



CAPÍTULO 2: BASE TEÓRICA PREVIA

2.1.TRANSMISIÓN DE CALOR

El principio cero de la termodinámica dice que *“siempre que existe una diferencia de temperatura entre dos puntos, se producirá un flujo de calor desde la región más caliente hacia la más fría hasta que las temperaturas se igualen.”*

2.1.1.CONCEPTOS BÁSICOS

Vamos a detallar a continuación algunos conceptos fundamentales para entender este fenómeno.

La **conductividad térmica (λ)** representa o cuantifica la capacidad de transmisión de calor de los materiales. Su valor expresa la pérdida de calor a través de un metro de material durante una hora manteniendo una diferencia de temperatura de un grado.

Unidades en el sistema internacional: W/m K

1 W/m K=0,86 Kcal/m h °C

La conductividad es una propiedad intrínseca del material que varía con la temperatura. Cuanto más pequeño es el valor, mejores son las prestaciones aislantes del material.



La **resistencia térmica** (R) es la capacidad de un material para resistir el paso de flujo de calor. También podemos definirla como la oposición al paso del calor que presenta una capa de cierto espesor (e) de un material aislante.

Es inversamente proporcional a la conductividad térmica y aumenta con el espesor de material.

Unidades en el sistema internacional: $\text{m}^2 \text{ K/W}$

$1 \text{ m}^2 \text{ K/W} = 1,163 \text{ m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C/ Kcal}$.

Cuanto mayor sea el aislamiento requerido, mayor espesor deberemos emplear para una misma conductividad (igual material).

Los valores altos de resistencia térmica indican gran capacidad de aislamiento.

La **transmitancia térmica** es una magnitud que expresa la cantidad de calor que atraviesa un cuerpo. Cuanto menor es la transmitancia implica que el paso de calor a través de ese cerramiento es menor y por lo tanto está mejor aislado.

Es inversamente proporcional a la resistencia térmica y disminuye con el aumento del aislamiento térmico.

Unidades en el sistema internacional: $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

$$U = 1 / R$$

Esta magnitud es la que define los parámetros característicos de la envolvente térmica de un edificio, y por lo tanto, determina los límites de las diferentes secciones constructivas. Para cumplir con una determinada transmitancia térmica hay que obtener la resistencia térmica total de la sección y realizar la inversa. La R total se obtiene de la suma de la resistencia térmica de cada uno de los elementos que la componen más la resistencia térmica equivalente exterior correspondiente. Si el valor obtenido tiene que estar siempre por debajo del valor límite, siempre teniendo en cuenta que hay que compensar los puentes térmicos existentes tal y como se expone en el CTE DB-HE.



2.1.2.LOS MECANISMOS DE TRANSMISIÓN DEL CALOR.

Los procesos de transmisión de calor se clasifican en tres tipos en función del mecanismo a través del que la energía es transportada por el medio.

Los mecanismos básicos son tres aunque normalmente se presentan combinados:



Fig. 2. Procesos de transmisión del calor

1) **Conducción:** Transferencia de energía desde cada elemento de material al adyacente sin que se produzca flujo de materia (Mecanismo típico de transporte de calor a través de los Cerramientos).

La causa de esta transferencia es la cesión de energía vibracional desde los grupos atómicos excitados (por haber recibido por ejemplo energía IR) hacia los que se encuentran en niveles bajos de vibración.

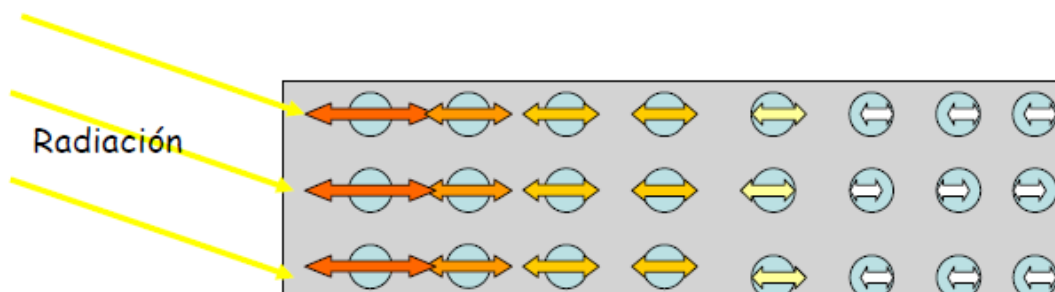


Fig. 3. Radiación



2) **Convección:** es la transferencia de energía causada por un desplazamiento y mezcla de materia. Podemos dividirla en dos tipos:

