

Aportación solar a través de cerramientos acristalados en una vivienda unifamiliar aislada



# Aportación solar a través de cerramientos acristalados en una vivienda unifamiliar aislada

Victoria Fuster Mascarell

**Proyecto final de grado**



Tutores: José Luis Vivancos Bono \_ Carolina Sabina Aparicio Fernández





- 1. Introducción
- 2. Objetivos

Parte I. Estado de la cuestión

- 3. La Tierra y el Sol en el sistema solar
  - 3.1 El Movimiento de la Tierra
  - 3.2 La esfera celeste
  - 3.3 La radiación solar
  - 3.4 Las cartas solares
- 4. La luz natural
  - 4.1 El fenómeno físico de la luz
  - 4.2 El confort visual
  - 4.3 Sistemas para control de luz natural
- 5. Ganancias y pérdidas de calor
  - 5.1 Introducción a la térmica. Transmisión de calor.
  - 5.2 El confort térmico

Parte II. Estudio de la aportación solar a través de cerramientos acristalados en una vivienda unifamiliar aislada

- 6. Vivienda unifamiliar objeto de estudio
  - 6.1 Elección de la vivienda unifamiliar objeto de estudio
  - 6.2 Planimetría de la vivienda unifamiliar
  - 6.3 Archivo fotográfico
  - 6.4 Estudios a realizar
- 7. Estudio de la iluminación natural en una vivienda unifamiliar aislada
  - 7.1 Toma de datos in situ
  - 7.2 Análisis de resultados
  - 7.3 Mejoras
- 8. Estudio de las ganancias y pérdidas de energía en una vivienda unifamiliar.
  - 8.1 Cumplimiento del DB-HE1
  - 8.2 Balance energético
  - 8.3 Limitación de la demanda energética. *Lider*
  - 8.4 Calificación energética
  - 8.5 Mejoras
- 9. Conclusiones
- 10. Bibliografía

Índice y fuente de las imágenes

Figura 3. 1: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

Fuente: CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *Radiación Solar, Tablas de datos medidos en Valencia 1989-1995*, Departamento de Termodinámica Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia, pág.11.

Figura 3. 2: Variación de la declinación a lo largo del año. En las abscisas se representa el día del año, y en las ordenadas la declinación en grados.

Fuente: CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *op. cit*, pág.14.

Figura 3. 3: Movimiento de la Tierra sobre sí misma

Figura 3. 4: Posición relativa del zenit, el nadir y el horizonte astronómico

Figura 3. 5: Coordenadas horizontales. Altura y Azimut.

Figura 3. 6: Posición relativa de los polos norte y sur, ecuador celeste, paralelo celeste y meridiano celeste.

Figura 3. 7: Coordenadas ecuatoriales. Angulo horario y declinación.

Figura 3. 8: Trayectoria aparente del Sol en los cuatro días significativos del año

Fuente: CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *op. cit.*, pág.24.

Figura 3. 9: Altura solar media al mediodía para cada mes en Valencia. En abscisas los meses del año, en las ordenadas la altura solar.

Fuente: CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *Radiación Solar, op. cit.*, pág.26

Figura 3. 10: Duración teórica media del día para Valencia. En las abscisas los meses del año, en las ordenadas de 0-24h.

Fuente: CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *Radiación Solar, op. cit.*, pág.28.

Figura 3. 11: Espectro electromagnético.

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *Apuntes de Área de Eficiencia Energética*, ETSIE, 2011.

Figura 3. 12: Radiación solar en la exosfera, Gsc

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *op. cit.*

Figura 3.13: Ángulo de incidencia

Figura 3. 14: Evolución del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una superficie horizontal y otra inclinada 25° respecto de la horizontal, Valencia.

Figura 3. 15: Irradiancia extraterrestre sobre plano normal a los rayos solares y sobre plano horizontal.

Figura 3. 16: Radiación solar sobre la superficie terrestre.

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *op, cit.*,

Figura 3. 17: Radiación directa y difusa sobre plano horizontal.

Fuente: PVGIS. Medición realizada para Val luxó en el mes de junio

Figura 3. 18: Cálculo del vector solar para Vall Uxó, el 22 de diciembre a las 9:00 hora solar.

Figura 3. 19: Vector solar para Vall Uxó, el 22 de diciembre a las 9:00 hora solar.

Figura 4. 1: Luz visible del espectro electromagnético

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *op.cit.*

Figura 4. 2: Reflexión de la luz

Figura 4. 3: Refracción de la luz

Figura 4. 4: Tabla de iluminación (lux) mínimas requeridas según tarea.

Fuente: SALANDRI, Andrea, Apuntes de Área de Eficiencia Energética, ETSIE, 2011.

Figura 4. 5: Curva de visibilidad fotópica  $V_\lambda$ , y curva de visibilidad escotópica  $V'_\lambda$

Fuente: VVAA, Ampliación de física. Térmica. Iluminación, Valencia, Editorial UPV, 2008, pág.133. Fuente CIE 1931, 1951

Figura 4. 6: Gráfica luminancia-tiempo

Fuente: VVAA, *op.cit.*, pág.135.

Figura 4. 9: Voladizo. Casa kaufman. Richard Neutra. Palm Spring. California.

Figura 4. 10: Porche. Vivienda en Monasterior. Ramon Esteve. Valencia

Fuente: [www.ramonesteve.com](http://www.ramonesteve.com)

Figura 4. 11: Difusores de luz. Museo Príncipe Felipe. Santiago Calatrava. Valencia

Fuente: [www.skyscrapercity.com](http://www.skyscrapercity.com)

Figura 4.12: Patio. Casa Escudero. Antonio Jiménez Torrecillas.

Fuente: fotografía realizada por la autora

Figura 4.13: Apantallamiento vertical.

Fuente: IDAE, *Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios; guía técnica*. Madrid. Instituto para la diversificación de la Energía, 2005.

Figura 4.14: Celosía. Centro de investigación príncipe Felipe. Ramón Esteve. Valencia.

Fuente: [www.ramoneste.com](http://www.ramoneste.com)

Figura 4.15: Lamas. Casa kaufman. Richard Neutra. Palm Spring. California.

Fuente: [www. noticiasarquitectura.com](http://www.noticiasarquitectura.com)

Figura 4.16 : Piel en edificio de la Universidad Politécnica de Valencia.

Figura 4.17: Arbolado. Casa Rocafort. Ramon Esteve. Valencia

Fuente: [www.ramonesteve.com](http://www.ramonesteve.com)

Figura 4.18: Toldo. Vivienda unifamiliar.

Figura 4.19: Cortina. Oficina Silver Lake. Los Angeles

Figura 4.20: Persiana. De la casa gradhermetic.

Fuente: [www.ondiseño.com](http://www.ondiseño.com)

Figura 4.21: Pérgola adosada a vivienda.

Figura 4.22: Distribución espectral de la luz solar

Fuente: IDAE, *op.ci.*, pág. 65.

Figura 4.23: Vidrio reflectante. Casa debon. Jose Luis Fuster. Vall Uxó.

Figura 4.24: Cristales electrocrómicos.

Fuente: IDAE, *op.ci.*, pág. 69.

Figura 4.25: Sistema automático. Instituto del mundo árabe. Jean Nouvel. Paris.1982

Figura 5. 1: Distintas transferencias de calor en un local habitable.

Figura 5. 2: Tabla de conductividades térmicas de algunos materiales.

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *op.cit.*

Figura 5. 3: Valores de  $\lambda$  para distintos materiales.

Fuente: CASTRO MARTIN, Carlos, *Aislamiento térmico en edificación*, Madrid, Ed. Fundación Escuela de la Edificación, 2008, pág.25.

Figura 5. 4: Convección térmica

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *op.cit.*

Figura 5. 5: Tabla de valores típicos del coeficiente de convección.

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *op.cit* y VVAA, *op.cit.*, pág.21.

Figura 5. 6: Tabla de valores de emisividad de algunos materiales de construcción.

Fuente: VVAA, *op.cit.*, pág.27.

Figura 5. 7: Tabla de valores de emisividad de marcos de huecos y lucernarios.

Fuente: VVAA, *op.cit.*, pág.28.

Figura 5. 8: Radiación incidente

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *Apuntes del Área de Intensificación de Eficiencia Energética*, ETSIE, 2011

Figura 5. 9: Espectro solar.

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *Apuntes del Área de Intensificación de Eficiencia Energética*, ETSIE, 2011.

Figura 5. 10: Confort ambiental en el ser humano

Fuente: VVAA, *op.cit.*, pág.13.

Figura 5.11: Intervalos para alcanzar el confort térmico para invierno y verano.

Fuente: YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *Arquitectura solar e iluminación natural; conceptos, métodos y ejemplos*, Madrid, Munilla Leria, 2008, pág. 139

Figura 5. 12: Diagrama de confort climático humano de Olgyay

Fuente: SOTO CAMINO, Juan, *op.cit.*

Figura 6. 1: Utilización del programa *sketchup*. Casa debon. En marzo a las 9horas.

Figura 6. 2: luxómetro digital DVM1300

Figura 6. 3: Distribución de temperaturas de un puente térmico. Modelización con el programa *Therm*.

Figura 7.1: Horas de luz natural en cada mes del año, en Vall Uxó.

Fuente: [www.gaisma.com](http://www.gaisma.com)

Figura 7.2: Horas de luz natural en cada mes del año, en Vall Uxó.

Fuente: [www.gaisma.com](http://www.gaisma.com)

Figura 7. 3: Irradiancia sobre plano vertical y horizontal durante un año, en Vall Uxó.

Fuente: PVGIS , Photovoltaic Geographical Information System

Figura 7. 4: Altura del Sol para los meses estudiados, diciembre, febrero (9:00) y abril.

Fuente: PVGIS , Photovoltaic Geographical Information System

Figura 7. 5: Irradiancia diaria en diciembre sobre plano horizontal y vertical respectivamente, para Vall Uxó.

Fuente: PVGIS , Photovoltaic Geographical Information System

Figura 7. 6: Irradiancia diaria en abril sobre plano horizontal y vertical respectivamente, para Vall Uxó.

Fuente: PVGIS , Photovoltaic Geographical Information System

Figura 7. 7: Esquema de puntos de medición *in situ* para elaboración de las gráficas.

Figura 7. 8: Ángulos de incidencia solar, a las 9:00 h (febrero), 12:00 h y 15:00 h correspondientes al mes de diciembre

Figura 7. 9: Gráfica de comparación de iluminancias en diciembre (febrero) en el salón de la vivienda objeto de estudio, sobre una recta imaginaria.

Figura 7. 10: Fotografía del salón. Los rayos solares penetran hasta la esquina posterior, a las 12 h de un día de diciembre.

Figura 7. 11: Ángulos de incidencia solar, a las 9:00 h, 12:00 h, 15:00 h y 18:00 h correspondientes al mes de abril.

Figura 7. 12: Gráfica de comparación de iluminancias en abril en el salón de la vivienda objeto de estudio, sobre una recta imaginaria.

Figura 7. 13. Fotografía del salón. Los rayos solares penetran en el interior, a las 15 h de un día de abril.

Figura 7. 14: Iluminación natural que recibe la zona del comedor.

Figura 7. 15: Gráfica de comparación de iluminancias en el primer punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre.

Figura 7. 16: Gráfica de comparación de iluminancias en el segundo punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Figura 7. 17: Gráfica de comparación de iluminancias en el tercer punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Figura 7. 18: Gráfica de comparación de iluminancias en el cuarto punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Figura 7. 19: Gráfica de comparación de iluminancias en el quinto punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Figura 7. 20: Gráfica de comparación de iluminancias en el sexto punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Figura 7. :21 Ejemplo de arbolado como protección solar.. Casa Rocafort. Ramon Esteve. Valencia

Fuente: [www.ramonesteve.com](http://www.ramonesteve.com)

Figura 7. 22: Persiana. De la casa gradhermetic

Fuente: [www.ondiseño.com](http://www.ondiseño.com)

Figura 8. 1: Tabla 2.2 del DB-HE1. Valores limite de los parámetros característicos medios.

Fuente: Código Técnico de la Edificación

Figura 8. 2: Tabla 2.1 del DB-HE1. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en  $W/m^2k$

Fuente: Código Técnico de la Edificación

Figura 8. 3: Puentes térmicos estudiados en sección.

