TMED), máximas (TMAX), mínimas (TMIN) y máxima absoluto (TMA). Se puede ver que las TMED están por encima de un posible limite máximo de confort: 20/22°C. Las máximas son notablemente altas, pero las mínimas pueden ser un recurso para aplicar, no muy importante pero para considerar. Las mínimas se producen durante las noches y ese aire más “fresco” puede inyectarse directamente en los locales o mediante estrategias de refrescamiento estructural “enfriar” masas (de muros o de pisos) para luego con el sistema cerrado y aislado diurno aprovechar esa acumulación de “fresco”. Este recurso potencial lo analizaremos más adelante en un ejemplo práctico.

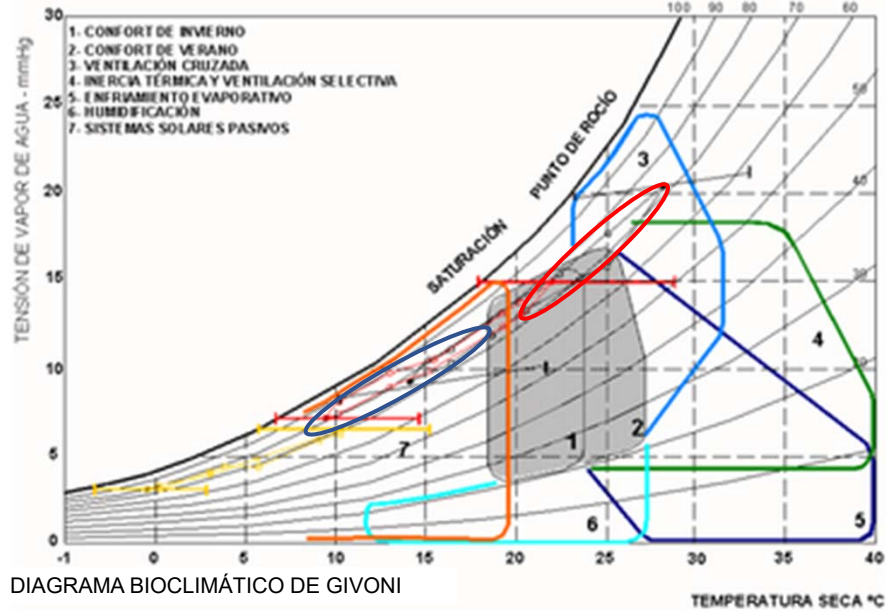
La TDMX Temperatura de diseño máxima, indica la condición de diseño para considerar en cálculos. PREC Precipitación media de los meses de verano, en milímetros. HR Humedad relativa media mensual de los meses de verano [%]. HR indica un alto tenor que ubica a Rosario en el límite superior de confort higrotérmico.

La HELRE, Heliofanía relativa [horas] indica alta nubosidad del orden promedio superior al 60%.

La VM, Velocidad media del viento, en kilómetros por hora [Km/h], resulta mejor analizarla más desagregada: mensual. En Rosario, sin embargo tanto la velocidad como la dirección predominante se mantiene bastante estable, salvo casos muy puntuales. Por velocidad se ubica como “brisa ligera a moderada” y con dirección predominante NE (noreste) para verano como indica las imágenes a la izquierda. Analizado como potencial, la variable viento indica: baja velocidad y cálido, pero cuando las temperaturas son exigentes puede contribuir a mejorar la evapotranspiración cutánea y mejorar la búsqueda de confort si se establecen mecanismo de ventilación directa tipo: “ventilación cruzada”. Es decir aire en movimiento sobre los residentes del espacio para mejorar la evapotranspiración cutánea. Otro mecanismo para promover el aire en movimiento es aprovechar el mecanismo de termocirculación aprovechando la pérdida de densidad con el incremento de temperatura, mediante tomas inferiores y salidas superiores en los locales. Cuando se realizan estas operaciones es importante que las tomas sean del aire más fresco posible proveniente de zonas sombreadas.

## UNIDAD DIDÁCTICA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO HIGROTÉRMICO

### DIAGRAMAS ESTRATEGIAS DE ACONDICIONAMIENTO



Otro diagrama, publicado en 1969: **Diagrama de Baruch Givoni**. Indica las posibles estrategias pasivas (sin energía auxiliar) aplicadas sobre el edificio para mejorar las condiciones de habitabilidad. La carta bioclimática de Givoni se construye sobre la estructura del diagrama psicrométrico: temperaturas de bulbo seco en abscisas, en la ordenadas tensión de vapor (humedad absoluta) y las curvas centrales grafican la humedad relativa hasta la saturación (100%).

La zona en gris 1 corresponde al área estadística de **confort** (definida entre 18 a 24°C de temperatura de bulbo seco y de 20 a 80% de humedad relativa), la zona 2 corresponde al **confort ampliado** de verano. Nótese que si bien acepta un aumento de las temperaturas (27°C) con bajo tenor de humedad va reduciendo el límite tolerable por encima del 50% (hasta volver a 24/25°C). Esta reducción se debe a las dificultades para promover la evapotranspiración cutánea natural cuando el propio aire circundante tiene registros altos de vapor de agua en el aire.

La mecánica de uso del diagrama se basa en ubicar sobre éste el clima expresado por los datos de temperatura y humedad (climogramas). Usualmente se aprovechan los registros mensuales del Servicio Meteorológico Nacional correspondientes al periodo de invierno por un lado y de verano por otro, y la carta indica para cada área del diagrama una estrategia recomendada.

En los casos de invierno las estrategias siempre deben estar acompañadas por diseños que minimicen las pérdidas térmicas o las infiltraciones de aire frío exterior, y en los casos de verano que eviten las ganancias de calor, protegiéndose de la radiación solar incidente.

La eficiencia de toda estrategia debe montarse sobre envolventes racionalmente cuidadas, ya que de nada sirve inyectar o sacar energía de un sistema que está abierto sin control.

Siempre la primera estrategia es no perder en invierno (fundamentalmente aislar) no ganar en verano (al menos controlar la radiación solar incidente).

Diagrama Bioclimático de Givoni por la Dra. Florez Larsen:

<https://www.youtube.com/watch?v=uN4BcXwE-3E>

Programa simulación de referencia (Software): climate consultant

## UNIDAD DIDÁCTICA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO HIGROTÉRMICO

### ROSARIO ESTRATEGIAS DE INVIERNO Y VERANO

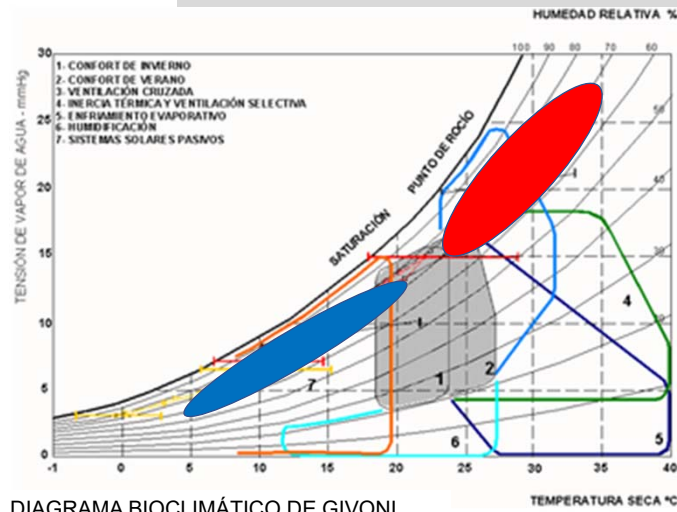
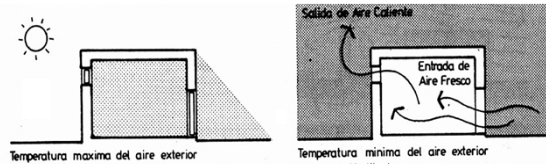
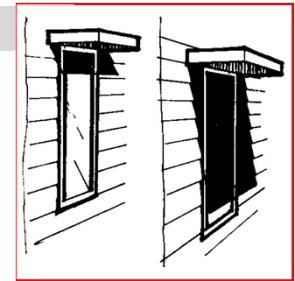


DIAGRAMA BIOCLIMÁTICO DE GIVONI



A manera de ejemplo se indican las estrategias posibles aplicadas al clima de Rosario según Givoni.

Es usual para sistematizar el análisis considerar por separado las demandas de invierno y de verano y luego compatibilizar las soluciones para un único edificio a acondicionar.

Los climogramas **de invierno en Rosario** se ubica aproximadamente en la zona azul. Es decir temperaturas bajas, con mínimas medias de 2 a 3°C y máximas media que se introducen levemente en zona de confort. Si seguimos el modelo de Givoni, la estrategia a aplicar es **asoleamiento** (ganancia directa) mediante ventanas bien orientadas y con protección nocturna (postigos, persianas, etc.) para **minimizar pérdidas**.

En el caso que el acondicionamiento se trate de locales de uso continuo, se podría contemplar la posibilidad de aprovechar en masas interiores la acumulación de calor por radiación diurna. Esta energía será necesaria en las noches más frías aprovechando el principio de inercia térmica. (sobre este tema volveremos durante el curso de M2).

El **verano en Rosario** es caluroso y húmedo y se ubica aproximadamente en la zona indicada en rojo. Durante las horas diurnas especialmente pasado el mediodía las condiciones pueden ser agobiantes (alta temperatura y humedad) y en la noche llega a entrar levemente en la zona superior de confort ampliado.

Si se analiza las horas diurnas las estrategias de **sombreado y protección de la radiación solar** son imprescindibles, los grandes vidriados expuestos al sol es una estrategia no asociada al clima, tampoco las fuentes con aguas parecen un recurso aplicable en Rosario, (quizás si en Catamarca).

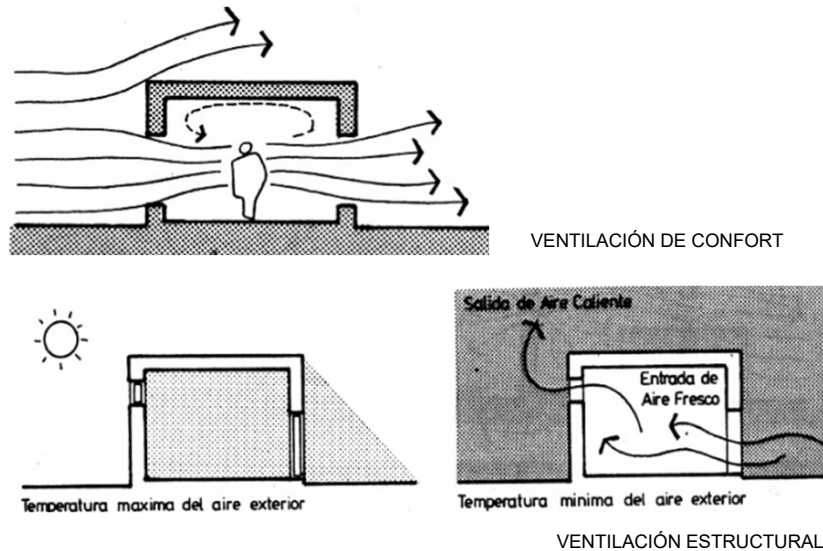
Siguiendo el esquema de estrategias de Givoni para verano: favorecer el movimiento de aire por los locales para mejorar la **ventilación directa y asegurar sombreados** (en la imagen superior derecha se ve un parasol diseñado para funcionar invierno y verano).

Una estrategia complementaria puede incluir el "sombreado" de la propia envolvente como en la figura centro derecha por vegetación de hojas caducas, o siguiendo la misma lógica mediante fachadas ventiladas o doble techo. En estos casos la idea es interponer al cerramiento una cámara de aire ventilada. La ventaja de envolventes ventiladas es que la superficie irradiada (exterior) evita que la segunda piel tome mayor temperatura por el efecto de la radiación solar. Las temperaturas superficiales de cerramientos expuestos al sol es sustancialmente más alta que la temperatura de superficies sombreadas. En Rosario una chapa al sol puede alcanzar temperaturas de 60, 70 u 80°C (temperatura sol-aire) y a la sombra la temperatura sería 30 o 40°C menos. Como el intercambio térmico esta determinado por la conductividad del cerramiento y la diferencia de temperatura entre un lado y otro,  $F = K \times (T_e - T_i)$  a menores temperaturas exteriores menores ganancias y entonces las estrategias de sombreado pasan a ser fundamentales.



## UNIDAD DIDÁCTICA: ESTRATEGIAS DE DISEÑO HIGROTÉRMICO

### ESTRATEGIA: VENTILACION DE CONFORT Y VENTILACION ESTRUCTURAL.



Si bien, como se ha dicho el potencial viento no es máximo y aún menos en entornos urbanos muy consolidados, para su aplicación cabe indicar en términos generales dos opciones: **ventilación de confort** y **ventilación estructural**.

La **ventilación de confort** indica la promoción de aire en movimiento en contacto con la superficie corporal de manera de favorecer el mecanismo epidérmico de evapotranspiración. Cuando una corriente de aire circula en proximidad corporal se favorece el intercambio higrotérmico epidermis-aire produciendo un refrescamiento evaporativo. Para que se produzca **ventilación de confort** el flujo de aire debe producirse en el espacio habitado, es decir de nada sirve si esta por encima o lateral al específico espacio habitado.

El movimiento del aire sobre la piel da una sensación de frescura debido a que para la evaporación del agua contenida en sus poros el aire pierde calor en contacto con la piel favoreciendo el intercambio. El aumento de la velocidad del aire interior (por corrientes de aire naturales o mediante el uso de ventiladores) permite soportar algunos grados más de temperatura ambiente. Esta técnica se denominada **ventilación de confort**.