Convección natural: la causa de la mezcla es la diferencia de densidades entre el fluido (gas o líquido) caliente y el frío.

Convección forzada: la mezcla del fluido se produce por la agitación mecánica que se impone sobre el sistema.

La convección es característica de los materiales fluidos (gases y líquidos). El desplazamiento de materia se produce cuando el fluido entra en contacto con una superficie que le cede calor y hace disminuir su densidad provocando un flujo ascensional del mismo de acuerdo con la **Ley de Newton**.

Cuando un fluido se encuentra en contacto con una superficie a distinta temperatura, el calor se transfiere a una velocidad que depende de la densidad del fluido, su viscosidad y de que se esté desplazando por procesos de convección natural o por convección forzada por ejemplo con una bomba o turbina.

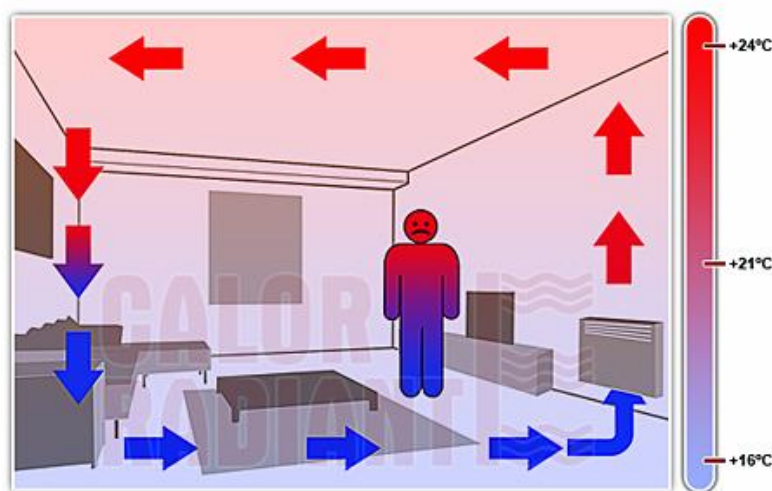


Fig. 4. Proceso de convección 1

3) **Radiación:** Es la transferencia de energía entre sistemas resultado de la emisión de ondas electromagnéticas (normalmente del IR) por parte del cuerpo caliente y absorción de las mismas por parte del cuerpo frío.

Podemos decir que la radiación térmica o calorífica es aquella emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos con temperatura superior a 0 K emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y



de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de $0,1\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético como hemos explicado anteriormente en el apartado anterior referido a *radiación electromagnética*.