Figura 8. 4: Puentes térmicos estudiados en planta

Figura 8. 5: Tabla 3.2 del DB-HE1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo  $f_{rsi,min}$

Fuente: Código Técnico de la Edificación

Figura 8.6: detalle puente térmico pilar en fachada \_1\_

Figura 8.7: detalle puente térmico muro cortina-suelo de terraza \_2\_

Figura 8.8: detalle puente térmico muro cortina-cubierta \_3\_

Figura 8.9: distribución de temperaturas

Figura 8.10: distribución de temperaturas por contornos

Figura 8.11: flujos de calor

Figura 8.12: distribución flujos de calor por contornos

Figura 8.13: distribución de temperaturas

Figura 8.14: distribución de temperaturas por contornos

Figura 8.15: flujos de calor

Figura 8.16: distribución flujos de calor por contornos

Figura 8.17: distribución de temperaturas

Figura 8.18: distribución de temperaturas por contornos

Figura 8.19: flujos de calor

Figura 8.20: distribución flujos de calor por contornos

Figura 8. 21: Resistencia de presión de vapor de la fachada.

Figura 8. 22: Resistencia de presión de vapor de la cubierta.

Figura 8. 23: Calificación energética de la vivienda objeto de estudio

Figura 8. 24: Emisiones de  $CO_2$

Figura 8.25: detalle puente térmico pilar en fachada \_1\_mejora

Figura 8.26: detalle puente térmico muro cortina-suelo de terraza \_2\_mejora

Figura 8.27: detalle puente térmico muro cortina-cubierta \_3\_mejora

Figura 8.28: distribución de temperaturas

Figura 8.29: distribución de temperaturas por contornos

Figura 8.30: flujos de calor

Figura 8.31: distribución flujos de calor por contornos

Figura 8.32: distribución de temperaturas

Figura 8.33: distribución de temperaturas por contornos

Figura 8.34: flujos de calor

Figura 8.35: distribución flujos de calor por contornos

Figura 8.36: distribución de temperaturas

Figura 8.37: distribución de temperaturas por contornos

Figura 8.38: flujos de calor

Figura 8.39: distribución flujos de calor por contornos

Figura 8. 40: Diagramas de demanda, consumo y emisiones con la mejora de incrementar 2cm el aislamiento.

Figura 8. 41: Calificación energética con la mejora de incrementar 2cm el aislamiento.

Figura 8. 42: Emisiones de CO<sub>2</sub> con la mejora de incrementar 2cm el aislamiento

Figura 8. 43: Diagramas de demanda, consumo y emisiones con la mejora de cambio de combustible.

Figura 8. 44: Calificación energética con la mejora de cambio de combustible

Figura 8. 45: Emisiones de CO<sub>2</sub> con la mejora de cambio de combustible.

Figura 8. 46: Diagramas de demanda, consumo y emisiones con la combinación de ambas mejoras.

Figura 8. 47: Calificación energética con la combinación de ambas mejoras.

Figura 8. 48: Emisiones de CO<sub>2</sub> con la combinación de ambas mejoras.



# 1. Introducción

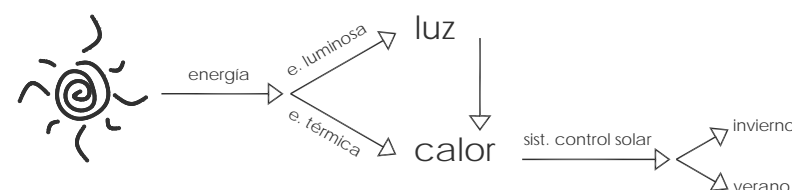
El Sol es la principal fuente de energía que nos proporciona tanto luz como calor. Desde el punto de vista de la eficiencia energética, adquiere cierta importancia el estudio de la iluminación natural y de su aportación térmica desde los comienzos de un proyecto arquitectónico.

En la época en la que vivimos es inevitable tomar conciencia del mantenimiento de nuestro planeta, nuestro hábitat. Y consecuentemente en nuestra profesión tenemos el deber moral de hacer todo lo posible en este camino de garantizar una eficiencia energética en el uso de las viviendas y locales.

La eficiencia energética en una vivienda comienza por su localización y su integración en el entorno, y continúa con su construcción y con los materiales utilizados. Ahora bien, durante la vida útil de la vivienda, su eficiencia energética se mide por el consumo de energía. Desde este punto de vista, el uso de los sistemas de calefacción y refrigeración, entre otros, serán los condicionantes de un mayor o menor gasto energético. Será pues objeto de este proyecto final el tratar que estos condicionantes se reduzcan lo máximo posible sin que ello signifique una disminución de los niveles de confort del espacio habitable.

Entre los parámetros de confort ambiental se encuentran los parámetros lumínicos que garantizan unos niveles adecuados de iluminación para cada actividad y la ausencia de deslumbramientos. Además, el Código Técnico de la Edificación recomienda el aprovechamiento de la luz natural durante las horas de sol para evitar el uso innecesario de iluminación artificial.

No hay que olvidar que permitir la entrada de luz directa conlleva un calentamiento en el interior de la estancia, por lo que debemos tener en cuenta también el confort térmico para conseguir permanecer dentro de sus parámetros. Así pues, debemos considerar la radiación solar que llega al edificio con el fin de evitar un posterior consumo energético para regular la temperatura. Así mismo el CTE también recomienda unos procedimientos y soluciones constructivas adecuadas a tal fin.



Por ende, los edificios deben diseñarse atendiendo al movimiento del Sol, a la localización en la que nos encontremos (latitud y altitud), a la orientación del edificio, a su geometría, aberturas, sistemas de control solar y materialidad; para de esta forma se evita un sobrecalentamiento excesivo en el interior de la vivienda y también a un innecesario consumo energético.

## 2. Objetivos

Tras lo expuesto en la introducción, los objetivos del presente proyecto final de grado serán analizar la aportación solar a través de los acristalamientos en una vivienda unifamiliar aislada sita en Vall Uxó.

El proyecto está estructurado en dos partes: el estado de la cuestión sobre la iluminación natural y las pérdidas y ganancias térmicas en el interior de una vivienda; y una segunda parte experimental, donde en primer lugar se definirá la vivienda objeto de estudio, sus características constructivas y la metodología a seguir. Y a continuación se desarrollaran los estudios de iluminación natural en el interior de un espacio representativo, el salón a doble altura, en diferentes épocas del año, y el estudio térmico, con el cumplimiento del CTE-HE1, y finalmente unas conclusiones.

Por lo tanto los objetivos a desarrollar en el presente proyecto son:

- o Analizar los recursos utilizados en el control de la iluminación natural para conseguir un confort lumínico según unas necesidades
- o Estudiar la relación entre la iluminación natural y las ganancias térmicas en el interior de una vivienda. Estudiar las estrategias tradicionales y las nuevas tecnologías para la protección de la luz directa solar
- o Analizar la forma de diseño de las viviendas en cuanto a la protección solar y el aprovechamiento de la luz diurna
- o Estudio de las ganancias y pérdidas de calor. Propuesta de mejoras
- o Análisis de datos experimentales de iluminación natural

Parte I. Estado de la cuestión

- 3. La Tierra y el Sol en el sistema solar
  - 4. La luz natural
    - 5. Ganancias y pérdidas de calor

### 3. La Tierra y el Sol en el sistema solar

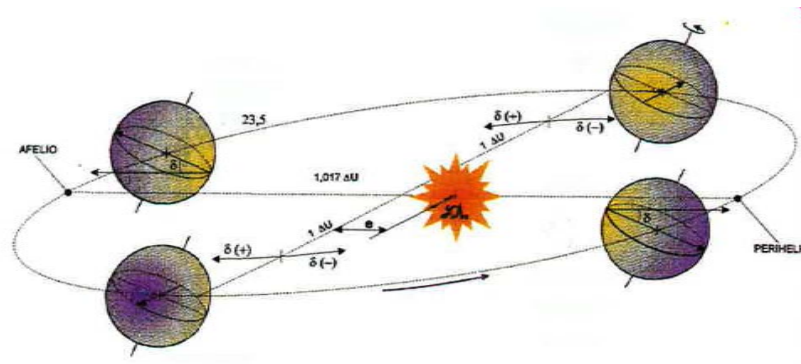


Figura 3. 1: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

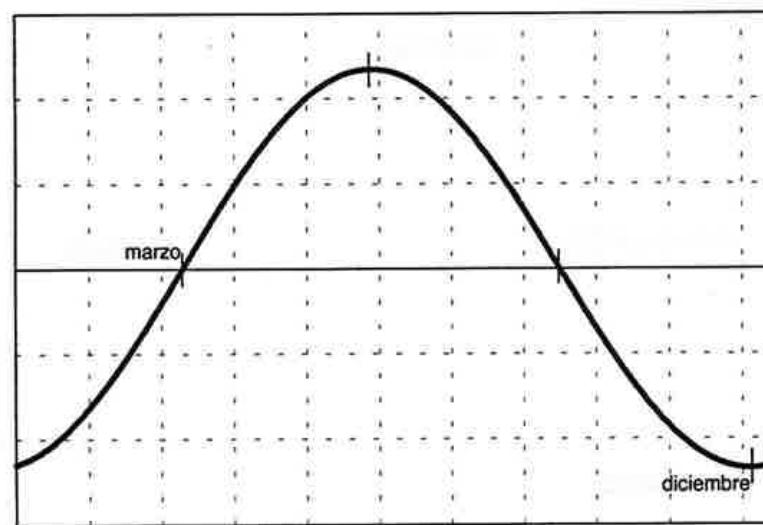


Figura 3. 2: Variación de la declinación a lo largo del año. En las abscisas se representa el día del año, y en las ordenadas la declinación en grados.

El sistema solar es un sistema planetario de la Vía Láctea que se encuentra en uno de sus brazos, conocido como el Brazo de Orión.

El sol es la única estrella de nuestro sistema, el cual está formado además por nueve planetas y sus lunas que orbitan alrededor de la estrella, los cometas y los asteroides.

La Tierra se encuentra en el Sistema Solar.

### 3.1 El movimiento de la Tierra

El planeta Tierra está en constante movimiento y describe, a la vez, dos tipos de movimientos: el movimiento de traslación y el de rotación que se definen a continuación.

#### Traslación

La tierra describe una trayectoria elíptica alrededor del Sol con una duración de 365,2422 días. El plano que contiene esta órbita se denomina plano de la Eclíptica. El Sol se encuentra desplazado en uno de los focos de la elipse, con una excentricidad de 0,01673, lo que provoca junto con la órbita elíptica que la distancia entre la tierra y el Sol sea variable a lo largo del año dando lugar a las estaciones. En los Equinoccios de Primavera y Otoño la distancia es de 1 UA (Unidad Astronómica), mientras que en el Afelio, que coincide con el Solsticio de Verano del Hemisferio Norte, la distancia es máxima: 1,017 UA, y en el de Invierno, en el Perihelio, es mínima: 0,983 UA.

El afelio es el punto de la órbita terrestre en que la tierra se encuentra más lejana del sol, mientras que el perihelio ocupa la posición más cercana.

La línea que une el afelio con el perihelio se denomina línea de ápsides<sup>1</sup>.

Por otro lado, la declinación solar ( $\delta$ ) es una magnitud variable que depende únicamente del tiempo y se define como el ángulo que forma la línea que une el centro de la tierra y el centro del sol con el plano ecuatorial celeste. Tiene una variación diaria de menos de  $0,5^\circ$ , se mide en grados y es positiva si está al norte del ecuador celeste y negativa si está al sur.

Si nos fijamos en el hemisferio Norte, la declinación tiene su valor máximo positivo ( $23^\circ 45'$ ) en el Solsticio de Verano, que corresponde al día para el cual la parte diurna es máxima, la declinación disminuye hasta  $0^\circ$  en el Equinoccio de Otoño. Por contra, en el Solsticio de Invierno, que corresponde al día para el cual la parte diurna es mínima, la declinación toma su valor mínimo ( $-23^\circ 27'$ ) y vuelve a aumentar hasta anularse en el Equinoccio de Primavera como se muestra en la figura.

<sup>1</sup> CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *Radiación Solar, Tablas de datos medidos en Valencia 1989-1995*, Departamento de Termodinámica Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia, pág.15.