El enfriamiento evaporativo solo será eficiente cuando el tenor de humedad ambiente no sea muy alto, ya que la capacidad del aire de tomar ese vapor es directamente proporcional a su condición. Si el aire está saturado (de 100% HR, humedad relativa) ya no podrá incorporar más vapor y por tanto no contribuirá a absorber la evapotranspiración corpórea.

Se puede estimar estadísticamente que con aire quieto (0,1 m/s), la temperatura límite de confort a 60 % de HR es de 24 °C. A medida que la velocidad del aire aumenta, aumenta también la posibilidad de estar en confort a mayor temperatura. ASHRAE\* recomienda un límite superior de velocidad de aire en locales de 8 m/s. Este valor de velocidad de aire permite aumentar en 3 °C la temperatura de confort relativa, extendiendo hasta los 27 °C la zona de confort higrotérmico. Los ventiladores de techo generan velocidades de aire de este orden y tienen un comportamiento más eficiente que los de pie oscilantes o fijos.

El refrescamiento estructural (enfriar la masa del edificio) por **ventilación estructural** es un proceso que normalmente se aplica en el periodo diurno-nocturno. Durante el día (temperaturas exteriores mayores) el edificio permanece cerrado y durante la noche se abre de manera que el aire nocturno más fresco contribuya a la pérdida de calor acumulado en la masa. Si la masa edilicia es suficientemente importante y esta aislada por fuera puede resultar un sumidero del "frio" nocturno que mejora las condiciones diurnas interiores. La estrategia de **ventilación estructural** suele emplearse en climas rigurosamente cálidos y áridos donde se puede aprovechar la diferencia de temperaturas diurnas-nocturnas (amplitud térmica). Naturalmente en estos casos las protecciones de radiación diurna son imprescindibles.

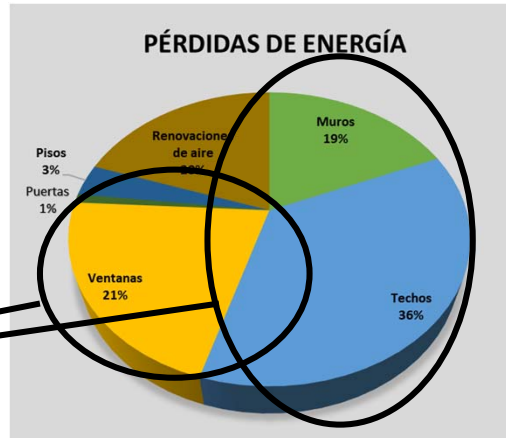
\* American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

## UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICOS

EL DISEÑO DE LA ENVOLVENTES ES (ENTRE OTRAS FUNCIONES) RESPONSABLE DEL CONTROL DE LOS INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICOS.

### TEMARIO

- Intercambios térmicos por envolvente.
- Particiones opacas y transparentes.
  - Particiones transparentes.
  - Particiones transparentes. Tipos.
  - Particiones transparentes. Protecciones.
- Particiones opacas.
  - Particiones opacas. Masivas o livianas.
  - Particiones opacas. Inercia térmica.
- Ordenanza Municipal 8757 e IRAM
  - Ordenanza 8757. Cerramientos transparentes.
  - Ordenanza 8757. Cerramientos opacos.
  - Normas IRAM. Intercambio térmico.
- De pesados masivos a aislantes livianos.



Fuente: Impacto de la envolvente en la demanda de energía en calefacción residencial de La Plata. María de la Paz Diulio, et.al. / Universidad Nacional de La Plata, La Plata - Argentina

La imagen de derecha muestra un estudio estadístico para el área metropolitana de La Plata de pérdidas por envolvente en el parque construido del sector residencial. Claramente se desprende la importancia de las pérdidas por cerramientos opacos (muros y techos) del 55%, pérdidas por cerramientos transparentes 21% y otro tanto del mismo orden por infiltraciones. Pérdidas por piso es mínima: 3%.

El mismo estudio indica que con mejoras en la envolvente opaca a valores normativos (lo veremos más adelante) el consumo de calefacción se reduciría un 60% en construcción estándar. Pero más importante aún es la calidad de habitar que se obtiene, porque el confort higrotérmico no es simplemente el conseguir temperaturas y humedades aceptables del aire interior sino que las paredes y techos circundantes del espacio estén en condiciones adecuadas. Los intercambios radiantes de los habitantes con las superficies expuestas es determinante en interiores confortables.

Las mejoras pueden llegar a reducciones del 80% si además se tratan los cerramientos transparentes.(1)

Sobre esta lógica se desarrolla la temática de intercambios térmicos: Eficiencia energética; Confort térmico; Aislación térmica, en el hábitat, apuntando a la racionalidad de la toma de decisión proyectual tanto forma como materia.

Es más, difícilmente un planteo arquitectónico (formal) errado pueda resolverse con las decisiones materiales posteriores.

Bibliografía ampliatoria de lectura recomendada:

[http://www.vivienda.mosp.gba.gov.ar/varios/manual\\_ac\\_higrotermico.pdf](http://www.vivienda.mosp.gba.gov.ar/varios/manual_ac_higrotermico.pdf)

(1) [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-86212016000100055](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212016000100055)

## UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICO

### PARTICIONES OPACAS Y TRANSPARENTES



$$F = \frac{(t_e - t_i)}{R_t} + \alpha \cdot E \cdot \frac{R_{se}}{R_t} + \tau \cdot E$$

$$R_t = R_{si} + R_{c1} + R_{c2} + \dots + R_{cn} + R_{se}$$

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad K = \frac{1}{R_t} \quad K: \text{transmitancia}$$

Tabla 2 - Resistencias superficiales (\*)

en m<sup>2</sup>·K/W

Interior <i>R<sub>si</sub></i>			Exterior <i>R<sub>se</sub></i>		
Dirección del flujo de calor			Dirección del flujo de calor		
Horizontal (Muros)	Ascendente (Pisos o techos)	Descendente (Pisos o techos)	Horizontal (Muros)	Ascendente (Pisos o techos)	Descendente (Pisos o techos)
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

(\*) La resistencia térmica superficial varía en función de numerosos parámetros, tales como las propiedades de la superficie, en particular la emisividad de la superficie, la velocidad del aire a lo largo de la superficie, y las temperaturas de la superficie, del aire ambiente y de las superficies circundantes.

Esta norma no considera expresamente los posibles aumentos de las *R<sub>si</sub>* o *R<sub>se</sub>* que pudieran lograrse aplicando terminaciones de baja absorción y/o emisividad de la radiación, por cuanto se considera que el mantenimiento en el tiempo de tales propiedades, no puede asegurarse en las condiciones reales de las obras.

RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES. *R<sub>se</sub>* *R<sub>si</sub>*  
NORMA IRAM 11601/2002

El análisis del diseño higrotérmico de envolventes puede inicialmente separarse en dos campos diferenciados por el comportamiento físico: **particiones opacas y particiones transparentes**, a partir de las propiedades óptica del material.

Cuando no reciben radiación directa el flujo térmico depende solamente de las temperaturas interior y exterior y de la resistencia térmica de la partición ( $F=(t_e-t_i)/R$ ), por su parte la resistencia térmica depende de la resistividad del material (o su inversa la conductividad) y del espesor involucrado (**R=espesor/conductividad**). Cuando se trata de particiones no homogéneas la resistencia total es la sumatoria de las resistencias de cada capa, a las que además se suman las resistencias peliculares del aire más o menos estanco próximo a la superficie exterior (*R<sub>se</sub>*) e interior (*R<sub>si</sub>*) del cerramiento (**R<sub>t</sub>=R<sub>se</sub>+R<sub>1</sub>+R<sub>2</sub>+R<sub>3</sub>.....+R<sub>si</sub>**).

Inicialmente podemos inferir que en las particiones vidriadas, que involucran espesores mínimos (4.2, 6, 10mm) tienen una capacidad muy baja de resistir el paso de energía y por esto la necesidad de analizar detenidamente su diseño material y formal para asegurar condiciones de confort interior, especialmente por pérdidas térmicas en invierno. El cálculo de resistencia de vidrio simple común desprecia la resistencia *R* que aporta la propia lámina de vidrio y se puede resumir a la suma de las peliculares *R<sub>se</sub>*+*R<sub>si</sub>*, para el caso vidrio vertical  $R= R_{se}+R_{si}=0,04+0,13= 0,17\text{m}^2\text{K/W}$ .

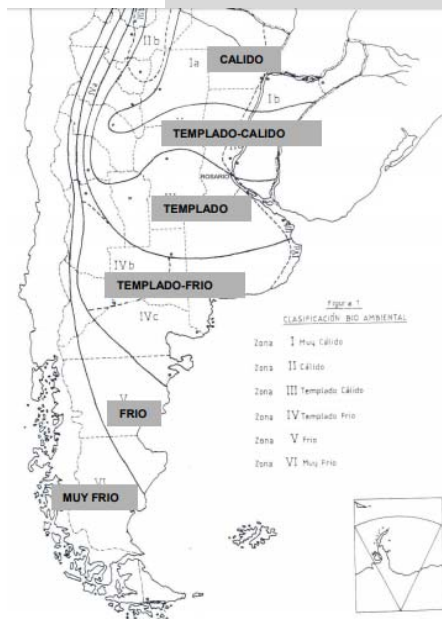
Como segunda consideración, aunque de mayor importancia en su efecto y en el diseño, el comportamiento óptico de particiones opacas y transparentes diferencia las superficies insoladas o no. Cuando la radiación solar incide en los cerramientos opacos se produce un incremento de la temperatura superficial externa en función de la absorción del material elegido, mientras que en las transparentes permite el ingreso de energía al espacio habitable directa e instantáneamente en función de la transmitancia del vidriado.

En condiciones de verano, cuando no se desea ganancia térmica por efecto de la radiación solar, el sombreado de ambas particiones es recomendable y en el caso de las transparentes imprescindible para facilitar el logro de condiciones de confort interior. Mientras que en invierno, promover la entrada de radiación solar a través de superficies transparentes mejora las condiciones interiores. Las cuestiones vinculadas a los intercambios térmicos y el sol lo trataremos más avanzado el cursado.

El balance adecuado de las áreas transparentes y opacas en las envolventes, la posibilidad de orientarlas adecuadamente, la inclusión de mecanismos de protección de ganancias térmicas (mediante parasoles, aleros, sombreados, etc.), de protección de pérdidas térmicas (postigos, cortinas, etc.), y de la materialidad adoptada potencian el diseño hacia condiciones de confort interior.

## UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICO

ORDENANZA 8757 / IRAM 11605 / Rosario



	CONSTRUCCION STANDARD	K max adm EXIGIBLES / ORDENANZA 8757	K max adm RECOMENDADOS NIVEL A/ IRAM 11605 Zona Bioambiental III	
			VERANO	INVIERNO
TECHOS	1,30 A 2,40	0,38	0,19	0,28
CERRAMIENTOS OPACOS VERTICALES (MUROS)	1,95 A 2,85	0,74	0,50	0,32
CERRAMIENTOS TRANSPARENTES VERTICALES (VENTANAS)	5,82	2,80		
MUROS A LOCALES NO ACONDICIONADOS	1,85	1,60		
PROMEDIO PONDERADO OPACO/TRANSPARENTE		1,80		

COMPARATIVA DE TRANSMITANCIAS MÁXIMAS ADMISIBLES, CONSTRUCCIÓN STANDARD, ORDENANZA MPAL. 8757 Y NORMA IRAM 11.605.

Para analizar intercambios térmicos es necesario definir el sitio de análisis, a los efectos ilustrativos referiremos las condiciones de clima a Rosario. Como indicamos con anterioridad, Rosario se ubica en zona bioambiental IRAM: IIIa, caracterizada como templado-cálido, con temperaturas de diseño estadísticas de invierno y verano: TDMN=-4C y TDMX=37,3. Sobre estos parámetros se ha generado una Ordenanza de aplicación obligatoria en edificios en Rosario tendiente a promover la “eficiencia energética”.

La Ordenanza 8757/11, ajustada por el Reglamento 938/13, a las consideraciones estadísticas de clima local define **parámetros obligatorios para cerramientos opacos y transparentes**:

- Transmitancia térmica: K
- Factor de exposición solar: Fes

En la tabla se indican los valores de transmitancia para **cerramientos opacos** “standard” tipo, los solicitadas por la 8757 y por IRAM Nivel A.

Nótese que tanto en la Norma (valores máximos recomendados) como la Ordenanza (valores máximos obligatorios) se indican por separado las envolvente opaca vertical (muros) de las horizontal (techos), ya que considera la condición de superficie más expuesta térmica a la cubierta que a la envolvente vertical, tanto por la situación de asoleamiento de verano diurno como por la de invierno nocturna. En las noches de cielo despejado de invierno la cubierta intercambia por radiación (se denomina al efecto “radiación nocturna”) con la bóveda de cielo oscuro. Este fenómeno produce un enfriamiento superficial de las cubiertas que se puede visibilizar por la capa de rocío (agua condensada al llegar el aire ambiente a la temperatura de punto de rocío en contacto con la superficie enfriada superficial del techo) que aparece en las noches en las superficies expuestas de cubiertas (lo mismo ocurre con los vehículos estacionados, etc.). Por tanto, en la resolución de cubiertas es usual una demanda mayor de aislación térmica para evitar estas pérdidas invernales tanto como las ganancias diurnas de verano y de esa manera conseguir una envolvente global de funcionamiento más equilibrado.