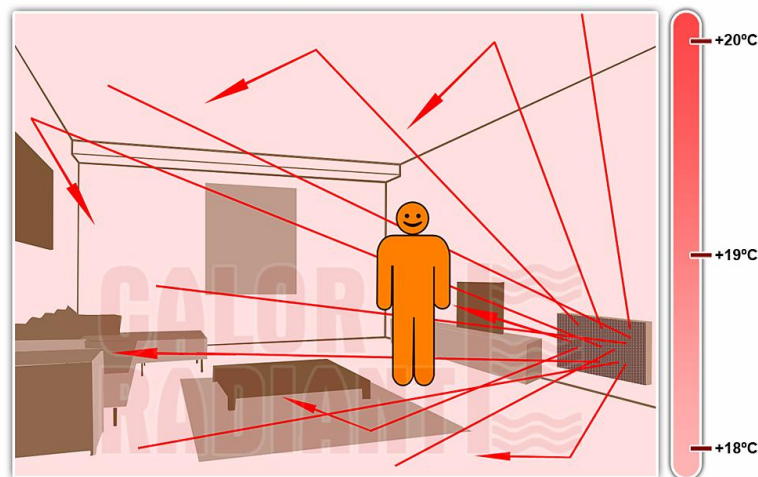


Fig. 5. Proceso de radiación

Como hemos avanzado antes, lo más común es que estos mecanismos de transmisión se combinen. Los cálculos de transporte de calor a través de los cerramientos sobredimensionan el valor de la energía transmitida como consecuencia de que no tienen en cuenta la simultaneidad de los procesos convectivos y conductivos.

Este proceso lo podemos dividir en tres fases:

Primera etapa: Transporte de energía por CONVECCIÓN realizada por el aire encerrado en el interior del edificio hacia la superficie interior del cerramiento.

Segunda etapa: Transporte por CONDUCCIÓN de la energía aportada por el gas a la superficie interior del cerramiento hasta la superficie exterior del cerramiento.

Tercera etapa: Transporte de energía por CONVECCIÓN desde la superficie exterior del edificio hacia el entorno, realizada por corrientes de aire exterior.

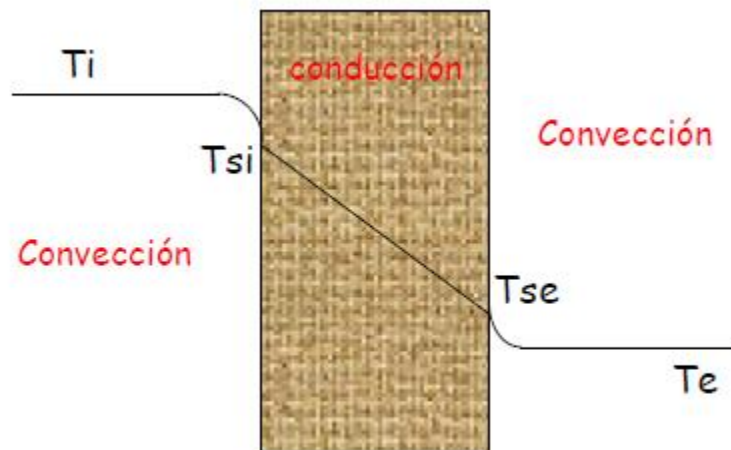


Fig. 6. Combinación de los tres procesos

En el apéndice G del Código Técnico de la edificación se hace además referencia a las condensaciones superficiales e intersticiales, que no serán objeto de estudio en este proyecto final de grado.



2.2.LA TERMOGRAFÍA

Según el D.R.A.E. la termografía es:

“Registro gráfico del calor emitido por la superficie de un cuerpo en forma de radiaciones infrarrojas, que tiene aplicaciones médicas, técnicas, etc.”

El principio físico sobre el que se basa es el de que cualquier cuerpo cuya temperatura absoluta sea mayor que cero ($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$) emite radiación electromagnética.

Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse. Independientemente de su frecuencia se desplazan en el vacío a una velocidad $c = 299.792\text{ km/s}$. La radiación presenta propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia. La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

Maxwell analizó matemáticamente la teoría de los campos electromagnéticos y demostró que la luz visible es una onda electromagnética.

Espectro Electromagnético

La energía procedente de un objeto caliente se emite a distintos niveles en el espectro electromagnético. En la mayoría de las aplicaciones industriales se utiliza la energía radiada en el espectro infrarrojo para medir la temperatura del objeto. Se emite en forma de onda y viaja a la velocidad de la luz. La única diferencia entre ellas es su longitud de onda que está relacionada con la frecuencia.



Fig. 7. Espectro electromagnético.



La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas hasta frecuencias muy bajas. La luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Por orden decreciente de frecuencias, el espectro presenta los rayos gamma, rayos X duros y blandos, ultravioleta, luz visible, infrarrojos, microondas y ondas de radio.

El ojo humano responde a la luz visible en el rango de 0.4 a 0.75 micras.