Su valor medio diario se puede calcular mediante un formula simplificada:

$$\delta(^{\circ}) \approx 23,45 * \text{sen} [(360/365)*(d_n + 284)]$$

Siendo  $d_n$  el día del año, comenzando a contar a partir del 1 de enero y considerando que febrero tiene 28 días, con lo que el día 365 corresponde al 31 de diciembre.

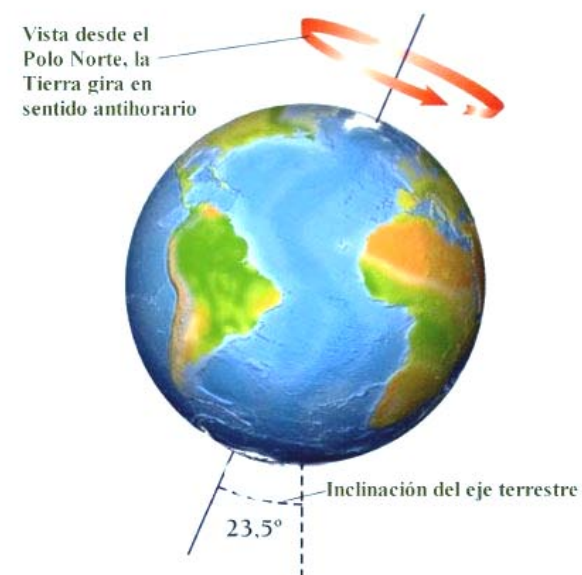


Figura 3. 3: Movimiento de la Tierra sobre sí misma

### Rotación

La Tierra gira sobre sí misma alrededor de un eje que pasa por los polos (eje polar) originando las diferencias entre el día y la noche. Dicho eje de rotación tiene una inclinación constante de 23,5° respecto de la perpendicular del plano de la eclíptica, fenómeno denominado oblicuidad de la eclíptica. Esta inclinación produce largos meses de luz y oscuridad en los polos geográficos, además de ser la causa de las estaciones del año, causadas por el cambio del ángulo de incidencia de la radiación solar.

El tiempo que dura una vuelta completa de la Tierra sobre sí misma, tomando como referencia las estrellas, son 23 horas, 56 minutos y 4 segundos, y se le denomina día sidéreo. Sin embargo, si tomamos como referencia el Sol, el periodo dura 24 horas y se le denomina día solar.

El movimiento de rotación se realiza de Oeste a Este, por lo que el Sol aparenta salir por Oriente y se pone por Occidente, lo que da lugar a los días y las noches. Conocer la rotación terrestre y sus consecuencias permite localizar cualquier punto sobre la superficie terrestre y dividir el tiempo en horas.

### 3.2 La esfera celeste

Para la resolución de la mayoría de los problemas de Astronomía se admite que todos los astros se encuentran en una gran superficie esférica de radio arbitrario, denominada esfera celeste.

Según el centro que se tome en la esfera celeste, existen tres clases de esferas:

- o **Esfera celeste local (topocéntrica):** Tiene por centro el ojo del observador.
- o **Esfera celeste geocéntrica:** Tiene por centro a la Tierra.
- o **Esfera celeste heliocéntrica:** Tiene por centro el Sol.

Para un punto cualquiera de la corteza terrestre (O), se define la esfera celeste local como aquella esfera imaginaria de radio unidad con centro en O y sobre la que se sitúan todos los astros visibles desde la Tierra.

Los sistemas de referencia pueden ser varios, de entre los cuales se define a continuación el sistema de coordenadas horizontal y el ecuatorial, que nos servirá más adelante para determinar la posición del sol.

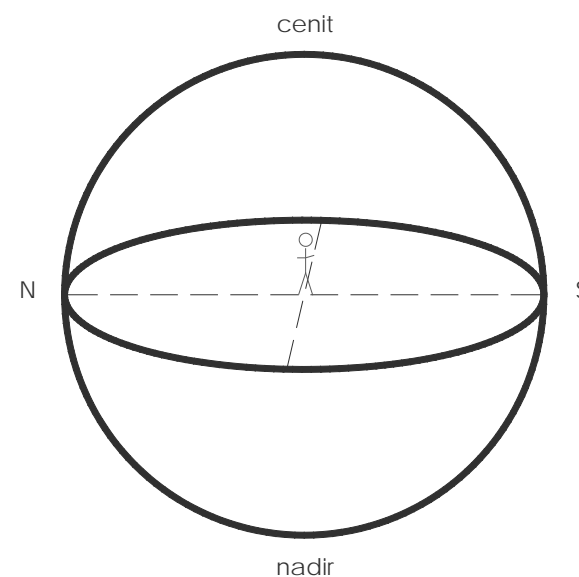


Figura 3. 4: Posición relativa del zenit, el nadir y el horizonte astronómico

#### Horizontal

Las coordenadas horizontales son un sistema de coordenadas celestes referidas al horizonte del observador y a su vertical. Es decir, dependen del observador, y por lo tanto son locales.

Definimos a continuación algunos conceptos:

**Nadir:** se encuentra en la intersección entre la vertical del observador y la esfera celeste. Es decir: si imaginamos una recta que pasa por el centro de la Tierra y por nuestra ubicación en su superficie, el nadir se encuentra sobre esa recta, por debajo de nuestros pies.

**Cenit:** se encuentra sobre la recta definida anteriormente, pero por encima de nuestras cabezas.

**Horizonte astronómico:** es el plano que pasa por el observador y es perpendicular a la vertical. La intersección de este plano con la esfera celeste es un círculo máximo que recibe el nombre de horizonte.

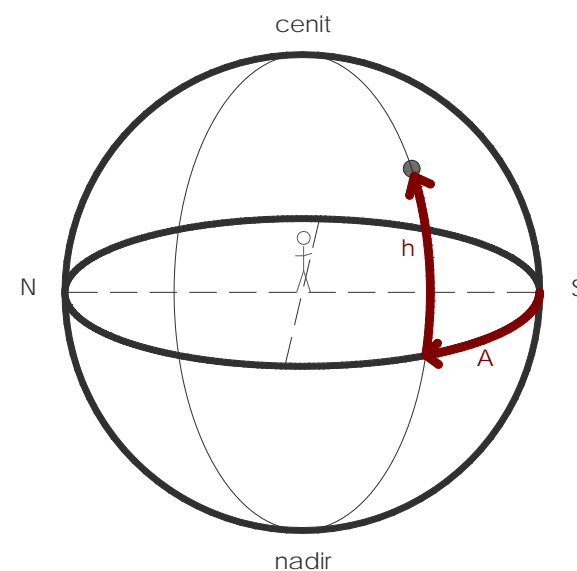


Figura 3. 5: Coordenadas horizontales. Altura y Azimut.

Las coordenadas horizontales son el azimut y la altura.

**Altura (h):** es el arco vertical medido desde el horizonte hacia el cenit del observador. Su valor absoluto es siempre menor o igual que  $90^\circ$  y, por convenio, es un valor positivo si el astro es visible (es decir si está sobre el horizonte) y negativo si no es visible (es decir si está bajo el horizonte).

**Azimut (A):** es arco horizontal medido sobre el horizonte celeste que va desde el punto cardinal sur hasta la proyección vertical del astro sobre el horizonte del observador (situado en alguna latitud Norte). Se mide en grados desde el punto cardinal en sentido de las agujas del reloj. ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ )

Se entiende por proyección vertical el corte con el horizonte que tiene el círculo máximo que pasa por el cenit y el astro.

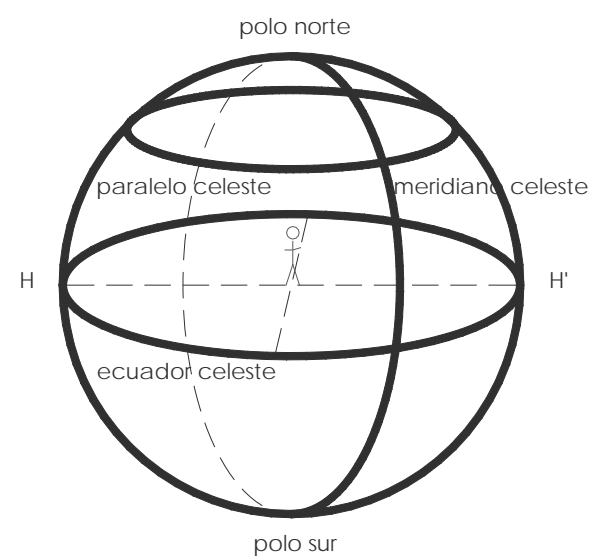


Figura 3. 6: Posición relativa de los polos norte y sur, ecuador celeste, paralelo celeste y meridiano celeste.

### Ecuatorial

Las coordenadas ecuatoriales son un tipo de coordenadas celestes referidas al ecuador celeste y al equinoccio vernal. A diferencia de las coordenadas horizontales, las ecuatoriales no son coordenadas locales, puesto que están referidas a la esfera celeste y por tanto son independientes del observador.

Se definen a continuación algunos conceptos:

**Ecuador celeste:** es el círculo máximo en la esfera celeste que contiene el ecuador y por tanto es perpendicular al eje de rotación de la Tierra. Divide la esfera celeste en los hemisferios norte y sur.

**Línea de los polos celestes:** se obtiene prolongando el eje de la tierra o la línea de los polos terrestres hasta que corte a la esfera celeste en dos puntos, los polos celestes.

**Meridiano celeste:** es el círculo máximo que pasa por los polos celestes

**Meridiano del lugar:** aquel que además de pasar por los polos pasa por el nadir y por el cenit

**Paralelo celeste:** círculo máximo menor paralelo al ecuador celeste.



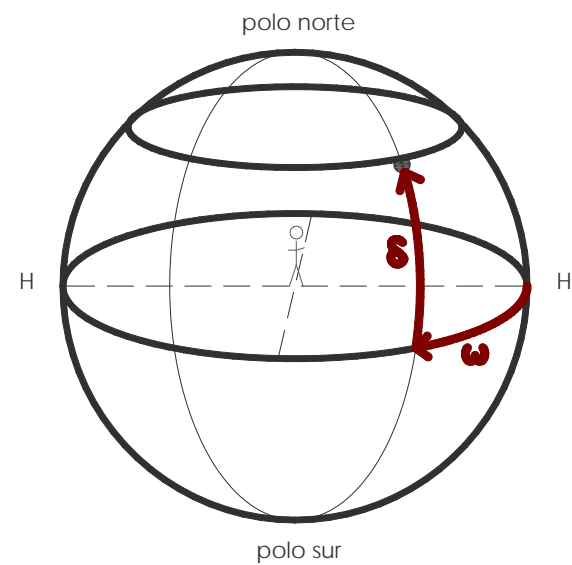


Figura 3. 7: Coordenadas ecuatoriales. Ángulo horario y declinación.

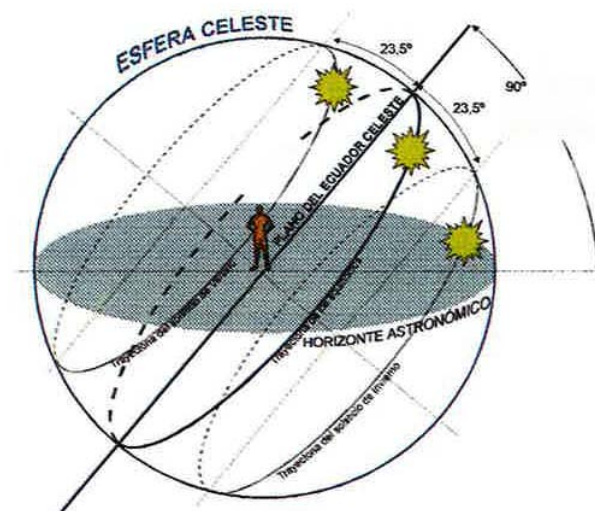


Figura 3. 8: Trayectoria aparente del Sol en los cuatro días significativos del año

Las coordenadas ecuatoriales son la declinación y el ángulo horario.

**Ángulo horario ( $\omega$ ):** es el ángulo horizontal, medido sobre el ecuador celeste, que parte desde el punto H perteneciente al meridiano del lugar hasta el meridiano que contiene el punto que se desea medir. El rango de medición va desde 0 a 360°.