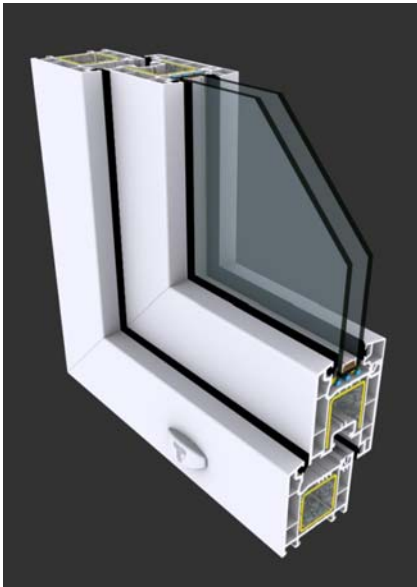
Para los **cerramientos transparentes**, por su parte en la Ordenanza se indica un Kmax adm de 2,80 W/m<sup>2</sup> ·K, es decir la implementación de estrategias por encima del vidrio simple expuesto (que tiene el doble de esa transmitancia) y por otro lado exige la implementación de protecciones sobre las superficies transparentes que denomina Factor de exposición solar (Fes) de distinto grado por orientación, que veremos a continuación.

<https://www.rosario.gob.ar/web/tramites/certificado-de-aspectos-higrotermicos-y-eficiencia-energetica>

[https://www.rosario.gob.ar/web/sites/default/files/2018- instructivo\\_ordenanza\\_no\\_8757.pdf](https://www.rosario.gob.ar/web/sites/default/files/2018- instructivo_ordenanza_no_8757.pdf)

## UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICO

### PARTICIONES TRANSPARENTES - ACRISTALAMIENTO



Tipo	Transmitancia térmica (K)
	W/m <sup>2</sup> ·K
Vidrio incoloro común	5,82
Vidrio incoloro común con cortina de madera (cerrada)	2,79
Vidrio incoloro común con cortinas internas	5,00
Polycarbonato transparente incoloro de 3 mm de espesor	5,46
Doble vidriado hermético, con vidrio incoloro común y cortina de madera (cerrada)	2,15
Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 6 mm	3,23
Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 12 mm	3,08
Triple vidriado hermético, compuesto por 3 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y 2 cámaras de aire de 6 mm cada una	2,23
Doble vidriado hermético, compuesto por un vidrio reflectante obtenido por proceso pirolítico de 4 mm de espesor sobre base gris, cara reflectante hacia el exterior y vidrio incoloro común de 3 mm hacia el interior, cámara de aire de 6 mm	3,45
Doble vidriado hermético, compuesto por un vidrio reflectante obtenido por proceso pirolítico de 4 mm de espesor sobre base gris, cara reflectante hacia el interior de la cámara de aire de 6 mm de espesor, y vidrio incoloro común de 3 mm hacia el interior	2,80

(\*) NOTA. Para el caso de ventanas en posición horizontal o inclinada, deberá calcularse la transmitancia térmica utilizando los valores dados en esta tabla, pero modificándolos mediante la adopción de las resistencias térmicas superficiales que corresponden a la posición adoptada.

TRANSMITANCIA TÉRMICA {K} DE VIDRIADOS en [W/m<sup>2</sup> K]  
NORMA IRAM 11601/02.

En el análisis térmico de vidriados es necesario considerar las condiciones a controlar: ganancias por efecto de radiación solar y las pérdidas por la baja resistencia térmica. En ambos casos algunos vidrios especiales mejoran las prestaciones, considerando siempre la necesidad psicofísica de comunicación interior-exterior al tiempo que ésta superficie es la porción débil higrotérmica del sistema envolvente.

- **DVH, doble vidriado hermético:** es un doble acristalamiento con cámara hermética interpuesta. Comparado con una capa simple de vidrio esta solución de amplia difusión mejora el aislamiento térmico. El DVH con cámara de aire de 12 mm ofrece una transmitancia térmica  $K=2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , mientras que una capa de vidrio sencilla alcanza un  $K=5,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  (Norma IRAM 11.601/02), reduciendo a la mitad las pérdidas. Se puede mejorar aún mas el rendimiento sustituyendo el aire de la cámara por un gas noble, generalmente, argón.

El DVH convencional es un recurso de buen uso actual en Rosario, para mejorar los problemas de pérdidas térmicas invernales en especial a partir de la puesta en vigencia de la Ordenanza Municipal 8757, que abordaremos mas adelante en esta presentación.

La resistencia del sistema DVH es el resultado fundamental del efecto resistente térmico de la cámara de aire estanco (ver tabla IRAM 11.601), sin posibilidades de movimiento termo-convectivo por el estrecho espesor involucrado entre las láminas de vidrio, la norma indica específicamente la condición de "no ventiladas", porque si existe movimiento de aire se anula el efecto aislante.

En casos menos frecuentes se pueden aplicar vidrios especiales a pedido, solo se citan aquí algunos ejemplos:

- **Vidrio de alta reflectancia:** el tratamiento de la superficie exterior con depósitos de metales o silicio proporciona un aspecto de espejo. La reflectancia del espectro visible puede llegar hasta el 45%, reduciendo la ganancia solar en verano. La imagen reflejada exterior puede suprimir totalmente la visión del interior durante el día, aportando intimidad, aunque también existe el riesgo de proyectar reflejos al exterior, produciendo deslumbramientos.
- **Vidrio de baja emitancia:** la baja emisividad se consigue mediante un tratamiento en el que se depositan sucesivas capas de metales como la plata u óxidos metálicos sobre la superficie del vidrio, reduciendo la transmisión de calor en cámaras de aire de vidrios dobles. Esta capa metálica provoca que la pérdida de energía a través del vidrio se reduzca en un 70% con relación a un vidrio convencional.

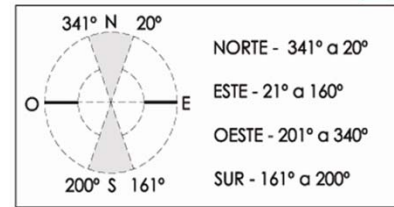
(1) Bibliografía ampliatoria sobre vidrios:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4129/Anexos%20II.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

## UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICO

### ORDENANZA 8757 / Rosario

Tipo de vidrio	*	Transmitancia [W/m2K]	Orientación	F.E.S.
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	1	5.7	Norte	0.84
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	1	5.7	Este	0.84
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	1	5.7	Oeste	0.84
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	1	5.7	Sur	0.84
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	1	5.7	lucernarios / inf. 60°	0.84
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	2	2.8	Oeste	0.18
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	3	5.7	Este	0.21
Monolítico Incoloro (crudo, templado o laminado) 4mm	4	5.7	Oeste	0.25
DVH cámara de 9mm Incolor exterior 4mm y aire en su interior. Vidrio incoloro interior 4mm. (4+9+4)	1	2.9	Sur	0.78
DVH cámara de 9mm Incolor exterior 4mm y aire en su interior. Vidrio incoloro interior 4mm. (4+9+4)	1	2.9	Norte	0.78
DVH cámara de 9mm Incolor exterior 4mm y aire en su interior. Vidrio incoloro interior 4mm. (4+9+4)	5	2.9	Norte	0.40
DVH cámara de 9mm Incolor exterior 4mm y aire en su interior. Vidrio incoloro interior 4mm. (4+9+4)	5	2.9	Oeste	0.40
<b>* Tipos de protección exterior</b>				
1 - Sin Protección				
2 - Cortina de enrollar exterior de madera, metálicas, PVC o aluminio				
3 - Persiana exterior con tablillas inclinadas				
4 - Parasoles verticales móviles				
5 - Parasol horiz. fijo con proporción 1:2 saliente-altura				



#### DETERMINACIÓN DEL F.E.S. POR ORIENTACIONES

Orientaciones	FES máximo
Cuadrante Norte (NNE-NNO) 341° a 20°	0.45
Cuadrante Este y Oeste. 21° a 160° y 201° a 340°	0.30
Cuadrante Sur (SSE – SSO) 161° a 200°	0.90
Lucernarios y planos inclinados con ángulo inferior a 60°	0.25

**Vidrio simple sin protección: Fes = 1**

Para los **cerramientos transparentes** la Ordenanza 8757 indica un doble condicionante:

- **Kmax adm** 2,80 W/m2 K, es decir la implementación de estrategias por encima del vidrio simple expuesto, que tiene la mitad de esa transmitancia exigible.
- **Fes**, factor de exposición solar variable según la orientación.

El K máximo=2,80 W/m2 K es aplicable para superficies transparentes que no superen el 60% de la pared del local. Si se supera ese porcentaje el valor máximo admisible de transmitancia térmica se reduce a 1.80 W/m2K, es decir aumenta la exigencia para condiciones de fachadas acristaladas cuasi plenas. La Ordenanza presenta más de 200 opciones de particiones con vidrio para alcanzar el K adm. (1)

A manera de ejemplo, se puede obtener Kmax adm requerido mediante soluciones de amplia difusión como DVH expuesto de 6+12+6 (dos hojas de vidrio de 6mm y cámara intermedia de aire de 12mm) o mediante un DVH 3+6+3 y cortina interior o mediante un vidrio simple y cortina exterior PVC.

Por otro lado la Ordenanza exige un tratamiento particular protector sobre las superficies transparentes que denomina Factor de exposición solar (Fes). Partiendo de definir al vidrio simple expuesto como Fes=1, solicita en función de la orientación una mayor o menor protección para controlar el efecto solar. Distingue zonas de orientación por cuadrantes, al norte con una amplitud de 40° (20° al este + 20° al oeste) un Fes=0,45, al sur una zona de la misma amplitud 40° (20° al este + 20° al oeste) con un Fes=0,90 y una tercer zona de igual Fes=0,30 para las al este y oeste (ver imagen del cuadrante).

Nótese que el Fes (factor de exposición solar admitido) solicita una protección solar del vidrio simple a la exposición sin ninguna protección para todas las orientaciones, aumentando el requerimiento levemente al sur (prácticamente no recibe radiación solar directa), luego al norte y muy especialmente al este y oeste. Las fachadas este y oeste reciben sol directo casi normal al plano, lo que aumenta el efecto de la radiación incidente. Sobre esta temática avanzaremos cuando desarrollemos geometría solar.

Las protecciones propuestas mediante un menú desplegable proponen cortinas, persianas, parasoles, toldos, postigos, etc. que combinados con el tipo de vidrioado a proteger permiten la verificación de las condiciones del sistema cerramiento transparente en la orientación propuesta.

El link para acceder al menú de planillas para certificar los aspectos higrotérmicos y de eficiencia energética para acceder al permiso de edificación necesario para edificaciones nuevas o reformas:

<https://www.rosario.gob.ar/web/tramites/certificado-de-aspectos-higrotermicos-y-eficiencia-energetica>

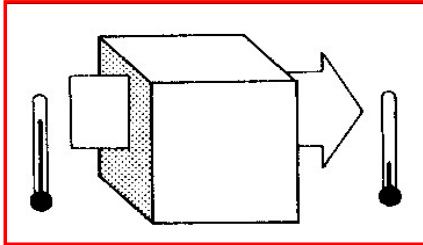
(1) [https://www.rosario.gob.ar/web/sites/default/files/planilla\\_3\\_listado\\_de\\_vidrios\\_transmitancia\\_termica\\_y\\_fes.pdf](https://www.rosario.gob.ar/web/sites/default/files/planilla_3_listado_de_vidrios_transmitancia_termica_y_fes.pdf)

## UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICO

### PARTICIONES OPACAS

- Decisiones materiales: tecnológico constructivas

#### MASIVAS (pesadas)

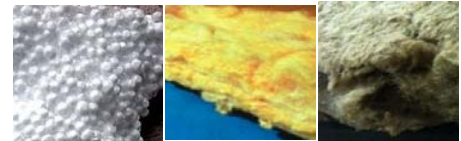
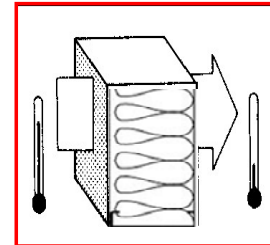


Mamposterías varias macizas y hormigones comunes.

1500 a 2500 kg/m<sup>3</sup>

GRUESO-PESADO-POROSO

#### AISLANTES (livianas)



Poliestireno expandido, lana de vidrio, lana mineral, poliuretano (espuma rígida), etc.

Ejemplo: poliestireno expandido 30 kg/m<sup>3</sup>

DELGADO-LIVIANO-IMPERMEABLE

En las **particiones opacas** la decisión tecnológico-constructiva GPP o DLI, grueso pesado poroso o delgado liviano impermeable, define dos modos muy distintos de funcionamiento del edificio.

El flujo térmico de la expresión  $F = (t_e - t_i) / R$  es de aplicación válida para los dos sistemas tecnológico-constructivo GPP o DLI, pero el funcionamiento del edificio muy distinto. Se puede obtener el mismo flujo, es decir obtener la misma capacidad aislante ( $R = \text{espesor} / \text{conduct. term.}$ ) ajustando el espesor involucrado. Por ejemplo, si ladrillo la conductividad térmica del ladrillo macizo = 0.81 W/mK y del poliestireno expandido = 0.037 W/mK, se obtiene la misma R con una pared de 30cm de ladrillos y con 1,3cm de poliestireno expandido.

La condición de control de flujo, es decir la capacidad aislante de la envolvente según el valor de resistencia o transmitancia admisible ( $R = 1/K$ ) es independiente del sistema tecnológico.

La diferencia radica en el modo de funcionamiento del edificio, debido a la inercia térmica. En la imagen superior se esquematizan los dos sistemas: las temperaturas interior y exterior y las resistencias térmicas son iguales en los dos sistemas, por tanto el flujo es igual; lo que se modifica es el espesor involucrado en cada uno por el cambio de material.