La gran mayoría de la medida de temperatura infrarroja se realiza en el rango de 0.2 a 20 micras. Aunque las emisiones no pueden detectarse por una cámara normal, la cámara térmica puede enfocar esta energía a través de un sistema óptico hacia el detector de forma similar a la luz visible. El detector convierte la energía infrarroja en tensión eléctrica, que después de amplificarse y de un complejo procesamiento de la señal, se utiliza para construir una imagen térmica en el visor del operador montado en la cámara de termografía.

Vamos a detallar a continuación unos conceptos básicos y fundamentales para entender mejor este fenómeno: la emisividad, la reflectancia y la transmisión.

La **emisividad** de un material especifica cuál es la fracción de radiación de cuerpo negro que es capaz de emitir el cuerpo real. La emisividad puede ser distinta en cada longitud de onda y depende de factores tales como la temperatura, condiciones de las superficies (pulidas, oxidadas, limpias, sucias, nuevas o intemperizadas, etc.) y ángulo de emisión.

En algunos casos resulta conveniente suponer que existe un valor de emisividad constante para todas las longitudes de onda, siempre menor que 1 (que es la emisividad de un cuerpo negro). Esta aproximación se denomina aproximación de cuerpo gris. La **Ley de Kirchhoff** indica que la emisividad es igual a la absorptividad de manera que un día que este objeto no es capaz de absorber toda la radiación incidente también emite menos energía que un cuerpo negro ideal.

La emisividad puede variar según las propiedades de las superficies, por ejemplo, muchos materiales no metálicos (hormigón...) tienen una elevada emisividad en el rango infrarrojo de onda larga que no depende de la temperatura.

Los metales, sobre todo aquellos con una superficie brillante, tienen una baja emisividad que fluctúa con la temperatura.



Tabla 5. Emisividad de alguno materiales.

Material	ϵ	Material	ϵ
Papel de Aluminio	0.04	Granito	0.45
Tablero madera	0.94	Yeso	0.88
Asfalto	0.93	Caucho	0.92
Cuerpo negro mate	1.00	Arena	0.76
Pintura negra epoxi	0.89	Acero inoxidable pulido	0.07
Ladrillo áspero rojo	0.90	Madera roble	0.94
Ladrillo refractario	0.75	Azulejo	0.97
Hormigón	0.85	Vidrio	0.92

La **reflectancia** es la cantidad de energía que es reflejada por un objeto después de que ésta incide sobre él. El resto de la energía incidente puede ser transmitida o absorbida por dicho objeto. Por lo general, las superficies lisas y pulidas reflejan mucho más que las irregulares y sin pulir del mismo material por eso podemos decir que depende de las propiedades de la superficie, la temperatura y el tipo de material.

El ángulo de reflexión de la radiación infrarroja reflejada es siempre el mismo que el ángulo de incidencia.

La **transmisión** es la medida de la capacidad de un material transmitir (permitir el paso) de la radiación infrarroja la cual depende del grosor y del tipo de material.

Muchos materiales son impermeables a la radiación infrarroja de onda larga, es decir, no transmisivos.

2.2.1. La cámara termográfica y protocolo de medición.

La cámara termográfica es un dispositivo capaz de formar imágenes visibles a partir de las emisiones en el infrarrojo medio del espectro electromagnético emitida de los cuerpos detectados y de transformar dichas emisiones en imágenes luminosas para poder, finalmente, ser visualizadas por el ojo humano.

Para la realización del análisis termográfico se ha utilizado la siguiente cámara. **Flir i5**.



A continuación se detallan las principales características de la cámara termográfica.



Características:

- Pantalla de LCD de 100x100 píxeles de resolución de 2.8".
- Rango de medición (-20° C a 250° C).
- Sensibilidad térmica < 0.1° C.
- Precisión +/-2% ó 2° C.
- Campo de visión 21° x 21°.
- Frecuencia 9 Hz.
- Libre de enfoque – autoenfocada.
- Emisividad ajustable de 0.1 a 1.0.
- Paletas térmicas hierro, arcoíris y gris.