**Declinación ( $\delta$ ):** es el ángulo vertical que forma el ecuador celeste y el objeto. Para objetos situados entre el ecuador y el polo norte, la declinación es positiva y, en caso contrario, negativa. El rango de medición va desde 0 a 90°.

Ambos sistemas de coordenadas se relacionan mediante la trigonometría esférica.

### El sol en la esfera celeste

A efectos prácticos, resulta útil y conduce a los mismos resultados, suponer que es el sol el que gira alrededor de la Tierra describiendo una órbita aproximadamente circular.

La característica más importante que define el movimiento aparente del Sol respecto a un observador en la esfera terrestre, es la declinación ( $\delta$ ), variable a lo largo del movimiento de traslación, como ya se ha comentado.

Se suele expresar el movimiento aparente diario del sol en la esfera celeste como la traslación en un paralelo celeste de declinación igual a la media para ese día<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *op.cit.*

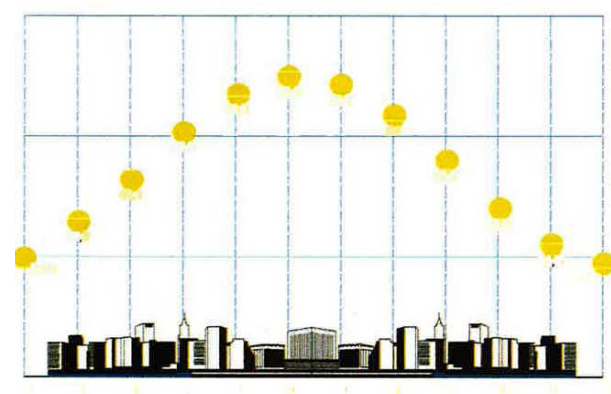


Figura 3. 9: Altura solar media al mediodía para cada mes en Valencia. En abscisas los meses del año, en las ordenadas la altura solar.



Figura 3. 10: Duración teórica media del día para Valencia. En las abscisas los meses del año, en las ordenadas de 0-24h.

Cualquier día el Sol tendrá una trayectoria paralela entre los dos solsticios (de verano e invierno). El día del equinoccio de primavera el Sol sale por el Este y se pone por el Oeste. A medida que transcurre el tiempo, estos puntos se desplazan hacia el Norte, primero rápidamente, luego lentamente, hasta el solsticio de verano en que el Sol alcanza su máxima altura.

A partir del 21 de junio, los puntos se alejan del Norte y se van acercando al Este y al Oeste, cuyas posiciones vuelven a ocupar el 22 o 23 de septiembre, equinoccio de otoño. Luego se acercan al punto Sur, hasta el 22 de diciembre, solsticio de invierno.

Se define la altura solar máxima como el punto en el cual la altura alcanzará su máximo diario. Existe una sencilla regla para calcular la altura de dicho punto una vez conocida la latitud del lugar ( $\gamma$ ) y la declinación media diaria ( $\delta$ )<sup>3</sup>.

$$h=90^{\circ}-\gamma+\delta$$

Orto y ocaso del sol.

Como se aprecia en la figura 3.8 , los puntos del horizonte por donde sale el Sol (orto) y se pone (ocaso) varían constantemente a lo largo del año. Siendo los equinoccios los días exactos en los que se opone por el Oeste.

Como se muestra en la figura, en Primavera y Verano el arco de la trayectoria solar es más grande, el Sol se eleva más sobre el horizonte y permanece más tiempo brillando en el cielo. Por el contrario, en invierno los puntos del horizonte por donde sale y se oculta está más próximos entre sí, la trayectoria es más corta y menos elevada y el tiempo que transcurre entre el amanecer y la puesta del sol es mucho menor (duración del día solar).

El sol se encuentra en el ocaso cuando, por efecto de la rotación de la Tierra, atraviesa el plano del horizonte y pasa del hemisferio visible al no visible. Su altura en el ocaso es 0, y pasa entonces de ser positiva a ser negativa. Por el contrario, el orto o alba del Sol, es el momento en el que atraviesa el plano del horizonte pasando del hemisferio no visible al visible.

Para conocer el ángulo horario ( $\omega$ ) que define ambos puntos en un día cualquiera existe una formula simplificada:

$$\omega=\pm\text{arc cos }(-\tan\delta \tan\gamma)$$

correspondiendo el signo negativo al orto y el signo positivo al ocaso.

La trayectoria aparente diaria del sol describe un ángulo horario ( $\omega$ ) de 15° cada hora, de manera que en principio el recorrido tiene una periodicidad de 24 horas.

<sup>3</sup> CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *op.cit.*, pág.26.

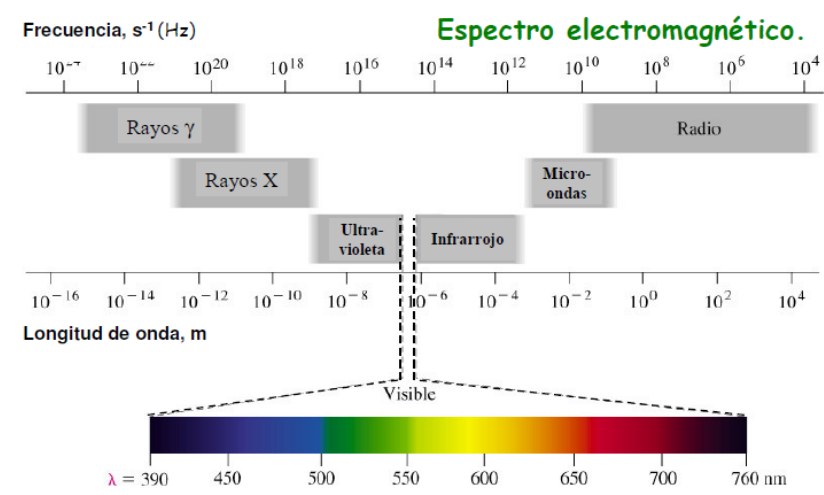


Figura 3. 11: Espectro electromagnético.

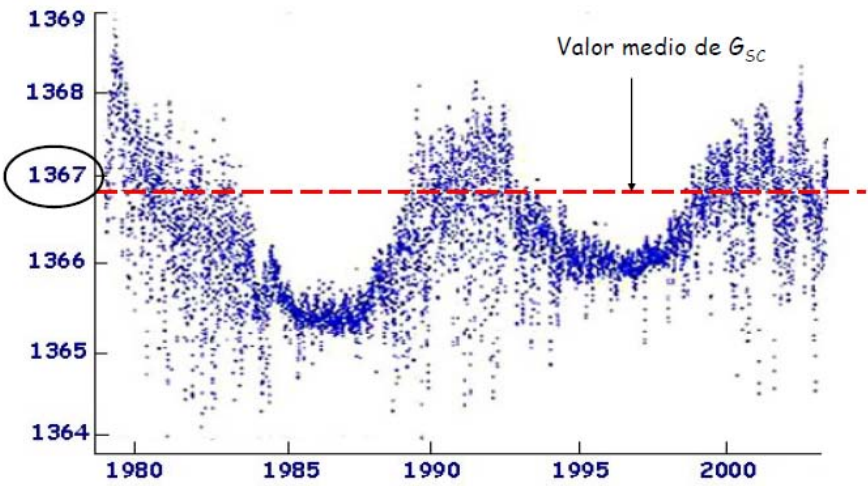


Figura 3. 12: Radiación solar en la exosfera  $G_{sc}$

3.3 Radiación

El Sol es la principal fuente de energía de nuestro planeta, de él procede la iluminación y el calor que recibimos haciendo posible la vida en la Tierra. Su energía se emite en forma de radiación electromagnética, la cual se comporta a la vez como una onda y como una partícula.

Como onda, no necesita medio material para propagarse, se define por su frecuencia (Hz) y por su longitud de onda. Las dos magnitudes son inversamente proporcionales. La radiación electromagnética que proviene del Sol oscila entre los  $0,1 \mu\text{m}$  y  $10 \mu\text{m}$  de longitud de onda, de la cual, solo una porción de ella es visible para los humanos, la comprendida entre 390 y 760 nm.

Los tipos de radiación solar son los siguientes: rayos gamma, rayos X, ultravioleta, luz visible, infrarrojos, microondas y ondas de radio. Todos ellos desprenden energía siendo por tanto fuente de calor.

- Rayos gamma: emitidos por el Sol en poca cantidad, son desviados en gran parte por la exosfera. Son los de mayor frecuencia y energía.
- Rayos X: emitidos por el Sol, son absorbidos por la exosfera y por la capa de ozono
- Rayos UV: frenados por la capa de ozono, son dañinos. Por su alta frecuencia, tiene importantes efectos fotoquímicos
- Rayos visibles: entre 390 y 760nm, entre los colores violeta y rojo.
- Rayos infrarrojos: cercano y lejano, su longitud de onda es superior a la visible, con  $\lambda > 0,78 \mu\text{m}$  y de gran efecto térmico.
- Rayos microondas: son absorbidos por el ambiente y la humedad. Son los de menor frecuencia y mayor longitud de onda.

La constante solar ( $G_{sc}$ )

Es la cantidad de energía por unidad de tiempo que atraviesa la unidad de superficie colocada perpendicularmente a los rayos solares en el exterior de la atmosfera terrestre y a la distancia media entre el sol y la Tierra (1 UA). La unidad de medida es habitualmente el  $\text{W/m}^2$  y se trata por tanto de una potencia superficial.

El valor aceptado por el *World Radiation Center* (WRC) es de  $1367 \text{ W/m}^2$  con una incertidumbre del orden del 1%. Para aplicaciones energéticas habituales no se tiene en cuenta la variación en la actividad del Sol debido a las manchas solares y otros fenómenos, que dan lugar a pequeñas desviaciones inferiores al  $\pm 1,5 \%$ . Por tanto la contante solar se puede considerar como un valor fijo<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *op.cit.*, pág.32.

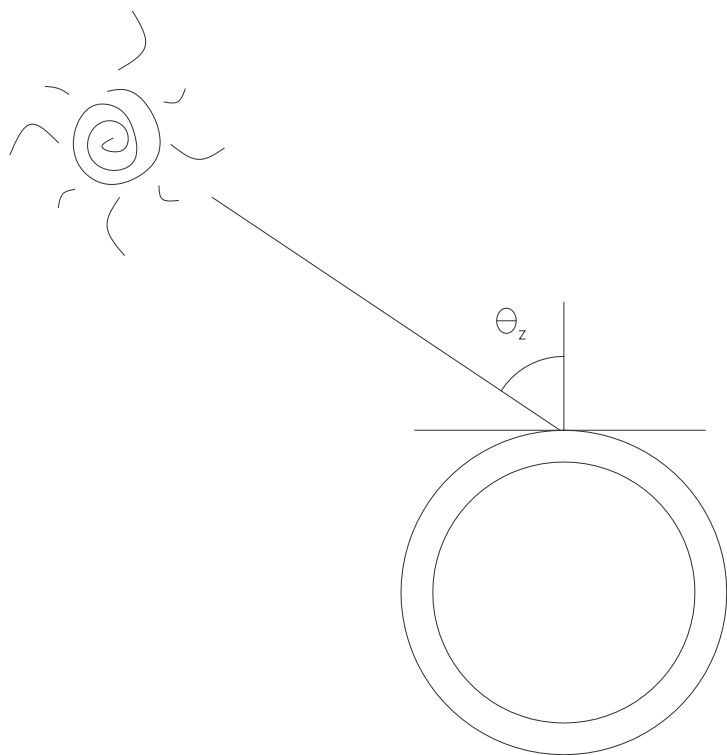


Figura 3.13: Ángulo de incidencia

A continuación se definen algunos conceptos:

**Irradiancia:** es la energía incidente sobre la unidad de superficie en la unidad de tiempo. Se representa por la letra G y la unidad normalmente empleada es el W/m².

$$G = \frac{\text{potencia}}{\text{superficie}}$$

**Irradiación:** es la energía recibida por la unidad de superficie durante un periodo de tiempo determinado y se obtiene integrando el valor de la irradiancia a lo largo de dicho periodo de tiempo. Si el periodo de tiempo es de una hora se representa por el símbolo I, si dicho periodo es de un día se representa por la letra H. La unidad de medida empleada habitualmente es el J/m² o múltiplos de esta unidad.