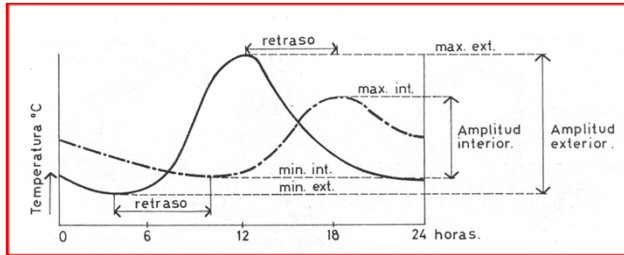
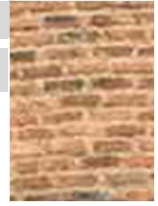
La diferencia radica en el modo de funcionamiento higrotérmico de un sistema y el otro.

En los sistemas masivos la puesta y salida en régimen de confort es lenta (por la energía que la masa puede acumular), en los livianos es prácticamente instantánea ya que no hay energía que sea acumulada por las paredes sin masa, ni al momento de la inyección de energía ni cuando se retira.

Como regla general, se podría admitir que los espacios de uso continuo (24h/día), vivienda por ejemplo, requieren un mantenimiento de las condiciones de confort extendidas en el tiempo y por ello los sistemas tecnológicos inerciales permiten un mantenimiento más amortiguado comparado con las diferencias térmicas diarias exteriores. Mientras que los espacios de uso discontinuo, oficinas por ejemplo, requieren una puesta de confort temporalizada, probablemente requieran una más rápida entrada en régimen y por tanto los sistemas tecnológicos livianos y aislantes pueden adaptarse mejor.

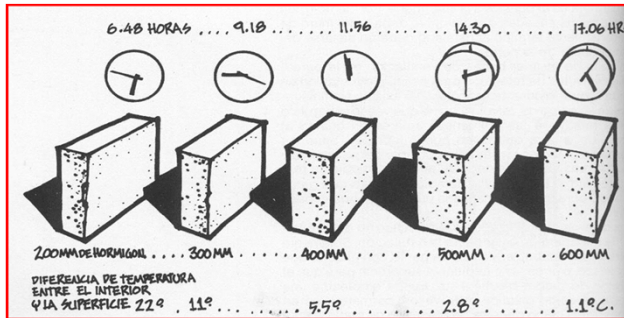
## UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICO

### PARTICIONES OPACAS MASIVAS



$$I = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$$

*I*: inercia térmica  
*λ*: conductividad térmica  
*ρ*: densidad  
*c*: calor específico



ESQUEMA DE TEMPERATURAS TIPO, INTERIOR Y EXTERIOR PARA SISTEMAS MASIVOS. INERCIA TÉRMICA.

EN SISTEMAS MASIVOS:  
INCREMENTO DEL RETARDO Y DEL AMORTIGUAMIENTO POR ESPESOR.

En las **particiones opacas**, definido el nivel K de transmitancia, queda decidir si se usará un sistema inercial (masa térmica) o un sistema tecnológico liviano, sin masa, elegir entre las opciones GPP o DLI. La inercia térmica (I) de un sistema tecnológico depende directamente de la **conductividad térmica**, la **densidad** y el **calor específico** de los materiales intervinientes. Los materiales masivos y densos tienen capacidad de acumulación de calor, en los livianos es prácticamente despreciable. Como las condiciones de temperatura exteriores son fluctuantes a lo largo del día, el comportamiento de los sistemas tecnológicos con masa tiende a amortiguar el efecto de los picos de máxima y mínima, acercando los valores a las medias diarias de manera sostenida en el tiempo, estabilizando las temperaturas en espacios interiores. La condición moderadora de los sistemas masivos resulta particularmente útil en climas con gran amplitud térmica y en edificios de uso continuo. En la imagen se puede ver una curva sinusoidal de temperaturas exteriores (línea plena) y una curva (trazo y punto) de las temperaturas interiores desplazada temporalmente (retardo térmico) y amortiguada, es decir aproximada a los valores medios (menor amplitud). Esta manifestación es producto de la inercia térmica. Tendrá más retardo y se hará más próxima a la media diaria cuanto más inercia tenga el sistema. Para los materiales de construcción masivos convencionales (piedra, ladrillos macizos, adobe, hormigón, etc.) a mayor espesor involucrado mayor será el efecto inercial. El retardo térmico y la amortiguación pueden calcularse para dimensionar el espesor de la partición opaca según la difusividad del material. A manera de aproximación puede estimarse el retardo para los materiales de construcción convencionales en 1 hora cada 3 a 4 cm de espesor y el amortiguamiento porcentual de 2 horas / retardo. La construcción tradicional convencional, como por ejemplo los sistemas de mampostería de ladrillos macizos, ha ido reduciendo con el paso del tiempo la cantidad de masa involucrada y por tanto la inercia que originalmente era un valor positivo. La disminución de los espesores de muros (recordar que la construcción en la colonia los muros de carga eran de 60cm o más) hace que las paredes de ladrillos actuales no superen en muchos casos los 11cm de espesor. El remplazo de muros de ladrillos macizos por ladrillos huecos, la reducción del tamaño de la propia pieza: ladrillo, etc. hace que en muchos casos la imagen (la forma) sea masividad pero la respuesta inercial (materia) no se corresponda.



UNIDAD DIDÁCTICA: INTERCAMBIOS HIGROTÉRMICOS 2

CAPA [1]	e [2]	$\lambda$ [3]	R [4]	t [5]
Nº	m	W / m K	m <sup>2</sup> K / W	°C
AIRE INTERIOR	-	-	-	18,000
1 RESIST. SUP. INT.	-	-	0,170	15,370
2 Revoque interior	0,015	1,160	0,013	15,170
3 Mampostería de ladrillo (cerámico hueco)	0,080	-	0,230	11,612
4 Barrera de vapor (pintura asfáltica)	-	-	-	11,612
5 Cámara de aire (sin ventilar)	0,040	-	0,160	9,136
6 Mampostería de ladrillo (cerámico común)	0,130	0,812	0,160	6,659
7 Aislante liviano	0,020	0,035	0,571	-2,181
8 Revoque exterior	0,015	1,160	0,013	-2,381
9 RESIST. SUP. EXT.	-	-	0,040	-
AIRE EXTERIOR	-	-	-	-3,000
TOTAL	-	-	1,357	21,000

MURO EN ESCALA DE RESISTENCIAS TÉRMICAS y LINEALIZACIÓN DE LAS TEMPERATURAS

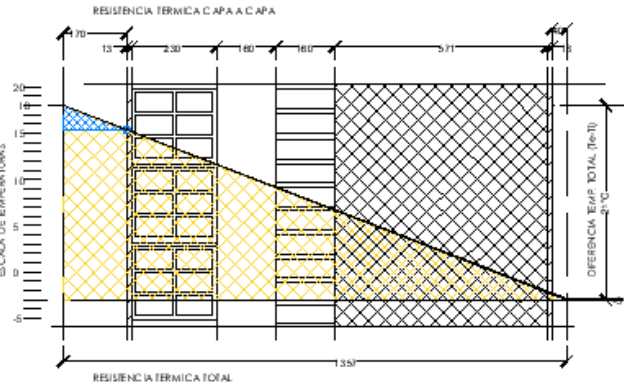


TABLA 4 a Planilla de calculo. Para verificar riesgo condensación Superficial e intersticial.

Pueden ahora compararse 2 triángulos semejantes, el correspondientes a los totales (del que se conocen los 2 catetos: diferencia total de temperaturas y resistencia térmica total) dibujado en amarillo y el azul, del que se conoce la resistencia de la capa en análisis y queda como incógnita la diferencia de temperatura que produce su resistencia.

La ecuación quedaría entonces:

$$Rt/(te-ti)=Rsi/X.... \text{ Luego } X= Rsi*(te-ti)/Rt .... X= 0,170m^2K/W*(18^{\circ}C-(-3^{\circ}C))/1,357m^2K/W .... X=2,6^{\circ}C$$

Como la temperatura interior es de 18°C, la temperatura superficial de la partición (por efecto de la resistencia pelicular interior Ri) es .... 18°C-2,6°C=15,4°C. En la planilla propuesta por IRAM como ejemplo indica como valor 15,370°C, es decir indica con una precisión que parece excesiva para el método de cálculo.

Para continuar con la determinación de las temperaturas entre las capas siguientes se extiende el método de triangulación semejante comparando siempre entre el triangulo total y el que resulta por la acumulación de las resistencias térmicas de la pelicular interior y la de la primer capa material (Rsi+R1). En este caso R1 es revoque interior (R1=0,013m²K/W).

Así el siguiente paso quedaría:

$$Rt/(te-ti)=(Rsi+R1)/X.... \text{ Luego } X= (Rsi+R1)*(te-ti)/Rt .... X= (0,170m^2K/W+0,013m^2K/W)*(21^{\circ}C)/1,357m^2K/W .... X=2,8^{\circ}C$$

$$18^{\circ}C-2,8^{\circ}C=15,2^{\circ}C$$

Por tanto la temperatura entre la capa 1 de revoque y la pared de ladrillos huecos está a 15,2°C. Nótese que el valor calculado de temperatura entre capas (en este ejemplo 15,170) se ubica en una casilla intermedia entre las capas.

Y continua el mismo método va bajando la temperatura.

Si en lugar de realizar el cálculo de riesgo superficial se hiciera el de intersticial, recordamos nuevamente incluir en lugar de Rsi=0,170m²K/W, colocar el valor de Rsi=0,130m²K/W.

## UNIDAD DIDÁCTICA: GEOMETRÍA SOLAR

### PROYECCIONES

TRAYECTORIA APARENTE DEL SOL EN EL CIELO DEL HEMISFERIO NORTE

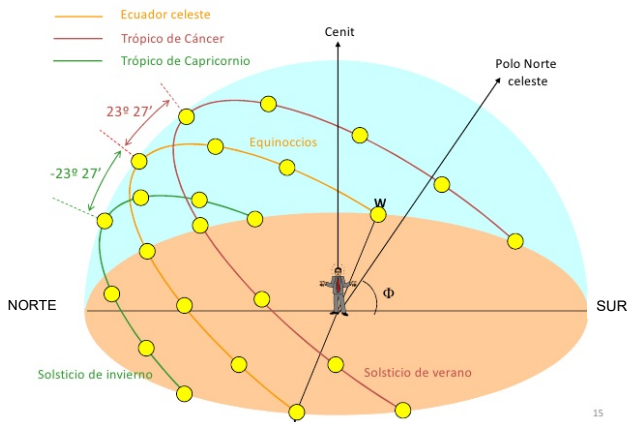


Imagen de recorridos en la bóveda de cielo local.  
Recorrido aparente del proyectados sobre plano vertical.  
Diagrama Rectangular

Fuente imagen: Geometría solar./ Proyecciones de cielo. Dr. Arq. Elio Di Bernardo

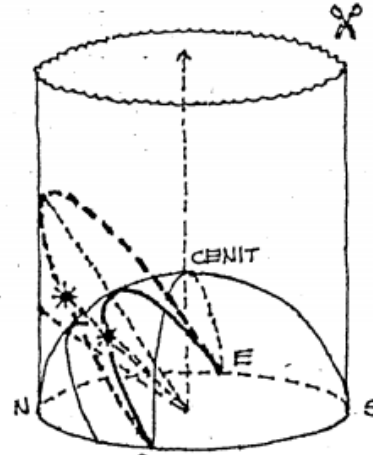
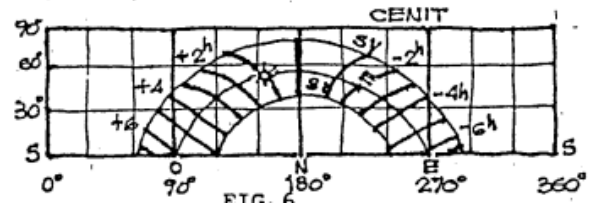


FIG. 5



Hasta aquí se indicaron los movimientos del sol descritos sobre una bóveda tridimensional. La conveniencia operativa de trabajar sobre modelos bidimensionales requiere la proyección de estos recorridos a un plano. En FAPyD operamos sobre dos modelos de proyección, en la bibliografía pueden aparecer otros con lógicas similares.

Presentaremos dos proyecciones: **Diagrama Rectangular (DR)** o *Proyección cilíndrica de almicanaradas equidistantes*, que responde a la misma proyección con que se componen los mapas planisferios de uso escolar y la segunda *proyección gnomónica horizontal* conocida como **Cuadrante solar horizontal (CSH)**.

El DR corresponde a una proyección sobre una pantalla vertical cilíndrica (Figura 5). La pantalla de proyección tiene la base dispuesta sobre el círculo de horizonte. Desde el foco ubicado al centro de la semiesfera se proyecta sobre el plano curvo de la pantalla los recorridos solares. En la figura se indica la proyección correspondiente al equinoccio.

Una vez dibujados las proyecciones de los recorridos se “corta” por el sur el cilindro y se despliega (tijera indicada en la figura).

En la construcción de este diagrama desplegado luego se “acomodan” los ángulos de altitud de manera que la escala de incremento se mantenga lineal, equidistantes. Para ejemplificar este punto nótese: sobre el acimut norte, que la proyección del ángulo de  $h=10^\circ$  será proyectado sustancialmente más chico que los  $10^\circ$  que van de  $h=70^\circ$  a  $h=80^\circ$ . Por este motivo para que la gráfica del DR quede con un lenguaje más claro de interpretar se deforma (comprimiendo) en los ángulos superiores. Esta deformación tiene la misma lógica que la de los mapas del planisferio, donde la gráfica extendida (muy deformada) que tiene Antártida como casquete polar es muy extraña. Esta proyección recibe la denominación por este “ajuste” de las  $h$  como: *de almicanaradas equidistantes*.