Fig. 8. Cámara termográfica

Es importante destacar como la cámara termográfica sólo mide la temperatura superficial, nunca la del interior y tampoco mide a través de los objetos.

La emisividad del material depende en gran parte de la estructura de su superficie y es un elemento fundamental que hay que ajustar antes de realizar la imagen IR.

Cuando ya se ha seleccionado el objeto a medir se debe ajustar correctamente la emisividad según el recubrimiento en su superficie ajustando y determinando la temperatura reflejada. Posteriormente se procederá a enfocar la cámara en el momento de tomar la imagen, ya que la nitidez no se puede modificar con posterioridad.

Se debe saber qué forma tiene y en qué tipo de objeto se va a medir manteniendo una distancia mínima de enfoque y evitar medir en superficies húmedas o superficies recubiertas de nieve o escarcha.

Al medir en superficies lisas, hay que tener en cuenta cualquier posible fuente de radiación cercana por las posibles interferencias que se puedan producir.

Las condiciones ideales para la medición en exteriores se dan en un día nublado, puesto que la capa de nubes evita que los objetos se vean afectados por los rayos del sol y la “radiación celestial difusa fría” evitando fuertes precipitaciones dado que puede distorsionar el resultado de la medición. El agua, el hielo y la nieve tienen una elevada



emisividad y por tanto son impermeables a la radiación infrarroja. Además, la medición en objetos mojados es errónea, ya que la temperatura de la superficie del objeto se enfría a medida que se evapora el agua.

La humedad ambiente relativa debe ser lo suficientemente baja para que no haya condensación en el aire (neblina), o vaho en el objeto a medir además de algunas materias suspendidas en el aire, como polvo, hollín o humo los cuales tienen una elevada emisividad y apenas permiten la transmisión.

2.2.2. Aplicaciones de la termografía.

Son muchas las aplicaciones de la termografía en distintos ámbitos como pueden ser procesos de automatización, la industria de la construcción, la industria de la electricidad y la mecánica, para proyecciones de imágenes de gas (fugas), medicina, investigación y desarrollo y edificación.

En edificación tiene una amplia aplicación sobretodo en el ámbito de la rehabilitación. En fachadas se pueden observar incompatibilidad de materiales, acabados defectuosos, humedades, etc... En cubiertas es muy indicado el uso de la cámara termográfica tanto para la propia cubierta como para los habitáculos inferiores observándose rápidamente si hay goteras o agua estancada. Esto se observa en manchas de color oscuro.

Además se puede emplear para cerramientos interiores para determinar la estanquidad de los mismos.

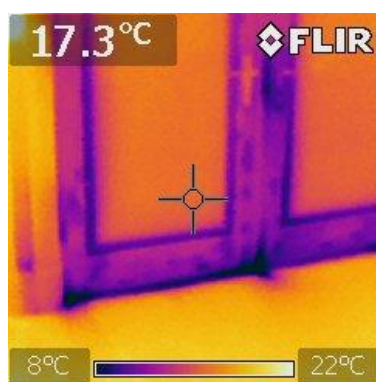


Fig. 9. Carpintería interior

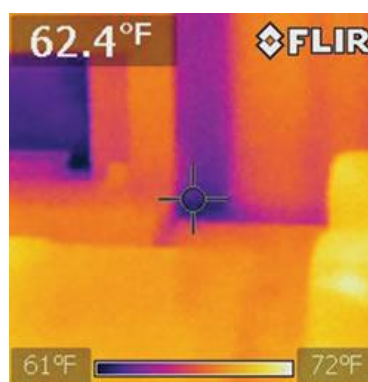


Fig. 10. Partición interior



2.3.LAS ESTRATEGIAS PASIVAS

Las estrategias de diseño en la arquitectura sostenible son acciones relacionadas directamente con la construcción y el funcionamiento de un edificio y tienen como finalidad mejorar el bienestar del usuario, aprovechando los elementos naturales (sol, lluvia, agua, viento, humedad, etc.) con un reducido impacto ambiental.