Irradiación horaria (J/m²)

$$I = \frac{\text{energía}}{\text{superficie}} = \int Gdt$$

Irradiación diaria (J/m²)

$$H = \frac{\text{energía}}{\text{superficie}} = \int Gdt$$

La cantidad de radiación solar que llega a la tierra es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al sol.

**Ángulo de incidencia (θz):** ángulo entre la dirección de los rayos solares y la perpendicular a la superficie.

El ángulo de incidencia de la radiación solar (extraterrestre y terrestre) es función de las coordenadas geográficas del lugar y de la posición del Sol en la bóveda celeste, es decir, de la hora, del día y el mes en que nos encontremos<sup>5</sup>.

Cuanto menor es el ángulo de incidencia, mayor es la energía que llega a la superficie, por tanto, como en invierno el ángulo de incidencia de los rayos solares es mayor que en verano, llega menos energía a la Tierra.

Ángulo de incidencia para una superficie horizontal

$$\cos\theta_z = \cos\varphi \cos\delta \cos\omega + \sin\varphi \sin\delta$$

θz es igual al ángulo cenital o el complementario de la altura solar, h, ya que se trata de una superficie horizontal. El ángulo φ es la latitud del lugar, δ es la declinación y ω es el ángulo horario.

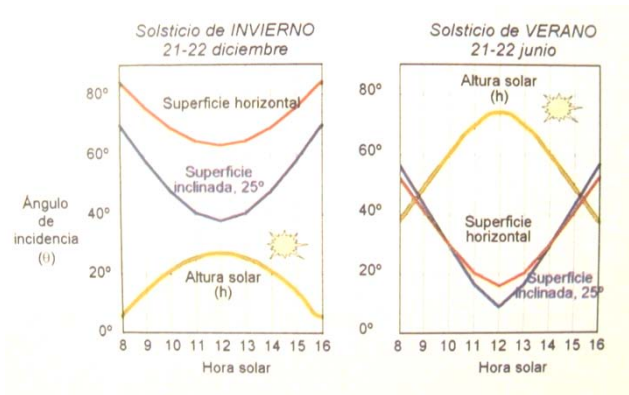


Figura 3. 14: Evolución del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre una superficie horizontal y otra inclinada 25° respecto de la horizontal, Valencia.

<sup>5</sup> CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, Daniel, *op.cit.*, pág.33-35.

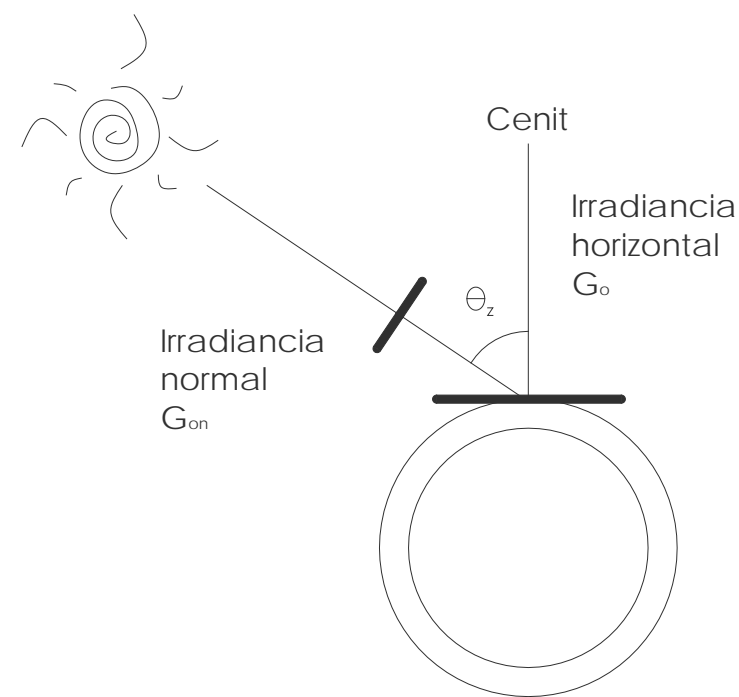


Figura 3. 15: Irradiancia extraterrestre sobre plano normal a los rayos solares y sobre plano horizontal.

Irradiancia extraterrestre

La radiación solar en el exterior de la atmósfera terrestre en cualquier momento del año, es función de la distancia en ese momento entre la tierra y el sol. La irradiancia solar extraterrestre varía dependiendo de si se calcula sobre un plano horizontal o sobre un plano inclinado.

Irradiancia extraterrestre sobre una superficie normal a los rayos solares

$$G_{on}=G_{sc} \left(r_o/r\right)^2= G_{sc} E_o$$

Irradiancia extraterrestre sobre una superficie horizontal

$$G_o= G_{on} \cos \theta_z$$

siendo

$$E_o= \left(r_o/r\right)^2 = 1\pm 0,033 \cos \left(360 \, n/365\right)$$

siendo,  $r_o$  la distancia media entre el sol y la tierra,  $r$  la distancia entre el sol y la tierra en un día determinado,  $n$ , y  $n$  el día del año, siendo  $n=1$  el día 1 de enero. El signo positivo se utiliza en el hemisferio sur y el negativo en el hemisferio norte.



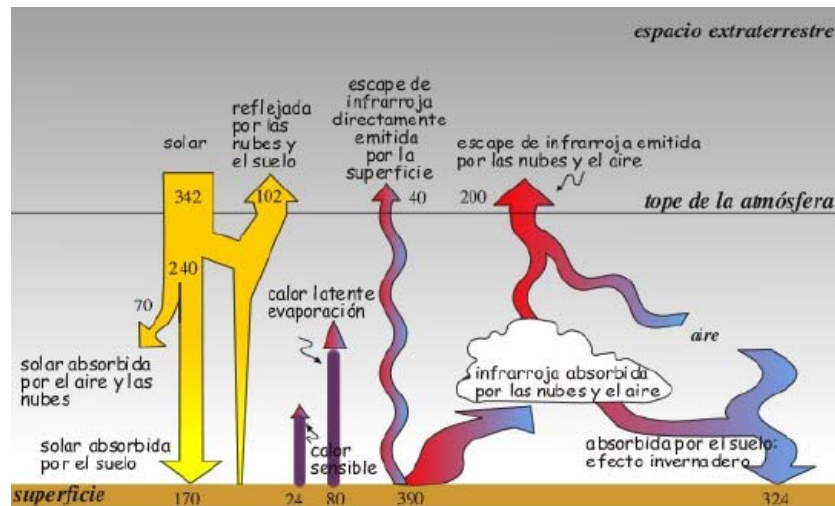


Figura 3. 16: Radiación solar sobre la superficie terrestre.

### Radiación solar sobre la superficie terrestre

La atmósfera se comporta como un medio atenuador de la radiación solar que llega a la superficie terrestre.

Se compone principalmente por elementos gaseosos, siendo sus principales componentes el oxígeno con un 21% y el nitrógeno con un 78%. También hay presencia de otros como el ozono, el agua, tanto en estado líquido como vapor, metano, gas carbónico, aerosoles, etc. La presencia de estos elementos origina fenómenos como la absorción y la dispersión de la radiación solar.

En la superficie terrestre podemos distinguir los siguientes componentes de la radiación solar que incide:

- **Radiación directa.** Radiación que atraviesa la atmósfera sin sufrir ningún cambio en su dirección, siendo ésta la definida por la hipotética línea que une la tierra y el sol. Es la que produce las sombras.
- **Radiación difusa.** Radiación solar que ha sufrido procesos de dispersión por los componentes de la atmósfera y proviene de todos los puntos de la bóveda celeste. Es la radiación existente en un día cubierto.
- **Radiación reflejada** es aquella radiación directa y difusa, que una vez ha sido reflejada por la Tierra u obstáculos circundantes, incide sobre la superficie en cuestión.

Como ya se ha explicado anteriormente, según la época del año los rayos incidentes del Sol tienen distinta inclinación, por lo que la energía que llega a la Tierra también varía. En invierno los rayos solares tienen menor inclinación que en verano respecto a la horizontal de la superficie, por lo que la energía incidente es superior en verano. Del mismo modo, la energía incidente es mayor en las horas centrales del día que en las cercanas al orto y al ocaso.

Además, como la Tierra es una esfera, su superficie obtiene mayor intensidad de luz, de calor, en el ecuador que en los polos. En el Equinoccio, el Sol pasa directamente por encima del ecuador a mediodía y el suelo recibe aproximadamente 1 caloría de energía solar.

El mismo día, a 60° N, en la latitud de Noruega, el Sol no sube más de 30° sobre el horizonte a mediodía y llega tan solo la mitad de intensidad que en el ecuador. En los polos, los rayos del Sol rozan la superficie horizontalmente.

Los factores que caracterizan la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra son:

- **Factores geométricos.** Dependen de la posición relativa Tierra-Sol y de las coordenadas geométricas del emplazamiento. Condicionan el ángulo de incidencia de la radiación directa y el recorrido de la radiación solar a través de la atmósfera, es decir, que según la altura del sol, los rayos solares recorren mayor o menor espesor de la atmósfera.
- **Factores climáticos.** La presencia de nubes, aerosoles, ozono, etc. difunden, absorben y reflejan parte de la radiación solar de una manera aleatoria.

Los valores de la irradiación extraterrestre son superiores a los de cualquier otra variable de medida diaria terrestre. La radiación difusa sobre superficie horizontal tiene más peso sobre la global durante los meses invernales que en los estivales. La radiación solar directa incidente sobre una superficie perpendicular a la propagación de dicha radiación es siempre mayor que la misma radiación incidente sobre una superficie horizontal<sup>6</sup>

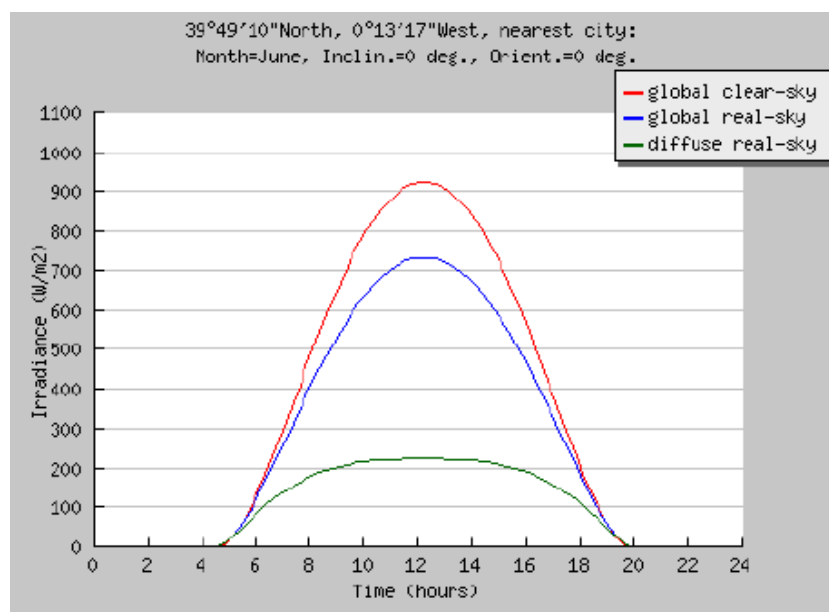


Figura 3. 17: Radiación directa y difusa sobre plano horizontal.

<sup>6</sup> CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *op.cit.*, pág.58.

### 3.4 Las cartas solares

La carta solar se define como la representación gráfica de las trayectorias aparentes del Sol, conocida la latitud de un lugar en concreto. Su construcción se basa en la proyección cónica o cilíndrica de dichas trayectorias sobre un plano. En estas cartas se puede leer: el día, la hora solar, la altura y el acimut del Sol, estos dos últimos datos definen la dirección del vector solar.

El vector solar par un día y hora concretos se define por la dirección de la recta que une el punto considerado con el centro de la esfera celeste.

Existe una gran variedad en el campo de las cartas solares, como la *cilíndrica*, la *estereográfica* o la *equidistante*, pero nos centraremos solo en la carta solar *Fisher*.

La carta solar de Fisher viene representada en el sistema diédrico por una semiesfera que simboliza la semibóveda celeste en cuyo centro se sitúa el observador. Sobre la mencionada semiesfera se dibujan, tanto en proyección horizontal como en vertical, las trayectorias del sol en los solsticios y equinoccios<sup>7</sup>.