En la imagen inferior aparecen indicados los recorridos solares. Con salida y puesta desde la línea de horizonte en sus  $360^\circ$ , de sur a sur, sus diversos recorridos en SI, Equinoccio y SV, y el punto cenital convertido ahora en una línea a  $90^\circ$  de altitud.

La gráfica de los recorridos es naturalmente simétrica, espejada según el meridiano local que secciona a este y oeste los dos cuartos de la semiesfera Norte-Cenit-Sur.

Aparecen también unas curvas transversales a los recorridos solares correspondientes a las horas, antes de mediodía solar (negativas, del norte al este) y pos mediodía solar (positivas, del norte al oeste).

## UNIDAD DIDÁCTICA: GEOMETRÍA SOLAR

### PROYECCIONES

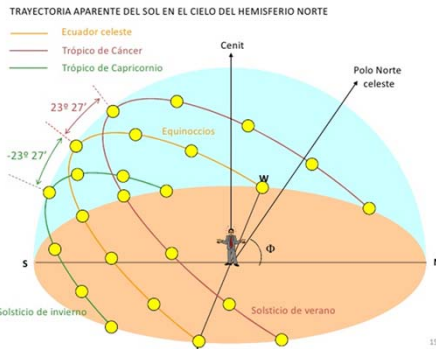
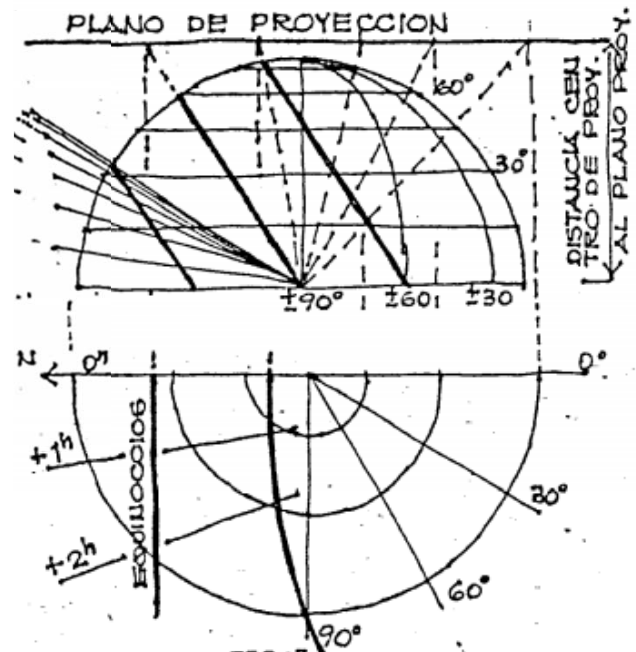


Imagen de recorridos en la bóveda de cielo local.  
Recorrido aparente del proyectados sobre plano vertical.  
Diagrama Rectangular

Recorrido aparente del proyectados sobre  
Plano de proyección horizontal.  
Cuadrante solar horizontal.

Fuente imagen: Geometría solar./ Proyecciones de cielo. Dr. Arq. Elio Di Bernardo

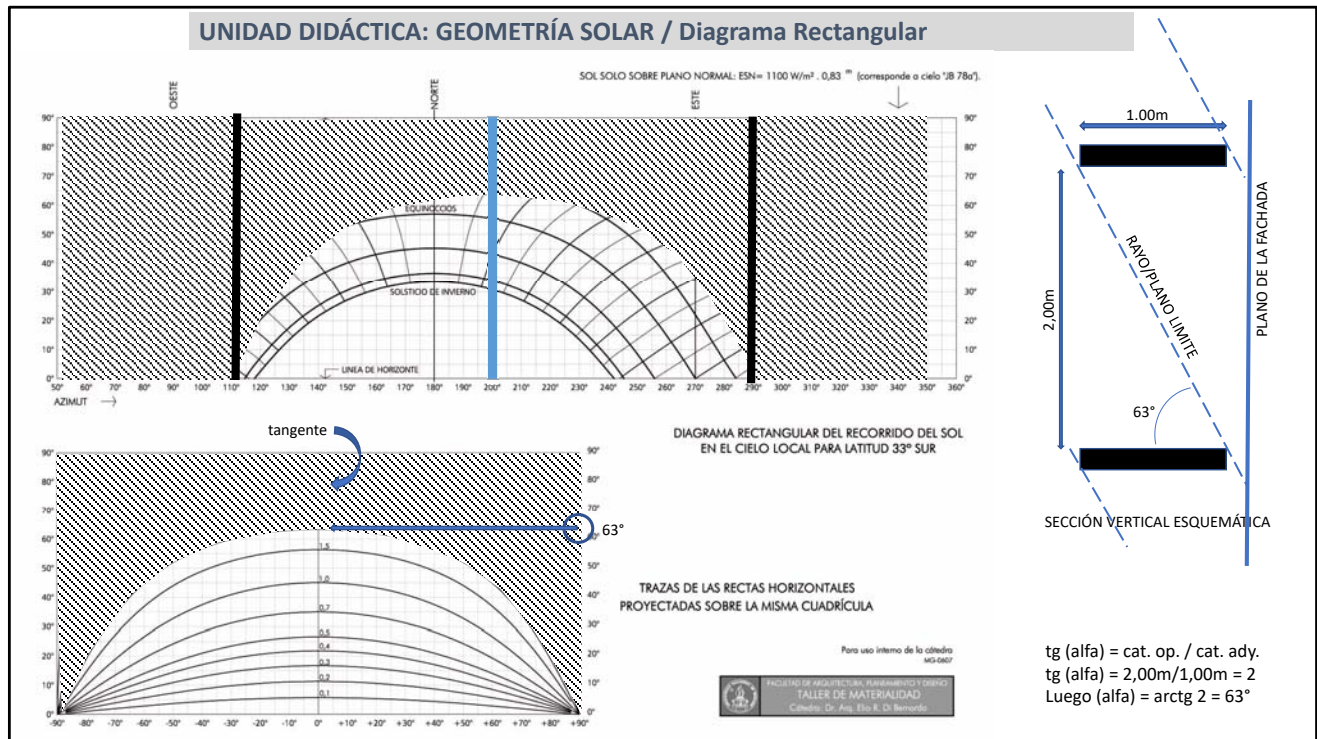


La segunda proyección es una proyección sobre plano horizontal: **Cuadrante solar horizontal (CSH)**. Tal como indica la figura se ubica un plano de proyección donde dibujar los recorridos del sol indicados sobre la semiesfera original.

La ubicación de la pantalla define la escala de proyección, que en el CSH se denomina altura del punto P, resultante de la distancia entre el foco (ubicado en el centro de la semiesfera) y la pantalla de proyección. Naturalmente cuanto más distante sea P, más grande será el diagrama resultante. El punto P o distancia de proyección es útil para determinar algunas proporciones que se verán más adelante.

En la imagen de esta diapositiva se puede ver arriba la semiesfera desde una vista lateral, desde el oeste. Como el punto de fuga es co-planar con la gráfica del recorrido aparente del sol en equinoccio (en la imagen coincide), la proyección da una recta, que se grafica en el medio CSH que está debajo. En la misma gráfica inferior (medio CSH) también aparece indicado el recorrido del solsticio de verano y se dispusieron las líneas auxiliares como para proyectar el del solsticio de invierno. Nótese que en el medio CSH (inferior) aparecen también indicadas las líneas horarias. Es decir se puede precisar mes a mes y hora a hora el recorrido aparente del sol. La única salvedad limitante de este diagrama es que solo grafica los movimientos a partir que el sol tiene más de 10° de altitud, ya que para dibujar la proyección del sol al momento de salida o puesta requeriría un plano de proyección de tamaño infinito.

La ventaja de trabajar sobre imágenes planas tanto en el CSH como en el DR es que es posible diseñar mediante la superposición con estas graficas las geometrías de aleros de aletas horizontales o verticales y comprender en la totalidad que soles tapa y cuales no. El análisis de situaciones de protección instantáneas no es conveniente porque como ya sabemos el sol se mueve y la resolución debe cubrir más que un simple momento. Contemplar la situación de soles lateralizados, o bajos es necesario para asegurar condiciones interiores si se desea controlar la incidencia solar.



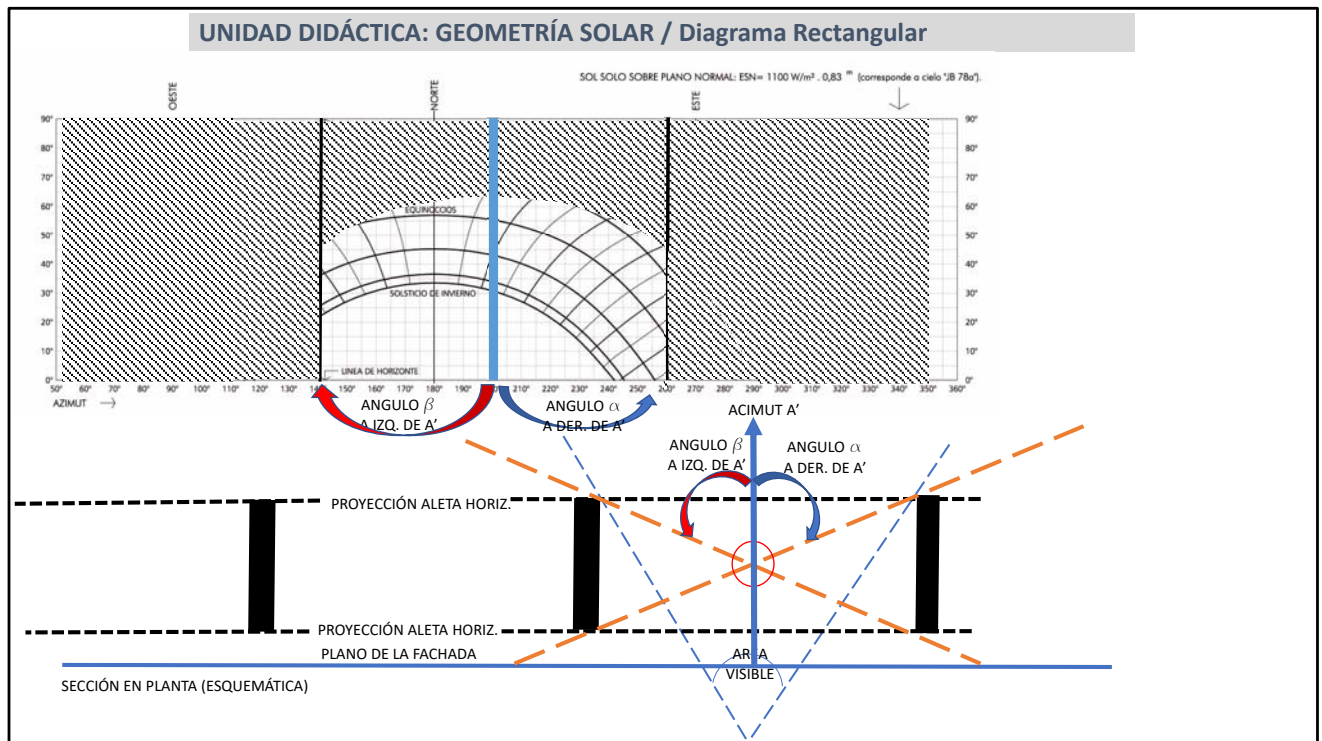
Ejemplo de un ejercicio sobre el ocultamiento que produciría una serie de aletas horizontales (“infinitamente largas”) de 1m de profundidad y separadas 2m entre cada una de ellas, sobre una fachada de acimut 200°.

1. Indica en el DR el Azimut 200°.
2. Se determina el Plano de fachada (90° a derecha e izquierda del azimut), que tiene por delante cielo visible y el ocultamiento por detrás.
3. Quedan determinados los límites del cielo visible del plano de fachada.
4. Se analiza una sección (gráfica auxiliar) en corte de las aletas, dibujada de acuerdo a la separación y profundidad.
5. Se determina el rayo límite mediante el ángulo (pendiente en línea de trazo azul) o por la tangente, que surge de la unión de las aristas entre las aletas que marcan la frontera entre la posibilidad de ver hacia afuera o por superposición de aletas no ver hacia afuera.
6. Se hace la búsqueda en las trazas auxiliares de la curva más próxima del ángulo conseguido (o mediante el uso de la tangente del ángulo). Para aumentar la precisión puede buscarse la curva intermedia por interpolación entre las próximas.
7. Esta curva determina el límite de cielo visible y no.
8. Se traslada la traza curva auxiliar al DR, haciendo coincidir para el traslado el 0° de las trazas auxiliares con el azimut sobre el horizonte en el DR.
9. La trazas combinadas de ocultamiento permiten ver el cielo no visibles de la fachada analizada con las aletas y la zona liberada indica los cielos (con o sin sol) que tendrán visibilidad parcial (ya que las aletas proyectarán zonas de sol y sombra en esa área).

Si se mantiene la pendiente del rayo límite (plano límite), cualquier configuración de aletas que responda a esa rayo asegura el ocultamiento indicado.

Esto quiere decir que una vez definido el ocultamiento en el DR, la configuración de aletas puede ser muy variada. El diseño queda por tanto geoméricamente liberado (con las restricciones antes apuntadas: mantenimiento del rayo límite y aletas extensas) permitiendo intervenciones propositivas

múltiples.