Las estrategias **pasivas** funcionan a través de *principios físicos básicos* como: la evaporación, la gravedad, el movimiento de los vientos, la conducción, la radiación y convección del calor, sin incluir equipos mecánicos. Ejemplo de este tipo de estrategias pasivas son: el muro trombe, la chimenea solar, la torre de vientos, el calentador solar, secadora solar, los invernaderos, el suelo radiante, la ventilación cruzada, entre muchos otros.

Las estrategias de diseño pasivo pueden confundirse fácilmente con las ecotecnias, ya que las segundas también buscan el aprovechamiento de los recursos naturales (el agua, el sol, las plantas) con un bajo impacto para la salud y el medio ambiente. Pero la diferencia principal está en que las ecotecnias no están relacionadas con la construcción del edificio como tal sino más bien son elementos adicionales a lo que sería la construcción en sí. Ejemplos de ecotecnias son: la pintura de nopal, la composta, el horno solar, la cisterna de ferrocemento, el tratamiento de aguas por medio de algas, etc. Dentro de las estrategias pasivas vamos a centrarnos en las que se ajustan más al edificio objeto de estudio, ya que se va a sustituir la envolvente existente. Trabajaremos sobre las estrategias de invierno y de verano que son las que se pueden incluir en la rehabilitación, claramente, realizando un estudio previo.

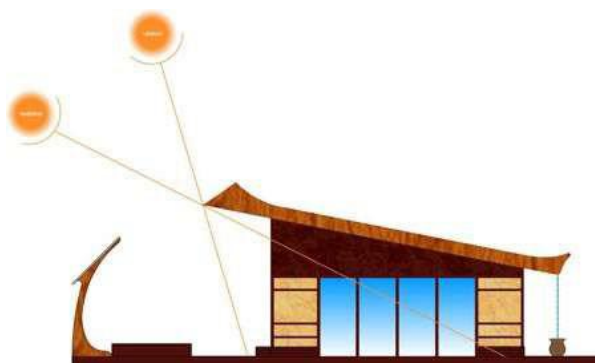


Fig.11. Incidencia del sol



2.3.1. Estrategias de invierno

Dentro de las estrategias de invierno tenemos que tener en cuenta la orientación, la forma, el uso, las pérdidas caloríficas (las veremos en el estudio termográfico) y los puentes térmicos.

Las necesidades fundamentales a satisfacer en caso del invierno son la captación, acumulación y distribución del calor aprovechando al máximo la energía del sol, el efecto invernadero y la buena disposición de aislamiento térmico.

La efectiva captación del calor es muy importante para el aprovechamiento de la energía siempre que sea necesario. Esta captación debe ir ligada a una correcta acumulación para una óptima utilización de la misma.

La captación directa es aquella que se obtiene mediante elementos tales como ventanas, ventanales, lucernarios (superficies acristaladas correctamente orientadas) o a través del techo (claraboyas y ventanas inclinadas).

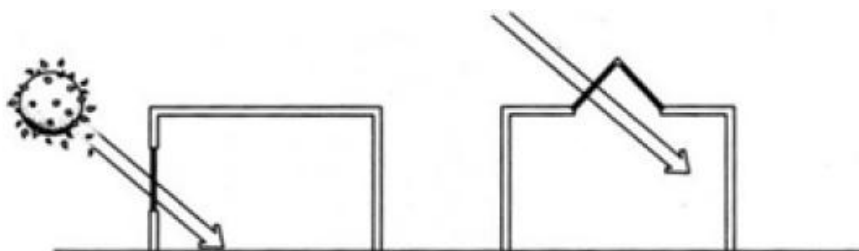


Fig. 12. Captación directa

Con la aplicación de estas medidas no hay coste adicional pero tenemos la necesidad de proteger estos acristalamientos en los meses de verano.

Con la captación de calor con lazo convectivo mejoramos la distribución del aire calentado precisando de un espacio intermedio donde se realiza la captación y de un elemento (tabique, muro, pared de cristal) que lo separe de la habitación que se quiere acondicionar.