Es una herramienta que se utiliza para obtener las sombras arrojadas de un edificio o calcular las protecciones o obstrucciones solares del mismo, en las primeras etapas del proyecto. Con ella, se obtendrá el ángulo de incidencia de la energía solar sobre los cerramientos opacos y transparentes, según la localización y orientación de la construcción. Una vez obtenidos los ángulos de incidencia, se podrá definir concretamente la geometría de la protección solar.

En la figura 3.18 se representa la carta solar Fisher correspondiente al municipio de Vall Uxó, con una latitud de  $39,49^\circ$ . Para un día y hora determinada se pueden obtener los datos del vector solar,  $H$ ,  $d$  y  $\alpha$ , que se ha grafiado en la figura 3.19 en planta y alzado. Dicho vector se puede trasladar a un alzado, teniendo en cuenta la dirección del norte, ya que sobre éste se medirá el acimut del vector ( $\alpha$ ).

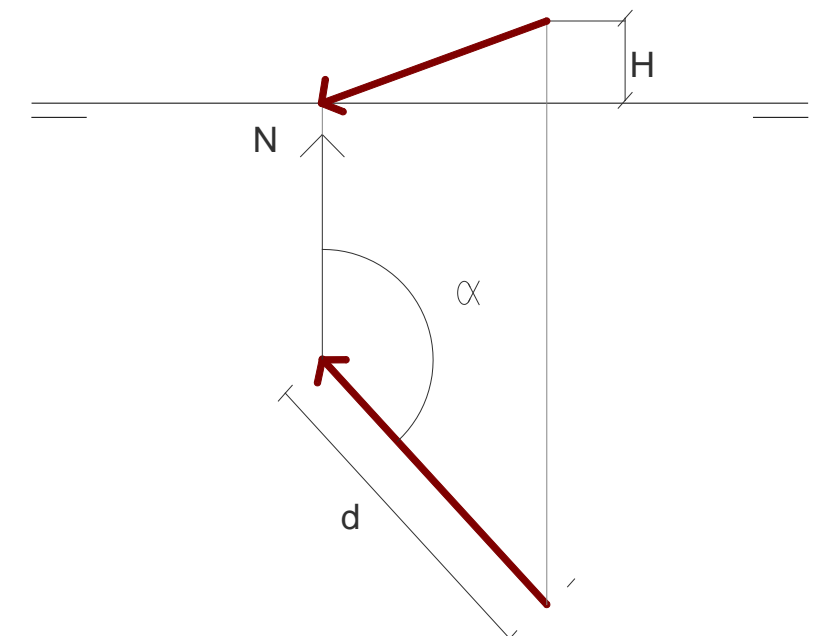


Figura 3. 18: Cálculo del vector solar para Vall Uxó, el 22 de diciembre a las 9:00 hora solar.

Figura 3. 19: Vector solar para Vall Uxó, el 22 de diciembre a las 9:00 hora solar.

<sup>7</sup> HIGÓN CALVET, José Luis, DE VICENTE VALIENTE, Vicente, *El cálculo del vector solar para su uso en edificación. Cartas solares para Valencia*, Valencia, Ed. VJ, 2004.

# 4. La luz natural



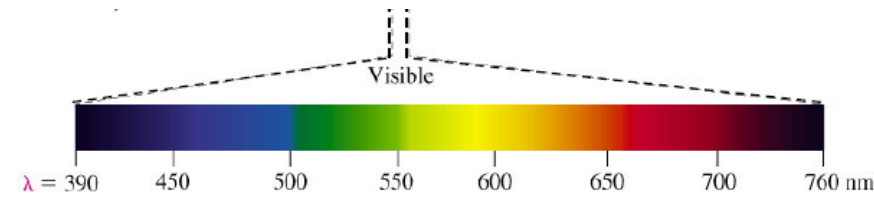


Figura 4. 1: Luz visible del espectro electromagnético

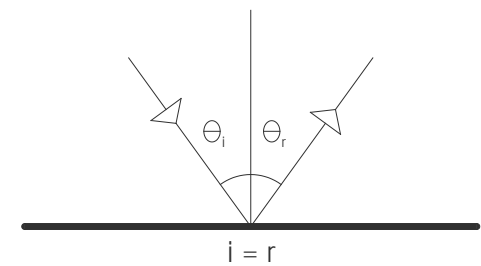


Figura 4. 2: Reflexión de la luz

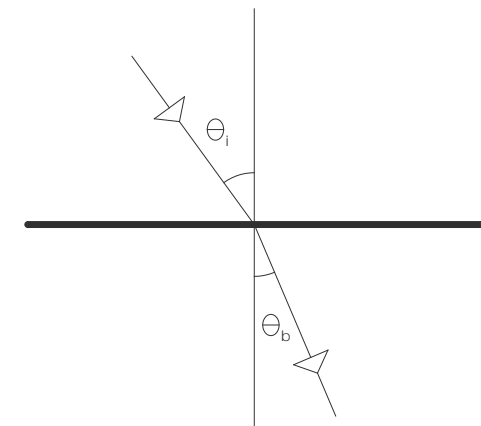


Figura 4. 3: Refracción de la luz

4.1 El fenómeno físico de la luz

La luz tiene una naturaleza dual, en su propagación se comporta tanto como una partícula (fotón) como una onda, es masa y energía a la vez. Se propaga como una onda electromagnética a una velocidad de 299.792 km por segundo, creando en su recorrido un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre sí y respecto a la dirección de propagación.

La luz visible es una pequeña parte del espectro electromagnético, que como se ha dicho anteriormente, abarca desde los 390 a los 760nm, y corresponden al color violeta y al rojo respectivamente, aunque este rango puede cambiar entre distintas personas.

Algunas de las propiedades de la luz son:

**Propagación rectilínea.** La luz se propaga en línea recta. La luz que incide sobre una superficie se distribuye en tres componentes: la reflejada, absorbida o transmitida, que dependen de la longitud de onda de la radiación. Se cumple que la suma de los tres componentes es igual a la unidad.

**Ley de reflexión.** Como cualquier onda la luz también cumple esta propiedad, consiste en que cuando un rayo de luz incide sobre una superficie, ésta la refleja devolviéndola al entorno. Esta reflexión puede ser especular (mismo ángulo que el de incidencia), o difusa según las propiedades de la superficie sobre la que incide. La luz puede ser reflejada totalmente o solo una parte, siendo el resto absorbida.

Se cumple que los rayos incidente, reflejado y refractado, así como la normal a la superficie, se encuentran en un mismo plano. Y que le ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia para todas las longitudes de onda y para cualquiera par de medios.

$$\theta_i = \theta_r$$

**Ley de refracción.** Igualmente cuando un rayo de luz incide sobre una superficie que separa dos medios, éste puede traspasar la superficie pero se produce un cambio en su dirección, este es el fenómeno de refracción.

Se cumple que le ángulo de incidencia y el refractado están en un mismo plano y la razón del seno del ángulo de incidencia y el ángulo de refracción es constante.

$$\text{sen}\theta_i / \text{sen}\theta_b = \text{cte}$$

Las leyes nombradas determinan las direcciones del rayo reflejado y refractado, pero no dicen nada sobre su intensidad. Ésta depende del ángulo de incidencia, y se puede decir que la fracción reflejada es mínima cuando la incidencia es normal y máxima cuando es casi rasante. Por el contrario, la intensidad del rayo refractado disminuye al aumentar el ángulo del rayo de incidencia.

**Absortividad.** Cuando la luz natural atraviesa un medio su intensidad luminosa es parcialmente absorbida y, consecuentemente, aumenta la energía interna de dicho medio. El coeficiente de absortividad depende del medio y de la longitud de onda del rayo solar.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, Arquitectura solar e iluminación natural; conceptos, métodos y ejemplos, Madrid, Munilla Leria, 2008, pág. 430.

Colores	Longitud de onda (nm)
Rojo	760-630
Naranja	630-590
Amarillo	590-560
Verde	560-490
Azul	490-440
Índigo	440-420
Violeta	420-380

Fuente de luz	Temperatura de color (k)
Luz de día (difusa)	7000
Radiación solar directa	5000
Fluorescente blanco frío	4200
Fluorescente blanco caliente	3000
Incandescente	2800
Llama de vela	2000

El color.

El ojo humano distingue las distintas longitudes de onda como diferencias de color y tiene la máxima sensibilidad a la longitud de onda de 550 nm, que corresponde al verde-amarillo.

El color de la luz está determinado por la composición espectral de sus componentes monocromáticas. El color de la luz natural o diurna resulta de la mezcla aditiva de la luz coloreada procedente de cuatro fuentes: el cielo azul, la luz solar, de color más amarillo, el suelo, que si está cubierto de vegetación es verde, y finalmente las otras superficies reflectantes, de variados colores.<sup>9</sup>

Todo cuerpo caliente emite una radiación electromagnética cuya composición espectral depende de la temperatura. Con temperaturas menores de 1500, la radiación es prácticamente invisible, pero al sobrepasar esta temperatura, la radiación se hace visible y es de color rojo. A medida que se aumenta la temperatura, cambia el color, así a los 3000 k adquiere el color amarillo-verde y a los 24000 k el azul. Por lo tanto, podemos hacer corresponder a cada temperatura de un cuerpo negro un color, lo que se ha denominado temperatura de color.

Mientras que la luz se comporta de forma aditiva, el color se comporta de forma sustractiva. Veremos una superficie blanca porque refleja todos los colores del espectro, sin embargo veremos una superficie negra cuando absorba todos los colores. Así, cuando la luz natural incide sobre una superficie verde, la vemos verde porque justo refleja este color y absorbe todos los demás colores del espectro.

<sup>9</sup> VVAA, *op.cit.*, pág. 35.

4.2 El confort visual

El confort visual depende de varios factores como por ejemplo el nivel de iluminancia, el cual dependerá a su vez de la finalidad del espacio estudiado, pues no tendrá las mismas necesidades de iluminación un aula que en un teatro; para ello existen unas tablas de iluminancias mínimas que habrá que tomar como referente.

Otro factor necesario para alcanzar el confort visual es la inexistencia de deslumbramientos y contrastes en la zona de trabajo.

Además debemos tener en cuenta que durante el día el confort visual depende de las condiciones de la luz natural, por lo que es esencial estudiar cómo y en qué condiciones dejamos entrar la luz natural, tomando decisiones al respecto desde las fases iniciales del proyecto, como en la orientación del edificio y de sus huecos, el tipo de acristalamientos o sistemas de protección solar, que se desarrollaran más adelante, para evitar un sobrecalentamiento de las estancias interiores en las épocas estivales pero permitirlo es los meses más fríos.

La luz natural mejora la capacidad visual de los individuos, incluso con niveles de iluminación inferiores con respecto a la luz artificial. Con ella percibimos todos los colores de la mejor forma posible, siendo pues, nuestra mejor fuente de luz.

Lo que resume la comodidad visual y la percepción con mayor fidelidad, es el concepto de visibilidad que depende de las relaciones entre las claridades (luminancias) presentes en el campo visual y muy poco del valor absoluto de de estas luminancias.<sup>10</sup>

La percepción visual depende del nivel de iluminación, del contraste, del grado de deslumbramiento, de la composición espectral de la luz, del tipo de observación a realizar y del grado de difusión de la luz. El ojo humano es capaz de percibir visualmente un amplio margen de niveles de iluminancia entre 100000 lux y 0,003 lux.<sup>11</sup>

actividad	Lux	Ejemplos
Ubicación en el espacio	50	Rutas de acceso a áreas de servicio
Movimiento de personas, iluminación de fondo	100	Pasillos, almacenes, dormitorios
Reconocimiento de los detalles por breves periodos de tiempo	150	Cuartos de baños, accesos
Áreas sin tarea visual complicada para largos periodos	200	Iluminación general, áreas productivas con procesos automáticos
Tareas de lectura de impresiones normales para largos periodos	300	Escuelas, clases universitarias, cocinas
Tarea con necesidad de contraste y de selección de partes pequeñas	500	Oficinas en general, laboratorios
Tarea con bajo contraste y piezas pequeñas	700	Oficinas técnicas de dibujo
Piezas muy pequeñas	1000	montaje electrónico
Piezas extremadamente pequeñas	1500	Trabajos de precisión y control
Piezas muy pequeñas con bajo contraste	2000	montaje de mecanismos pequeños

Figura 4. 4: Tabla de iluminación (lux) minimas requeridas según tarea.