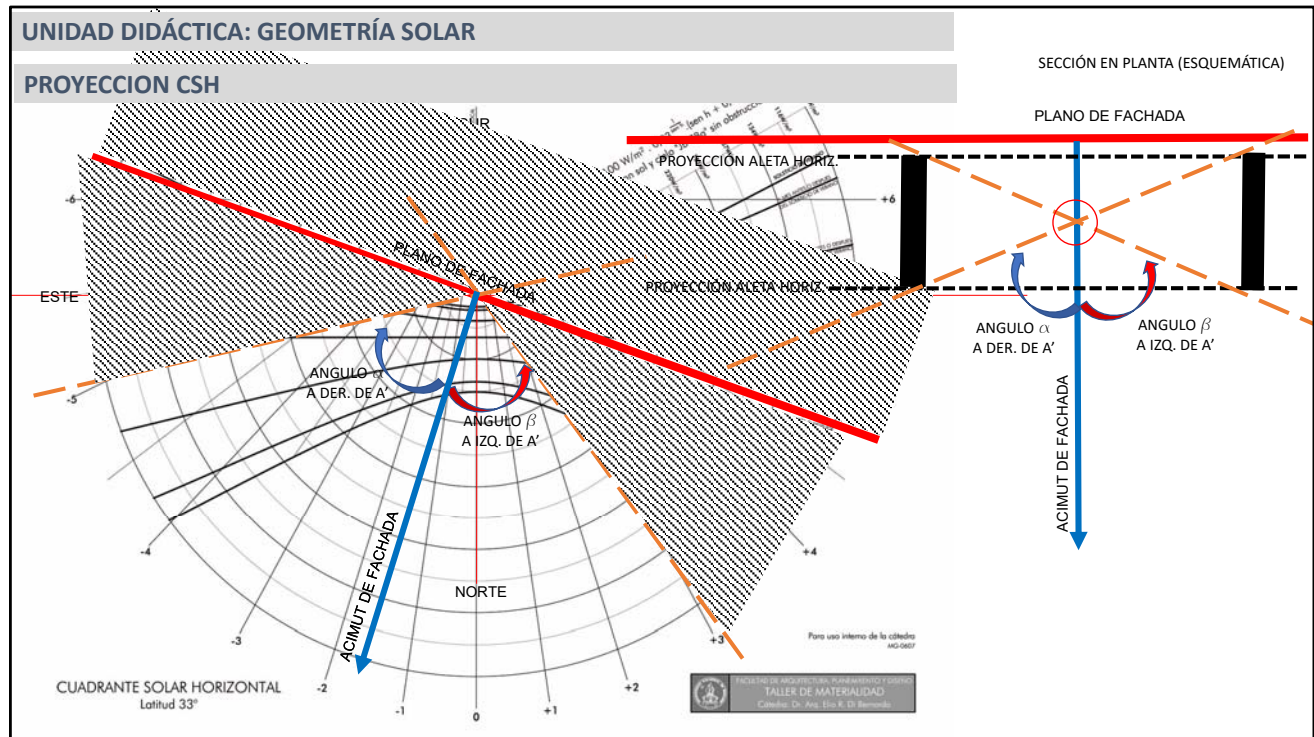


Para incluir el ocultamiento que producen aletas verticales frente a un plano de fachada se presenta la imagen superior, completando las obstrucciones ya generadas.

En la grafica accesoria inferior esquematizada en planta, supongamos un observador ubicado entre dos aletas verticales: tiene un cielo visible por delante y la aleta de la derecha bloquea cielos a derecha (más próximos al plano de fachada) y la aleta de la izquierda hace lo propio hacia el lado opuesto (indicado como "área visible").

La gráfica del ocultamiento de aletas verticales sobre el DR se basa en el mismo principio que con aletas horizontales: encontrar los rayos o planos límite, en este caso mediante el esquema en planta.

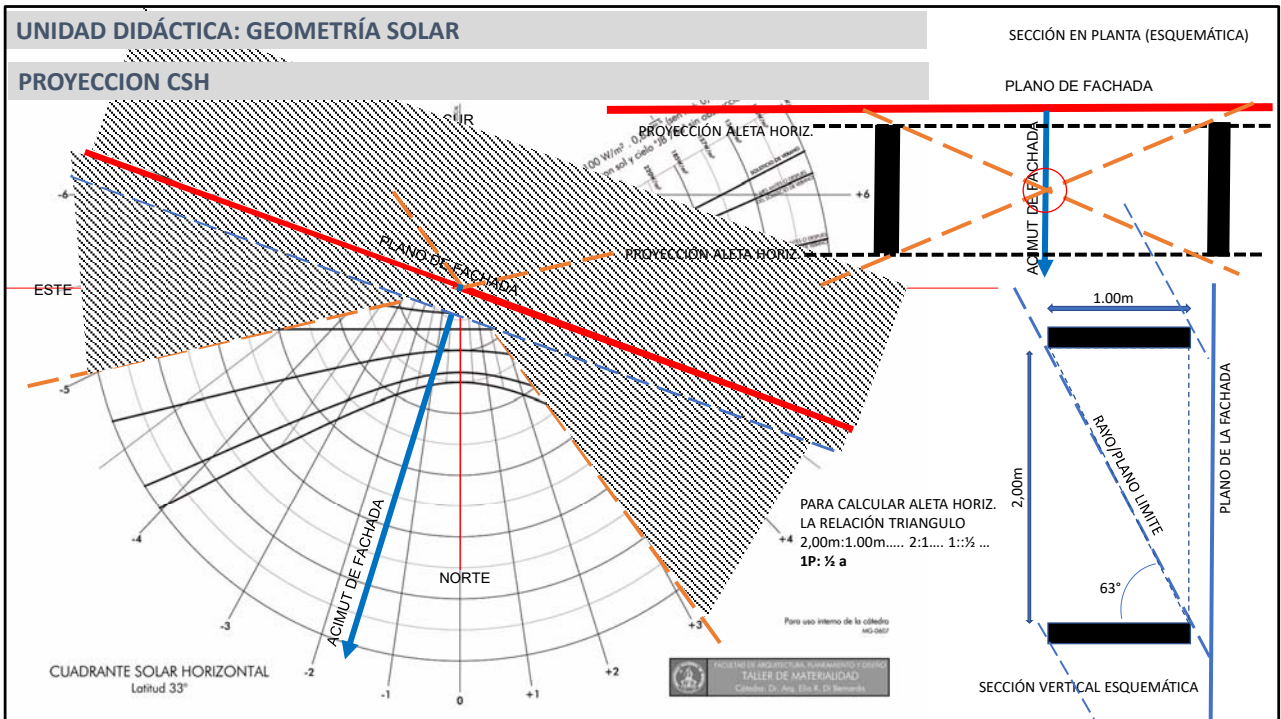
1. El observador se desplaza a derecha hasta que la arista interna de la aleta cercana es coplanar con la arista externa de la aleta próxima, encuentra el rayo límite a derecha (línea de trazos rojos).
2. Queda indicado el plano límite (en líneas de trazo rojo). A partir de ese plano aunque el observador se desplace más a la derecha ya no podrá ver más cielos a su izquierda, ya que una aleta se superpone con la siguiente en la línea visual.
3. Se repite el mismo proceso de desplazamiento ahora a izquierda para determinar el segundo plano límite (línea trazos en rojo).
4. Por donde crucen ambos planos se posiciona e indica el acimut de la fachada.
5. Se mide el ángulo desde la línea de azimut al plano límite de derecha. En la imagen denominado "alfa".
6. Sobre el DR se traslada ese ángulo "alfa" del azimut hacia la derecha y se indica el plano limite (línea negra a "alfa" grados a la derecha del azimut).
7. Se repite el proceso a izquierda con el ángulo "beta" y se traslada al DR.
8. Los planos de aletas verticales bloquean los cielos que se ubiquen a derecha e izquierda de esas líneas negras ( a "alfa" y "beta" del acimut). Estos son ahora los nuevos límites laterales.



La técnica para proyectar sobre el CSH aletas responde al mismo principio general.

Aquí, se inicia con aletas verticales, indicadas en la gráfica adjunta de planta mediante los rectángulos negros.

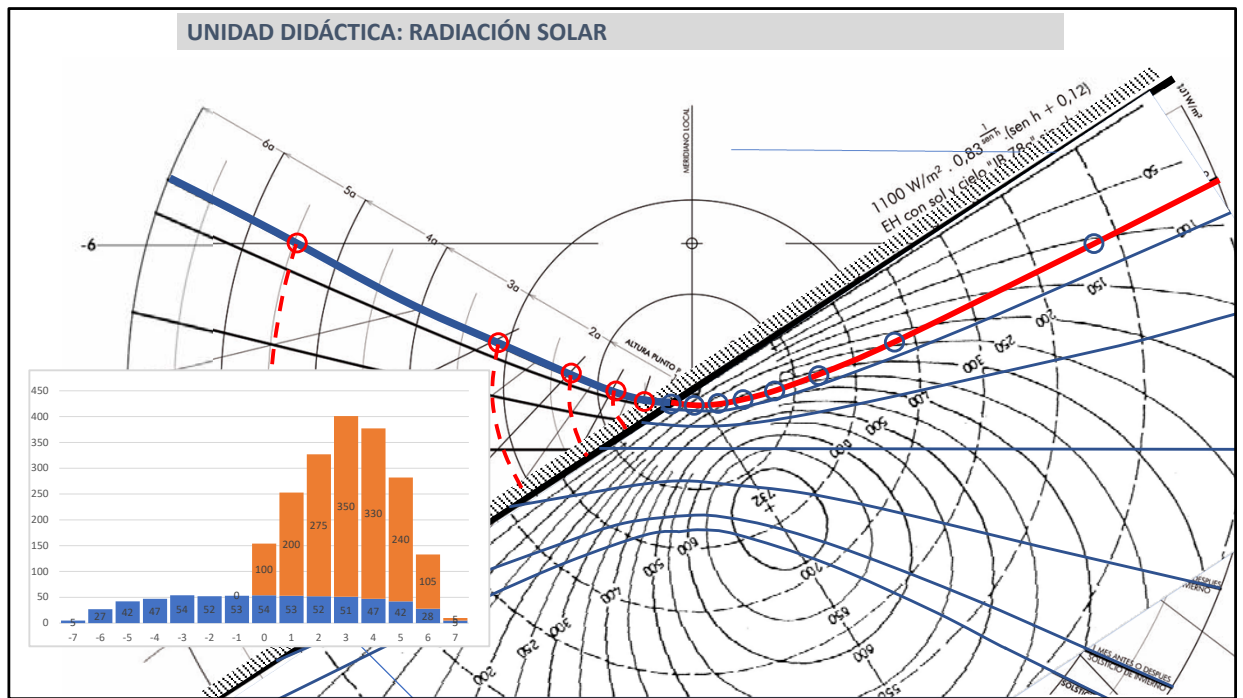
1. Se indica sobre el CSH la fachada en cuestión ubicada según el acimut correspondiente.
2. Queda presentado una zona visible por delante y no visible detrás.
3. Mediante una grafica accesoria de la planta de la fachada se indican las relaciones proporcionales de las aletas verticales.
4. Se trazan los rayos límites entre las aristas de las aletas verticales.
5. En el cruce de los rayos límites se ubica la línea azimutal.
6. Se miden los ángulos resultantes a derecha e izquierda del azimut y los rayos límites.
7. Se trasladan esos ángulos al CSH a derecha e izquierda del azimut.
8. Queda así definido el límite de cielos no visible a derecha e izquierda de los rayos indicados en el CSH.



Si finalmente la grafica corresponde a un sistema de aletas verticales y horizontales con las proporciones indicadas en las graficas de planta y corte el ocultamiento es el finalmente indicado en el CSH. A derecha e izquierda del observador (la fachada) por las aletas verticales y paralelo a la fachada por la aleta horizontal.

En este ejemplo la profundidad de las aletas es la misma, pero no es necesario. La configuración dimensional debe respetar las proporciones, las dimensiones y elecciones materiales son independientes.





Se presenta finalmente una ampliación del proceso superpuesto el EV sobre el CSH para el caso del solsticio de verano.

Queda entonces analizar las condiciones de asoleamiento y radiación.

Aquí, en este ejemplo, se trata de una fachada orientada al noroeste. Por tanto recibirá radiación solar directa por la tarde.

En realidad, por el azimut de la fachada, estará insolado a partir de las -1.00h, es decir desde una hora antes de mediodía.

Cabe entonces analizar dos condiciones:

- las horas antes de las -1,00h donde la fachada estará recibiendo solo irradiación de bóveda (o "iluminación difusa"), y
- Las horas posteriores a la s-1,00h donde recibe irradiación directa+difusa.

Como la gráfica adjunta presenta ambas radiaciones (directa y difusa), se compone una tabla de irradiaciones hora a hora. La gráfica de barras de esta fachada en particular cargada en Excel da la imagen inferior izquierda.

En barras celeste se indica la radiación difusa y en naranja la directa de sol. Nótese que el pico de radiación ocurre próximo a las +3,00h de la tarde producto del efecto angular de soles bajos en posición más normal (perpendicular) al plano de fachada. Si bien a las +3,00h atraviesa mas masas atmosféricas que a MDS (mediodía solar) la incidencia mas rasante (tangencial) hace que disminuya el efecto radiante sobre la superficie vertical de fachada.

En este ejemplo se comienza a ver la dificultad que conlleva los ventanamientos oeste en verano, cuando el momento de pico de radiación solar sobre la superficie se superpone al pico térmico del aire exterior.