Fig. 13. Captación con lazo convectivo



Ese elemento presenta aberturas superiores e inferiores para permitir el paso de las corrientes de aire caliente obteniendo flujo de calor por convección.

Para conseguir una buena orientación hay que tener en cuenta que los valores de irradiación en invierno a través de un vidrio orientado al Sur son los mayores. Las orientaciones este y oeste son las más desfavorables obteniendo mayores valores en verano y mínimos en invierno.

Es adecuado disponer elementos opacos de forma que obtengamos la mejor orientación para tener la máxima captación de calor en invierno y la mínima en verano (mejor: norte, noreste, noroeste, sur intermedia).

Durante unas pocas horas del día se recibe la energía sin la seguridad de poder contar con la captación todos los días, por eso es necesaria la acumulación del calor obtenido.

La energía es captada en una parte del edificio para luego trasladarla a la totalidad de los espacios evitando concentraciones de energía. Si esto es así, una mala distribución producirá partes acondicionadas y partes que no lo están.

Para conservar toda esta energía se ha de disponer aislamiento térmico para que no se produzcan pérdidas.

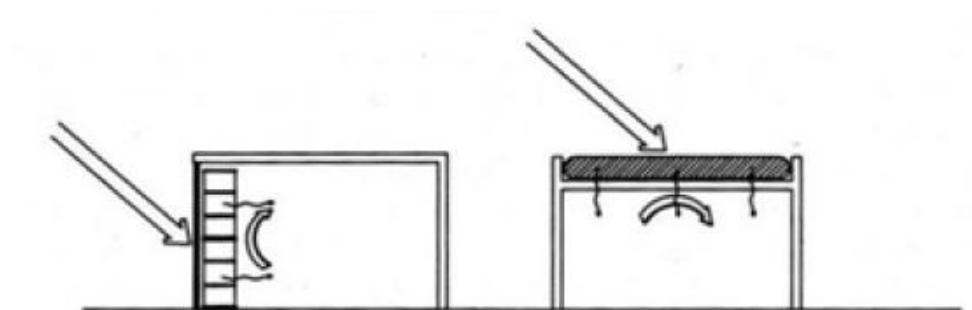


Fig 14. Captación retardada por acumulación

2.3.2. Estrategias de verano

Hay dos grandes objetivos en los meses de verano: la protección solar y la disipación del calor.

Algunas de las medidas que se pueden realizar son que el tejado y la fachada tengan colores claros, disponer toldos y doble cristal en huecos, proporcionar un aislamiento



térmico suficiente para aislar la vivienda y contar delante de la edificación con un árbol de hoja caduca que tape el sol en verano y no en invierno.