Aspecto psicológico de la luz natural

La luz producida por el sol es un factor psicológico de reconocida importancia, ya que se adapta mejor a las necesidades visuales del ser humano que las fuentes de luz artificial.

Situaciones en las que no se tienen unas buenas condiciones de iluminación natural pueden repercutir en el estado de ánimo y salud de los usuarios, llegando a reducir los rendimientos en el trabajo. Ya que una iluminación insuficiente origina un mayor grado de fatiga. <sup>12</sup>

Existen estudios que relacionan el estado de salud con la luz natural, pues ésta es dinámica marcando en el individuo ciclos de sueño y actividad, que dependen del individuo y de la temperatura de color de la luz que les llega.

<sup>10</sup> SERRA, Rafael, *Arquitectura y climas*, Barcelona, Gustavo Gili, 2004.  
<sup>11</sup> YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *op.cit.*, pág. 440.  
<sup>12</sup> VVAA, *Ampliación de física. Térmica. Iluminación*, Valencia, Editorial UPV, 2008.

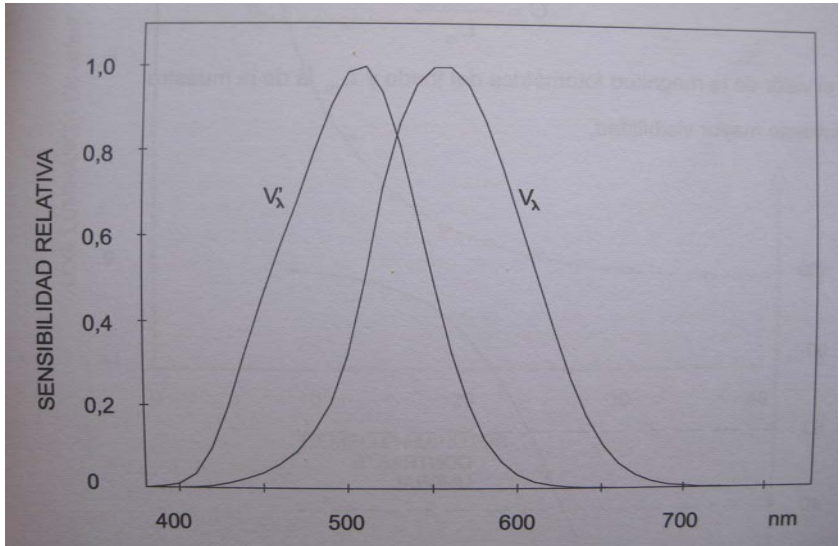


Figura 4. 5: Curva de visibilidad fotópica Vλ, y curva de visibilidad escotópica V'λ

Sensibilidad

Es la relación existente entre la sensación (respuesta relativa del receptor) y el impulso energético que la provoca.

En el estudio de la visión esta sensibilidad recibe el nombre de visibilidad, siendo función de la longitud de onda, en el caso de luz monocromática, o de la distribución espectral, si esta es compleja.

En la imagen aparecen dos curvas de visibilidad, la correspondiente a la *visión fotópica* (visión diurna) y *visión escotópica* (visión nocturna), ambas dan la sensibilidad espectral de la visión, y también reciben el nombre de curvas de eficacia luminosa relativa (Vλ), siendo un valor adimensional que se obtiene:

$$V_{\lambda} = k_{\lambda} / k_m \leq 1$$

siendo:

kλ = factor de visibilidad o eficiencia luminosa. Es nulo fuera de la banda del espectro visible.

Km = factor de visibilidad máximo, para λ=555 nm, para visión diurna, correspondiente a la zona del espectro amarillo-verde. Para la visión nocturna λ=505 nm, pues la visibilidad se desplaza hacia longitudes de onda más cortas.

Este desplazamiento de valores, al pasar de visión diurna a nocturna, se conoce como efecto Purkinje, que tiene como consecuencia que dos colores que durante el día tienen la misma luminosidad, al oscurecer uno se percibe más brillante. <sup>13</sup>

<sup>13</sup> VVAA, op. cit., pág. 133.

Contraste

Es la comparación relativa de dos valores de una misma magnitud fotométrica, aunque también puede aplicarse a determinados atributos cromáticos. A mayor contraste mayor visibilidad

C= Lf -Lm/Lm

siendo

Lf= el valor de la magnitud fotométrica del fondo

Lm= el valor de la magnitud fotométrica de la muestra

Deslumbramiento

El deslumbramiento se produce cuando una zona de la retina recibe una iluminación a la cual el ojo no está previamente adaptado. Cuando esto sucede se produce una pérdida total de la visión que puede perdurar durante un tiempo después de cesar el estímulo. El deslumbramiento está relacionado por tanto con el efecto de la adaptación.

Después de cierto tiempo en un espacio con una determinada claridad, al pasar a otro espacio con menor claridad no se perciben correctamente los detalles. El numero de detalles percibido crece con el tiempo de permanencia en la oscuridad.

En la figura se representan los valores medios del umbral absoluto de luminancia obtenidos experimentalmente en función del tiempo. En la gráfica se aprecia un punto de inflexión a los ocho minutos que se corresponde con la separación entre la visión diurna y la nocturna con umbrales absolutos inferiores.<sup>14</sup>

Existen dos causas principales de deslumbramiento: <sup>15</sup>

- o el exceso de luminancia o deslumbramiento por saturación, el cual se produce cuando la luminancia alcanza valores de 25000 cd/m², lo que puede ocurrir con una iluminación natural de 100000 lux, con radiación directa y difusa, al aire libre y con cielo despejado.
- o el excesivo contraste entre luminancias dentro del campo visual, aparece cuando se sobrepasa entre la zona de trabajo y su inmediato entorno la relación 3:1.

Para evitar el deslumbramiento con luz natural se deben adoptar medidas como:

- o Reducir la luminancia de la ventana utilizando vidrio de baja tansmitancia o traslúcido al menos en aquellas zonas cercanas al punto de trabajo.
- o Reducir el contraste de luminancias en la zona cercana a la ventana, bien mediante la luz de otras ventanas o lucernarios cercanos, lo que aumenta también el nivel de iluminación.
- o Reducir el contraste también con paredes y carpinterías de colores claros
- o Utilizar superficies que reflejen la radiación directa en forma difusa.
- o Utiliza elementos de protección solar, que se detallan más adelante

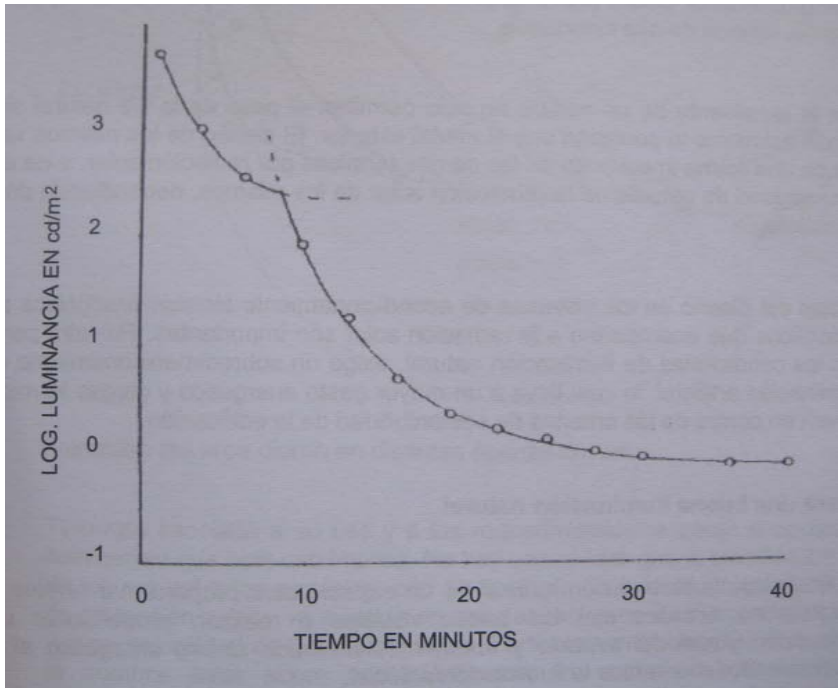


Figura 4. 6: Gráfica luminancia-tiempo

<sup>14</sup> VVAA, *op. cit*, pág. 135  
<sup>15</sup> YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *op.cit.*, pág 441.

### 4.3 Sistemas para el control de la luz natural

En nuestra latitud es importante ejercer un control adecuado sobre la luz solar, ya que ésta es la responsable de llegar a obtener un confort visual y térmico aceptables en el interior de locales habitables. Desde el punto de vista de la iluminación natural, deberemos tener especial cuidado que no se produzcan deslumbramientos, así como de garantizar una buena iluminación interior, la cual deberá poder ser regulada según la tarea a desempeñar. Mientras que desde el punto de vista térmico deberemos protegernos del sol en verano para evitar un sobrecalentamiento de las estancias, y dejar que éste entre en invierno para calentarlas, aprovechando de este modo su energía. Ambos análisis, el lumínico y el térmico, van ligados.

Los huecos orientados a norte ofrecen una iluminación regular sin deslumbramientos, pero tienen el inconveniente de no permitir el aprovechamiento de la energía solar, además pueden ser los causantes de la pérdida de calor en invierno. Estas aberturas son aptas para lugares de lectura o estudio.

Podemos evitar el deslumbramiento mediante los sistemas de protección solar. Las persianas de lamas y algunos tipos de cortinas pueden tener, también, un papel difusor importante sobre la componente directa que incide en el hueco. En los edificios de oficinas se utilizan vidrios especiales, principalmente absorbentes o reflectantes, sin embargo, este tipo de vidrios, que afectan a la transmitancia y reflectancia tanto de la luz difusa como de la luz directa, impiden que haya una cierta flexibilidad en la regulación de la luz incidente, en las distintas épocas del año<sup>16</sup>.

A parte de los sistemas para el control de la luz natural que se describen en las siguientes páginas, debemos nombrar también los elementos de captación de la luz natural, puesto que algunos de ellos, sino todos, tienen la capacidad de tamizar la luz que llega a las zonas habitables, controlando de una forma u otra el acceso de la luz directa, incluso algunos de estos elementos son capaces de crear un microclima entre el interior y el exterior. Entre ellos podemos nombrar: la galería, el porche, el patio, el atrio, conducto de luz, conducto solar, pared translúcida, muro cortina, claraboya, techo translúcido, cúpula, membrana y la ventana.

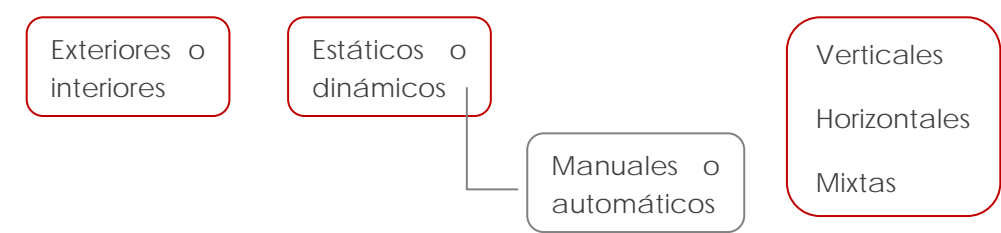
Además de los elementos para el control de la luz debemos tener en cuenta otros aspectos como:

- o Localización del edificio
- o La orientación del edificio.
- o La geometría
- o El tamaño y posición de los huecos en la fachada. Este aspecto determina la mayor parte del potencial para utilizar la luz natural.
- o Tamaño y distribución de los locales interiores
- o Posibles elementos externos capaces de obstruir la iluminación natural directa
- o La materialidad, el color y las texturas
- o Tipo de acristalamiento

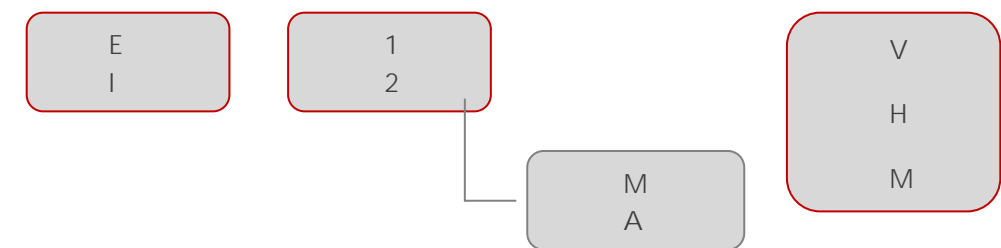
---

<sup>16</sup> YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *op.cit.*, pág.501.