### UNIDAD DIDÁCTICA: RADIACIÓN SOLAR

Programas de simulación numérica: SOLO PARA ROSARIO (LATITUD 33) / Arq. Marcelo Graziani

PLANILLA DE CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR PARA LA CIUDAD DE ROSARIO 2022

INDICACIONES PARA EL USO		Plano elegible 1		Radiación total en W/m <sup>2</sup>											
Elegir de desplegable		Azimut:	100	hora	Norte	Noreste	Este	Suroeste	Sur	Suroeste	Oeste	Noroeste	Horizontal	Elegible 1	Elegible 2
Escribir dato		Inclinación:	30	-8											
Día de cálculo		Plano elegible 2		-7	2	67	190	204	99	2	2	2	5	2	2
Mes	Día	Azimut:	100	-6	36	107	367	354	154	36	36	36	119	48	39
Enero	1	Inclinación:	60	-5	77	326	529	468	178	77	77	77	291	212	97
Tipo de cielo: Claro		Inclinación: Valor entre 0° (Horizontal) y 90° (Vertical)		-4	122	451	638	522	172	122	122	122	505	429	270
Albedo: Vegetación 0,25		Hora aproximada medida solar: 13:00:00		-3	186	533	664	504	166	166	166	166	731	665	466
Plano a comparar 1: Norte				-2	294	546	597	418	203	203	203	203	929	877	645
Plano a comparar 2: Horizontal				-1	370	482	445	291	228	228	228	228	1065	1024	770
				Media anual	388	350	236	236	236	236	236	350	1114	1077	895
				+1	370	228	228	228	228	281	445	482	1065	1024	770
				+2	294	203	203	203	203	418	597	546	929	877	645
				+3	186	166	166	166	166	504	664	533	731	665	466
				+4	122	122	122	122	122	522	638	451	505	429	270
				+5	77	77	77	77	178	468	529	326	291	212	97
				+6	36	36	36	36	154	354	367	187	119	48	39
				+7	2	2	2	2	99	204	190	67	5	2	2
				+8											

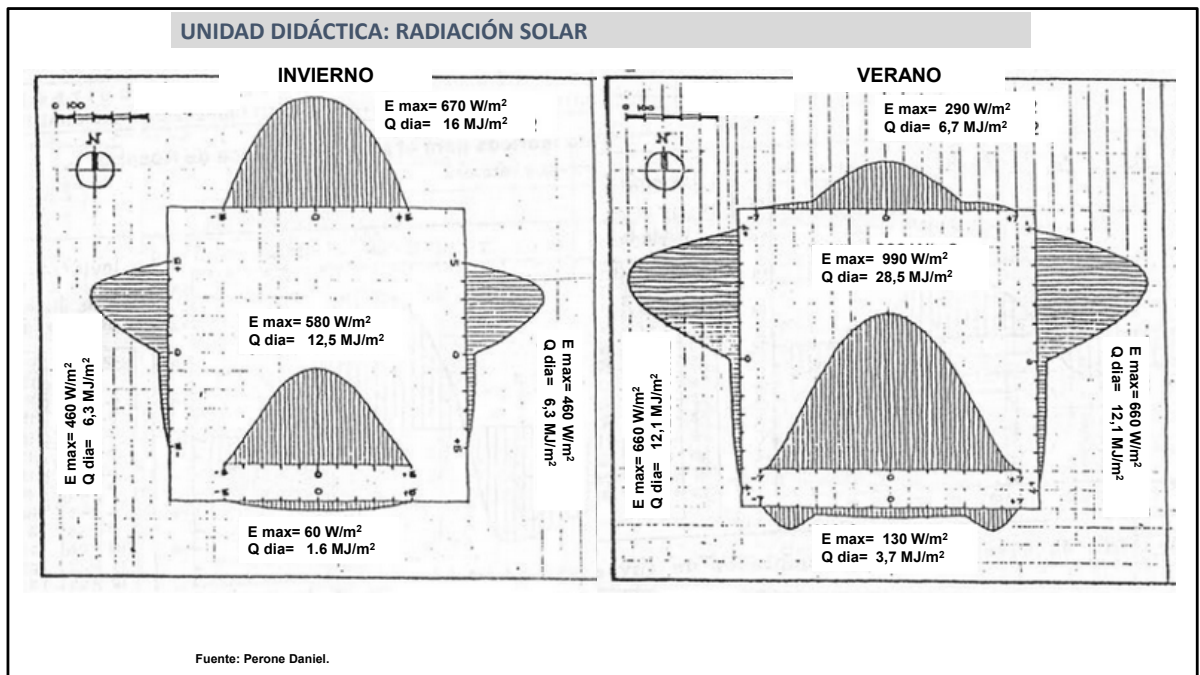
Radiación solar: directa-difusa-reflejada-total

Radiación solar: directa-difusa-reflejada-total

CÁTEDRA: MATERILIDAD - Arq. D. Perone - FAPyD - UNR Para uso interno de la Cátedra Autor: Arq. Marcelo Graziani - Consultas: mgrazian@unr.edu

Como ya se indico existen varios modelos de cálculo para irradiación. Éste corresponde a una simulación asistida por computadoras mediante una planilla de calculo Excel donde se cargaron las ecuaciones para una Latitud como la de Rosario (Latitud 33°). El Arq. Marcelo Graziani, autor de esta simulación, permite mediante este modelo direccionado a Rosario minimizar la carga de datos y cuantificar la radiación incidente directa (sol) y por bóveda (difusa) para diversos planos. Las graficas inferiores discriminadas (sol y bóveda) permiten apreciar a simple vista la acumulada diaria para diferentes planos en distintos días del año y percibir con claridad el efecto solar incidente (térmico especialmente).

## UNIDAD DIDÁCTICA: RADIACIÓN SOLAR



Esta imagen resumen muestra para las cuatro fachadas tipo: Norte, Sur, Este y Oeste + plano horizontal de cubierta, la irradiación total en los solsticios de invierno y verano.

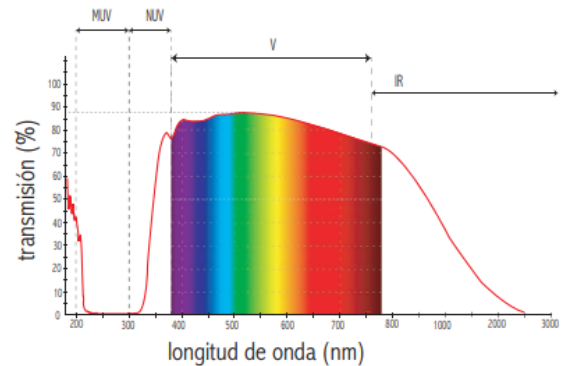
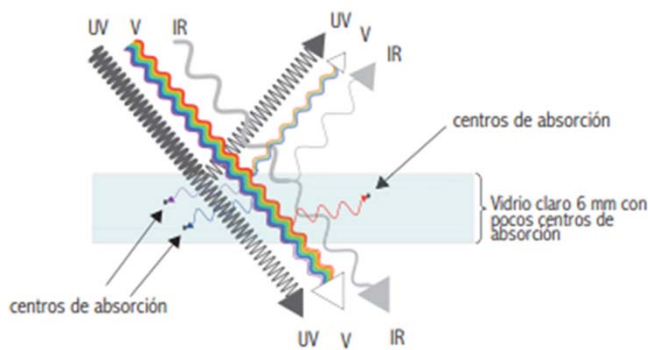
Resulta útil la comparación visual, ya que el área descrita por la irradiación representa la magnitud del aporte en las dos condiciones límites por metro cuadrado, en verano cuando la irradiación es térmicamente un problema y en invierno lo opuesto. Por ejemplo, la decisión de ubicar ese m<sup>2</sup> en análisis de superficie transparente significara ingreso de energía al local y de una lectura rápida se desprende:

- En verano:
  1. Si se ubica en cubierta horizontal (ventana cenital)... carga térmica de verano 28 MJ a lo largo del día. Como cálculo grueso se puede inferir que se requerirán 900/1000 frigorías de aire acondicionado por cada m<sup>2</sup> de superficie transparente de techo para solo sacar la carga térmica de pico (1000 W/m<sup>2</sup>) de ese origen.
  2. si se ubica en el oeste, el pico de radiación (970 W/m<sup>2</sup>) es sincrónico además con el pico térmico del aire ambiente y resultará una sobrecarga a considerar.
  3. Las fachadas norte y la sur inicialmente parecen menos complejas para resolver.
- En invierno:
  1. La fachada norte presenta el recurso potencial solar de mayor valor (incluso mayor que el de plano horizontal de cubierta). Esta condición favorable se suma a la posibilidad de controlar la carga de verano en esta fachada.

El análisis de las condiciones de cada fachada se debe analizar conjuntamente: verano e invierno, considerando los potenciales favorables y las dificultades para controlar el impacto negativo, es decir como hacer para que las ganancias térmicas se produzcan en invierno y se controlen en verano desde el diseño arquitectónico.

$$H = \left[ \frac{\Delta T}{R_T} + \frac{E \alpha R_e}{R_T} + \frac{E \tau}{R_T} \right] A_n$$

(temperatura del aire)
(sol absorbido)
(sol transmitido)



**El tercer término de la suma modela la envolvente transparente, a partir del efecto de la Irradiación solar, y la transmitancia espectral de la superficie transparente.** Aquí, la Irradiación es nuevamente la variable fundamental. De hecho si la superficie no recibe radiación solar  $E=0$ , todo el término desaparece  $=0$ , y si fuese el análisis de una superficie opaca  $\tau=0$  y el término desaparecería también. Es decir, el tercer término de la sumatoria solo computa si recibe radiación sobre superficie transparente. Nuevamente la orientación del plano es sustantiva, a partir de la variabilidad de radiación incidente para distintos planos y ciertamente esto es decisión proyectual. Más aun en el caso de superficies transparentes, por el efecto “invernadero” al que están sometidos las superficies vidriadas, ya que la fracción de energía que ingresa es en planos semitransparentes con irradiación solar es proporcionalmente muy alta.

En las imágenes inferiores se ve el efecto de la radiación solar sobre un vidrio claro común para diferentes longitudes espectrales: ultravioleta: UV, visible: V e infrarrojo: IR.

En general los vidrios comerciales son parcialmente opacos al UV y algo menos al IR cercano. Mientras que el comportamiento a la radiación visible tiene un rango de transmisión muy alto (80 al 90%) y casi constante. La alta transparencia del vidrio en la radiación incidente visible permite el ingreso de esa energía. Los cuerpos en el interior del local al recibir esa energía aumentan su temperatura y emiten energía radiante. En la longitud de onda correspondiente a la temperatura de los cuerpos interiores el vidrio se comporta como una superficie opaca y no permite que la energía salga, este efecto lleva el nombre de “efecto invernadero”.

La incidencia de las superficies transparentes en el balance térmico tanto de verano como invierno es muy importante, en este tercer sumando como ganancia térmica por “sol transmitido” para orientaciones de alta radiación solar y en el primer sumando por “pérdidas” al tener una resistencia térmica total  $R_T$  muy bajo. Esta importancia en el balance global obliga a ajustar las dimensiones, tipo de vidriado (múltiples capas o coating), posiciones relativas y el diseño de protecciones de las áreas vidriadas en climas con veranos cálidos como los de Rosario.

## UNIDAD DIDÁCTICA: CALOR

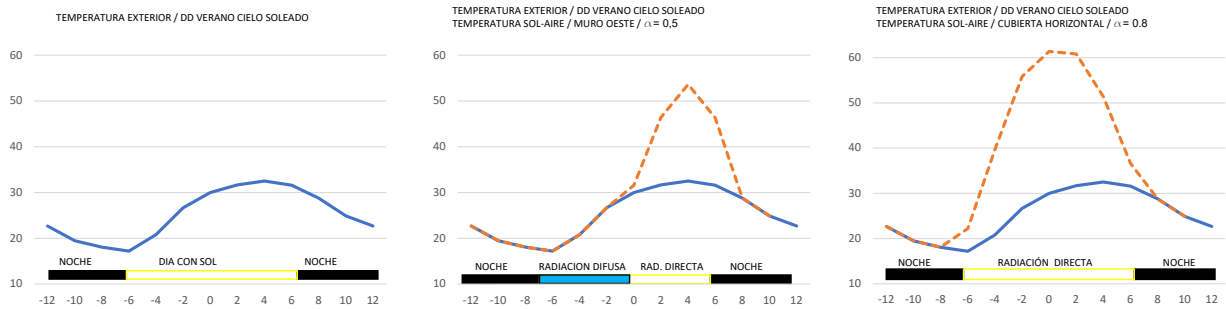
$$H/A = (\Delta T / R_T) + (\alpha E Re / R_T) + (\tau E)$$

$$H/A = (T_e - T_i) / R_T + (\alpha E Re / R_T) + (\tau E)$$

.... Entonces:  $T_{sa} = T_e + \alpha E Re$

$$H/A = (T_{sa} - T_i) / R_T + (\tau E) \dots\dots\dots \text{en superficies. transparentes}$$

$$H/A = (T_{sa} - T_i) / R_T \dots\dots\dots \text{en paneles opacos}$$



En el cálculo de paneles de intercambio térmico por unidad de superficie H/A en envolvente opaca y de transparente, el algoritmo queda expresado por la sumatoria indicada como primer línea.

Si sobre esta ecuación se toman las variables indicadas en azul (segunda línea) podremos describir la temperatura como una combinación de la exterior del aire más el efecto de la radiación incidente, considerando además la absorción superficial y la resistencia pelicular externa. Esta nueva “temperatura virtual” (no real, no medible) se denomina **temperatura sol-aire** que relaciona los indicados en azul.