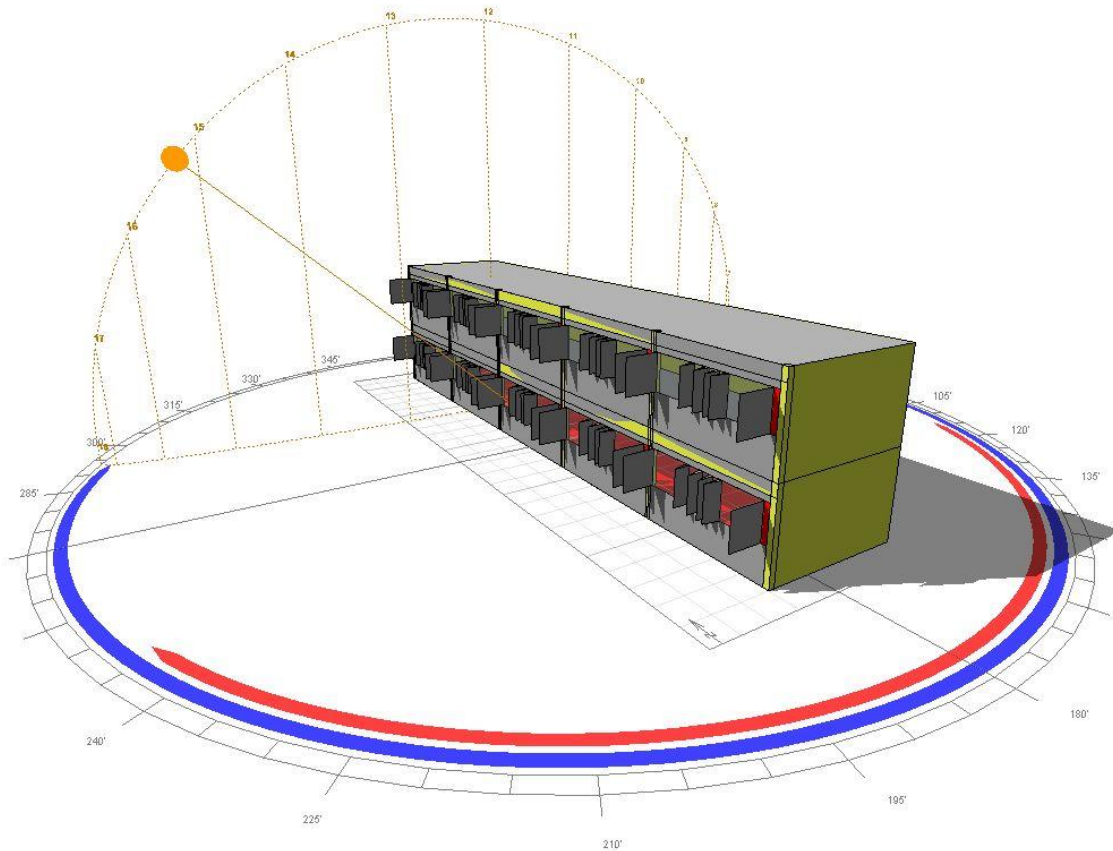


Fig.15. Trayectoria e incidencia solar.

En verano el entorno no nos aporta mecanismos de enfriamiento sencillos y tenemos los consiguientes problemas de sobrecalentamiento.

Estas acciones, necesariamente, tienen que ser de carácter arquitectónico, basadas en el diseño y la configuración del conjunto del edificio y de sus elementos.

Por ejemplo, las medidas preventivas para huecos acristalados son la selección de vidrios, la orientación y el sombreamiento. Para las cubiertas la ventilación y el recubrimiento vegetal. Para muros el color, la ventilación y el sombreamiento.

Podemos afirmar que la adecuada orientación de huecos como medida preventiva del sobrecalentamiento es muy importante.

En condiciones de verano, en hemisferio norte, la mejor orientación es la Norte ya que impide la captación solar.



No hay una orientación estándar sino que cada zona o clima requiere de un estudio detallado y único para tratar de conseguir optimizar la misma obteniendo un diseño común para verano e invierno.

Las orientaciones más desfavorables son este y oeste por tener mayor irradiación en verano y menor en invierno. Además, una distribución de la superficie entre norte y sur favorece la ventilación cruzada, que reduce el calentamiento.

Un edificio con toda la superficie acristalada orientada al sur capta en Julio el 60% de lo que capta otro de igual superficie orientado al este y oeste.

El sombreado de vidrios como medida preventiva del sobrecalentamiento requiere de una selección en función de la superficie y orientación.

Los acristalamientos orientados al sur necesitan parasoles horizontales, añadiendo parasoles verticales para completar las horas en las que el sol incide sesgado sobre esta fachada. Los parasoles horizontales no sirven para los acristalamientos orientados al este / oeste ya que la altura del sol es escasa. Las protecciones verticales sólo son efectivas si sobresalen mucho de la fachada siendo lo más efectivo las lamas verticales móviles, que se muevan según la posición del sol.

2.4. NORMATIVA APLICABLE

- Código Técnico de la Edificación (CTE) DB HE: Ahorro de energía.
- DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Normativa relevante de la tecnología de infrarrojos: DIN EN 473, DIN 54162, DIN 54191 y ASNT SNT-TC-1 A.
- UNE-EN 13162:2009 para productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW).
- UNE-EN 13659:2004/A1:2009