Por tanto la temperatura sol-aire resultante es una idealización matemática que reúne dos condiciones físicas combinadas, que permiten vincular el efecto de la radiación solar directa y las temperaturas exteriores cuando la energía solar incide en particiones. Es decir reúne el efecto de intercambio “por aire” y por “absorción solar” de manera conjunta.

La cuarta línea presenta finalmente el intercambio térmico (flujo) por unidad de superficie a partir de la determinación (directamente proporcional) de la temperatura sol-aire (exterior), la temperatura de diseño interior y la resistencia total de la partición transparentes (inversamente proporcional).

En la quinta línea se presenta el intercambio (más usado) en caso de cerramientos opacos, donde la “transmisión directa” no es posible, ya que  $\tau=0$ .

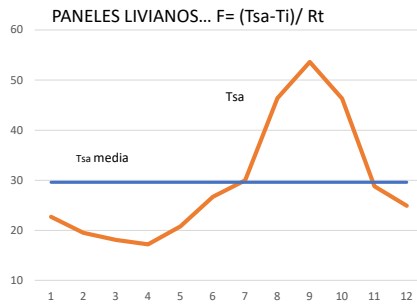
El uso de la temperatura sol-aire permite considerar el efecto de la radiación solar combinado con el intercambio por diferencias de temperaturas del aire exterior e interior.

Por ejemplo, consideremos el intercambio térmico sobre un muro de cerramiento opaco liviano (pintado con un color de absorción 50%) orientado al oeste, en un día de diseño (DD) de cielo claro (JB78a) de verano. En la imagen inferior izquierda se ve la evolución de  $T_e$  para el DD. Tal como vimos esta superficie estará recibiendo radiación difusa todo el día y solar directa a partir de las 0h hasta el ocaso (sin obstrucciones). Si se calculara el  $T_{sa}$  hora a hora, se producirá un importante incremento a partir del momento donde la radiación solar directa comience a incidir sobre el panel, tal como indica la figura inferior derecha.

Nótese, que mientras la radiación solar directa no incide sobre el panel analizado, se considera  $E=0$  (no se computa la difusa) y por tanto durante la mañana o la noche  $T_{sa}=T_e$ , ya que el segundo sumando de la ecuación de  $T_{sa}$  ( $\alpha \cdot E \cdot Re=0$ , ya que  $E=0$ ).

En los casos en que el color de las superficies expuestas tenga una absorción mayor (tejas negra o cerámica roja, por ejemplo) el efecto de la radiación se incrementará y lo mismo si las superficies están particularmente expuestas por posición relativa (cubiertas planas horizontales). En la última imagen se ve el efecto al calcular la temperatura sol-aire en una cubierta plana horizontal de  $\alpha=0,8$  en verano.

## UNIDAD DIDÁCTICA: CALOR



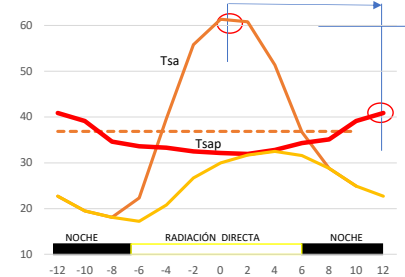
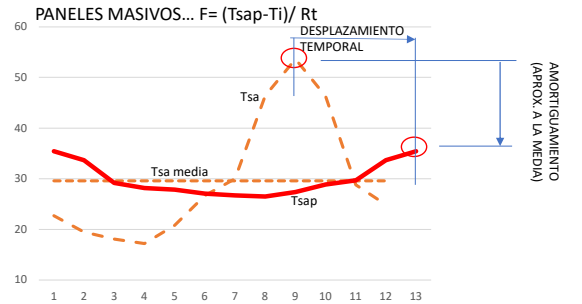
TEMPERATURA SOL-AIRE / VERTICAL OESTE /  $\alpha=0.8$   
TEMPERATURA SOL-AIRE MEDIA

DESPLAZAMIENTO  
TEMPORAL

### INERCIA TERMICA

1. RETARDO TERMICO O DESPLAZAMIENTO TEMPORAL ...  
(EN MAMPOST. APROX. 1h CADA 3 a 4cm)
2. AMORTIGUAMIENTO TERMICO HACIA LA MEDIA  
(EN MAMPOS. 2H/ RETARDO)

Ejemplo: MAMPOSTERIA DE 30cm  
RETARDO 30cm/4 .... APROX. 8HORAS.  
AMORT. 2h/8h ... APROX. 25%



Tal como se indico en la diapositiva anterior, se puede entender el intercambio térmico (flujo térmico) interior-externo de manera más ajustada a partir de la Tsa en los casos que la radiación incida sobre la partición en cálculo.

En el caso de un **panel liviano (sin masa térmica)**, el pulso de energía que se inyecta es sin desplazamiento temporal, se considera que la Tsa intercambia con el interior (Ti) de manera conceptualmente instantánea. La interpretación física indica que la cantidad del flujo queda determinada por la resistencia térmica del paramento con efecto prácticamente instantáneo. Se puede decir que **el flujo térmico no tiene desplazamiento temporal**, es decir transfiere en sincronía con los picos térmicos: el flujo será mayor sincrónicamente con el aumento de delta T, hora a hora.  $F = (t_{sa}-t_i)/R_t$ . Tal como indica la imagen superior izquierda, la variación de Tsa acompañará la variación del flujo térmico.

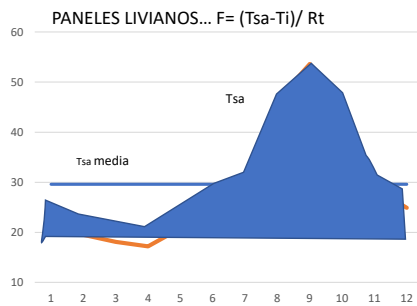
En el caso de un **panel pesado aparece el concepto de inercia térmica**. La inercia produce un **retardo y amortiguamiento del flujo térmico** debido a que la masa toma, acumula y re-entrega energía. El retardo puede estimarse en general para construcción tradicional masiva en 1 hora por cada 3 a 4 cm de espesor de masa de acumulación constructiva. El retardo esta asociado a la difusividad térmica tal como ya vimos en unidades anteriores. El amortiguamiento en general para construcción tradicional se puede aproximar por el coeficiente porcentual  $n=2h/\text{retardo}$ , es decir por ejemplo: para un retardo de 8 horas correspondiente a una pared de ladrillos macizos de 30cm corresponde un amortiguamiento del 25% aproximadamente ( $n= 2h/8h = 0,25... 25\%$ ). Imagen superior derecha para el caso de un panel vertical masivo al oeste y en la inferior para un plano horizontal de azotea también masiva y de mismo espesor.

Tal como se puede ver los números de retardo y amortiguamiento son indicativos y generales, para realizar un balance más ajustado es necesario el uso de modelos más complejos, como los del tipo simulaciones numéricas por ordenadores, del tipo SIMEDIF \*(software libre).

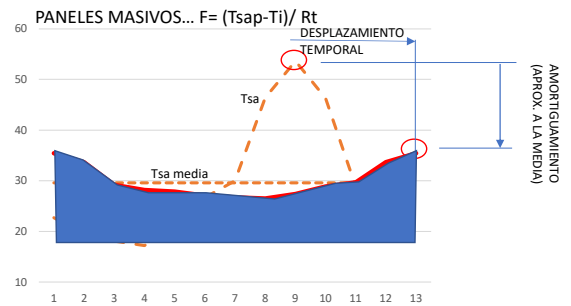
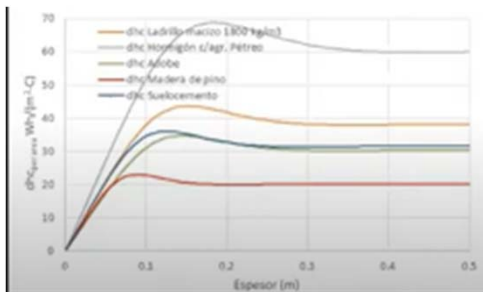
En el caso del análisis simple con superficies compuestas por diversas configuraciones materiales (muro, ventana, puerta, por ejemplo) se puede calcular por el porcentual relativo de superficie ocupada en relación al total y su correspondiente resistencia térmica, que permitiría hallar una resistencia media ponderada.

\*. SIMEDIF, es un programa de simulación térmica detallado producido por el INENCO (Universidad Nacional de Salta).

## UNIDAD DIDÁCTICA: CALOR



FLUJO TERMICO =  $(T_{sa} - T_i) / R$   
Suponiendo una  $R = 1 \dots F = (T_{sa} - T_i)$



FLUJO TERMICO =  $(T_{sap} - T_i) / R$   
Suponiendo una  $R = 1 \dots F = (T_{sap} - T_i)$

MASA TERMICA : PRODUCTO DE DENSIDAD ( $\rho$ ) \* CALOR ESPECIFICO  $C_p$  \* ESPESOR

$$C = \rho C_p L$$

ESPESOR EFECTIVO / CAPACIDAD CALORIFICA DIURNA  
HORMIGON / LADRILLO MACIZO / ADOBE – SUELO CEMENTO / MADERA

Ahora bien, como **comentarios aclaratorios**, el flujo térmico global (acumulado diario promedio) depende numéricamente de la resistencia del paramento considerado y la diferencia de temperaturas exterior-interior. La decisión constructiva (con o sin inercia / con o sin masa) modificará la forma del flujo (temporal).

Es decir, se modifica la forma del flujo hora a hora y no necesariamente el flujo acumulado. La decisión **material inercia o no define la mecánica del intercambio**, la cuantía esta fundamentalmente determinada por la resistencia a ese flujo y las temperaturas.

Conviene a la vez indicar, que cabe considerar para el acondicionamiento térmico en relación a la elección masividad o no, el tipo de uso del local en términos de continuidad. Por ejemplo es usual pensar que una oficina tiene uso discontinuo y una vivienda continuo. Esta consideración del modo de uso en relación al acondicionamiento térmico y el tipo constructivo involucra:

- la **entrada en régimen** es diferente en edificios masivos y no masivos. En edificios masivos o inerciales conseguir la entrada en régimen lleva más tiempo, ya que buena parte de la energía inyectada es absorbida y acumulada en la masa muraria antes de climatizar el aire interior.
- la **carga (o déficit) de climatización de pico**. Una vez que el edificio entro en régimen en las tecnologías pesadas (inerciales) producto de la acumulación en masa, la demanda de pico puede quedar a-mesetada por el efecto de la amortiguación térmica aproximándose a las temperaturas medias.
- **La disponibilidad del recurso energético y la demanda de climatización**. Si se trata de energía solar, la disponibilidad es temporaria, depende de las horas de sol, si la energía inyectada es auxiliar (eléctrica o gas) es continua, pero en ambos casos la consigna ética a contemplar es la de evitar o minimizar pérdidas innecesarias. Es decir considerar las aislaciones requeridas.

La decisión material (masiva o liviana) es en consecuencia la que determina el modo de comportamiento térmico previsto, asociado al destino del espacio (forma de uso: continua o discontinua) y la disponibilidad del recurso energético para acondicionarlo en relación a la demanda, ya sea natural: solar o auxiliar por otras fuentes energéticas: gas, electricidad, etc.

Para la misma condición de incidencia solar y temperatura exterior, la decisión tecnológica masiva o liviana (desde el análisis térmico) queda reducida de manera global a la resistencia térmica. La manera de aumentar resistencia en un sistema masivo es (simplificadamente) aumentar el espesor de manera considerable, ya que en general se trata de materiales de “alta” conductividad. En los sistemas livianos le aumento de resistencia térmica vía materiales ‘aislantes’ es relativamente más simple y con menores espesores ya que cuentan en su propia composición con este tipo de materiales.

**UNIDAD DIDÁCTICA: CERRAMIENTOS**

**ENVOLVENTES LIGERAS o ENVOLVENTES MASIVAS.**

la construcción leve, aislada y servida.  
La habitación-capsula y la casa prefabricada transportable

la caverna y la construcción masiva.  
Las metrópolis actuales: densidad y masividad.

El arquitecto e historiador crítico Reyner Banham planteaba a medios del siglo XX, en un escenario hipotético diferentes formas de habitar humana si el hombre primitivo hubiese optado por el control del fuego en lugar del refugio en la caverna. (ver escrito breve publicado en Summa: “Un hogar no es una casa”) (1).

En este planteo Banham sostiene que el camino elegido en la búsqueda de seguridad, control y protección térmico-lumínico se orientó al refugio en la masividad: la caverna, que desemboca evolutivamente en nuestras ciudades masivas actuales.

Dice Banham, que otro hubiese sido el resultado a partir del manejo de la energía (el fuego). El **manejo de la energía aplicado en envolventes aislantes**, ligeras y móviles, con una muy distinta configuración del hábitat final (imágenes a izquierda).

La ruta elegida fue **la masividad como refugio y control**.

En este contrapunto **masividad-aislación ligera** aparecen expresados los extremos tecnológicos de **ENVOLVENTES EXTERIORES: cerramientos masivos o cerramientos ligeros**.

Ahora bien, la elección de un sistema tecnológico u otro, produce respuesta higro-térmicas diferentes y aquí la inercia juega un rol decisivo. La decisión es proyectual y debe contemplar (entre otras) la adecuación del funcionamiento con el tipo de local que se trate, especialmente en relación al modo de ocupación temporaria o permanente y los tiempos necesarios para entrar en régimen. (lo analizaremos con detalle en el cursado de M2).

(1). <https://bibliodiarq.files.wordpress.com/2015/06/banham-r-un-hogar-no-es-una-casa.pdf> “Un hogar no es una casa” Reyner Banham, ilustraciones de François Dallegrest. (1965). Revista Summa 1968.