Los sistemas para el control de la luz natural pueden ser:



Se ha confeccionado un sistema de identificación mediante letras y números, de forma que la clasificación anterior queda:



Así un toldo se identifica de la siguiente manera:

- E.1.V
- E.1.H
- E.2.M.H
- E.2.M.V
- E.2.A.H
- E.2.A.V

Una solución correcta para el control de la luz solar comienza con sistemas estáticos diseñados en la gestación del proyecto, como los voladizos o la propia geometría del edificio, y posteriormente, con la incorporación de elementos dinámicos, como las persianas o los toldos, allí donde sea necesario.





Figura 4. 9: Voladizo. Casa kaufman. Richard Neutra. Palm Spring. California.

A continuación se definen algunos elementos para el control de la luz natural:

**Voladizo.**

E.1.H

Es la parte del edificio que sobresale horizontalmente de la fachada por encima de un elemento de entrada de luz natural. Protege las zonas próximas a las aberturas del edificio, obstruyendo la radiación solar directa de ángulos elevados. Da como resultado un nivel de iluminación interior menor y proporciona apantallamiento solar<sup>17</sup>.

Debe estudiarse la longitud que tendrá el voladizo para permitir la entrada de radiación directa durante los meses de invierno y protegerla de la misma durante el verano. Para ello se debe conocer la localización de la construcción y la orientación de la fachada que se quiere proteger.

Como ventajas podemos citar que un voladizo bien diseñado servirá eficazmente a su propósito.

En cuanto a los inconvenientes, es un elemento que debe tenerse en cuenta en las primeras etapas del proyecto sin admitir modificaciones una vez ejecutado, es un elemento rígido por lo que si no se ha calculado bien su anchura podría darse el caso que diera el sol durante los meses calurosos o por el contrario, no llegaran en invierno.



Figura 4. 10: Porche. Vivienda en Monasterior. Ramon Esteve. Valencia

**Porche**

E.1.H

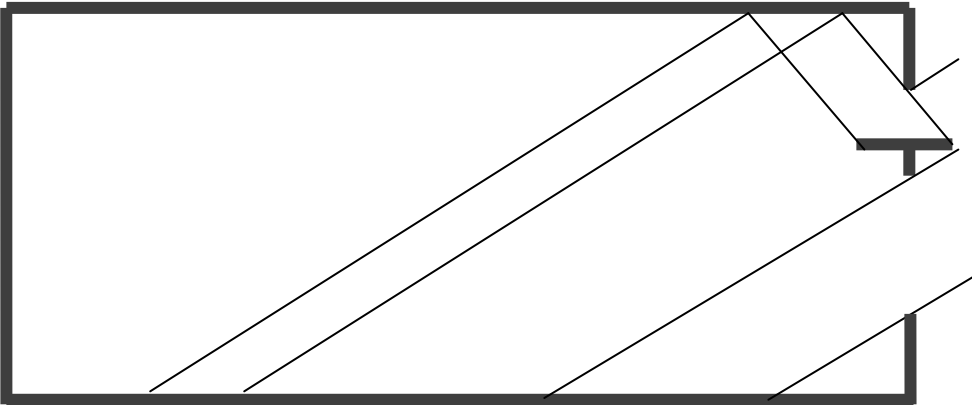
Es un espacio cubierto unido a una vivienda a nivel de suelo y abierto al entorno exterior. Es un espacio intermedio que permite la entrada de luz natural a las partes de la vivienda directamente conectadas al porche y las protege contra la radiación solar directa y la lluvia.

Como en el caso del voladizo, también es recomendable calcular la longitud que debe tener dicho elemento para permitir la radiación directa en invierno y proteger el interior de la vivienda de dichas ganancias solares en verano.

En cuanto a ventajas e inconvenientes, nos encontramos en el mismo caso que con los voladizos, aunque en este punto sería interesante añadir la posibilidad de cerrar los laterales de este espacio con el fin de salvaguardarse o no de los vientos dominantes, según la orientación y el uso de los mismos.

<sup>17</sup> IDAE, *Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios; guía técnica*. Madrid. Instituto para la diversificación de la Energía, 2005.





Estantes de luz

E+I.1.H

Un estante de luz tiene el efecto de incrementar la componente reflejada y redireccionarla al techo interior que trabaja como una fuente secundaria de luz natural, consiguiendo una distribución luminosa interior más uniforme. La ubicación de los estantes de luz con respecto al plano del edificio afecta su exposición al cielo, y por tanto su reflexión de luz sobre el techo interior. Está generalmente colocado horizontalmente, por encima del nivel de los ojos, en un elemento vertical de entrada de luz, dividiéndolo en una sección superior y otra inferior, reflejando luz adicional a través de la parte superior del vidrio, mientras actúa como un alero de sombra para la parte de abajo del vidrio en los meses de verano, protegiendo las zonas interiores próximas a las aberturas contra la radiación solar directa.

Además puede utilizarse para mejorar la iluminación interior que penetra por una ventana orientada a norte

La contribución de los estantes de luz a la iluminación interior está directamente afectada por la reflectancia del techo interior. La principal ventaja del estante de luz intermedio es la reducción del deslumbramiento desde el cielo a los lugares próximos a la ventana. Como inconvenientes, el estante de luz es un elemento rígido que hay que tener en cuenta desde las primeras etapas del proyecto.



Difusores de luz

I.1.V  
E.1.V

Es un elemento de control solar similar al anterior que sirve para evitar el deslumbramiento y la entrada directa de radiación solar. De la misma forma, por reflexión, es capaz de redistribuir en el interior del local una iluminación uniforme.

Como ventajas podemos destacar la ausencia o reducción del deslumbramiento así como la redistribución de la luz natural por reflexión. Como inconvenientes, la falta de flexibilidad como elemento propio de la construcción del edificio.

Figura 4. 11: Difusores de luz. Museo Príncipe Felipe. Santiago Calatrava. Valencia



Figura 4.12: Patio. Casa Escudero. Antonio Jiménez Torrecillas.

Patio

E.1.V

El patio, a lo largo de toda su evolución, se ha mantenido como parte central de la casa, un lugar abierto y protegido, un lugar de esparcimiento que ofrece seguridad e intimidad al aire libre, en oposición a los espacios cerrados.<sup>18</sup>

El patio está conformado por paramentos verticales. A la hora de proyectar un patio se ha de tener en cuenta, en primer lugar la latitud del lugar, para conocer las posibles longitudes de sombra que se van a dar a las distintas horas y elegir una dimensión de patio acorde para tener o no soleado el espacio interior; también se debe conocer la orientación, para conocer la dirección de las sombras y el movimiento del sol; se considerará también el uso que se le pretende dar, si va a ser un patio de verano o de invierno, o apto para ambas situaciones; estudiar así mismo su materialidad y color, ya que estos afectarían a la reflexión de la luz y al confort térmico del local habitable.

El patio, como el porche, es un elemento rígido que debe tenerse en consideración en el momento de la ideación del proyecto, teniendo en cuenta todos los parámetros mencionados anteriormente. Como ventajas, se puede decir que el patio es un elemento de transición entre el interior y el exterior en el cual se crea un microclima, que si está bien estudiado, puede cumplir con los parámetros de confort tanto en invierno como en verano.

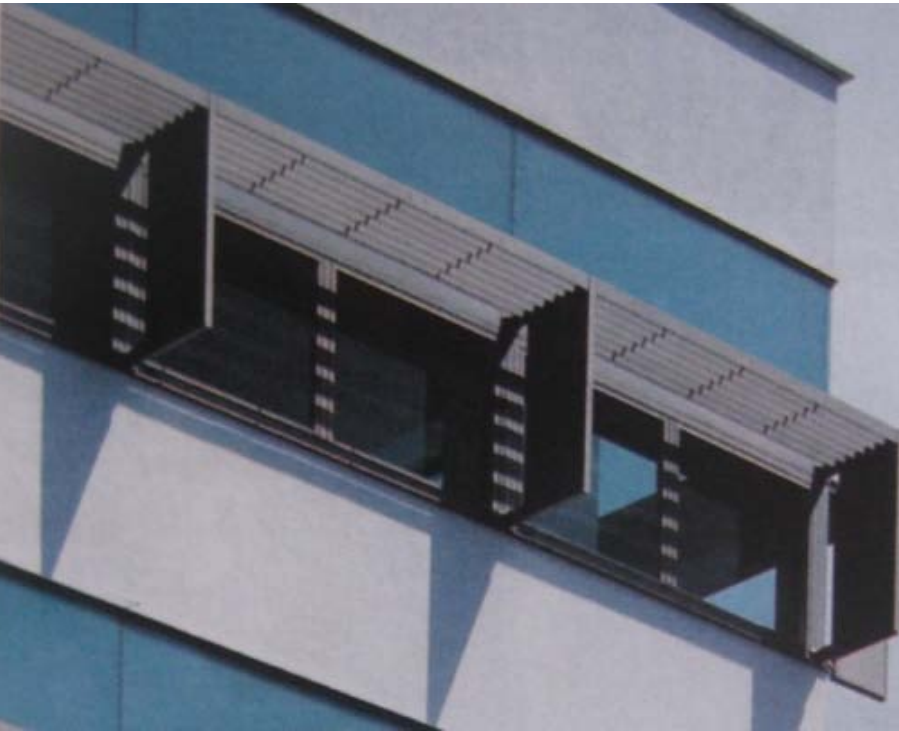


Figura 4.13: Apantallamiento vertical.

Apantallamiento vertical

E.1.V  
E.2.M.V

Es un elemento de control solar colocado verticalmente en el exterior de la fachada, y situado en un lado o en los dos lados del hueco. De esta forma, intercepta la radiación directa que incide sobre la ventana, impidiendo parcial o totalmente que los rayos solares lleguen a alcanzar el interior de la estancia. Este tipo de control solar sería eficaz en las fachadas este y oeste, pero no en la sur.

Puede ser un elemento estático, impidiendo cualquier movimiento. En este caso deberá estar calculado de forma que en invierno permita la entrada de rayos solares y en verano no.

Si permitimos su movimiento ganamos flexibilidad a la hora de manipularlas según las necesidades y la época del año. Además según su composición podrían servir también como oscurecimiento de la estancia.

<sup>18</sup> BLASER, Werner, *Patios: 5000 años de evolución desde la antigüedad hasta nuestros días*, Barcelona, Gustavo Gili, 1997, pág.7.





Figura 4.14: Celosía. Centro de investigación príncipe Felipe. Ramón Esteve. Valencia.

I.1.H	E.1.H
I.1.V	E.1.V
I.2.M.H	E.2.M.H
I.2.M.V	E.2.M.V
I.2.A.H	E.2.A.H
I.2.A.V	E.2.A.V

Celosía

Elemento exterior o interior compuesto por láminas situadas en la totalidad de una abertura vertical. Las láminas pueden ser fijas o móviles, cuando son móviles pueden ser ajustadas de acuerdo con el ángulo del sol y con los requisitos del apantallamiento. Pueden estar hechas de materiales de construcción, cuando se encuentran en el exterior, o de otros materiales cuando se encuentran en el interior.

Este elemento tiene más ventajas que inconvenientes siempre y cuando puedan ser regulables, de este modo es más fácil controlar la luz natural que entra en la vivienda o local. Es un sistema flexible y su coste depende del material y sistema utilizado. Ahora bien, debe tenerse en cuenta en que orientación se colocan, pues las horizontales funcionan eficazmente en las fachadas orientadas a sur, mientras que las fachadas este y oeste, necesitan elementos verticales para el control de la luz solar.



Figura 4.15: Lamas. Casa kaufman. Richard Neutra. Palm Spring. California.

Dentro de esa categoría están englobados todos los sistemas conformados con lamas, ya sean de gran envergadura como los realizados con materiales pesados, como el hormigón. O los realizados con materiales más ligeros como el Aluminio. Estos últimos son los que dan la opción de ser regulables, pudiendo orientarlos según las necesidades del consumidor o incluso pueden ser automáticos, dotados con células fotovoltaicas que orienten las lamas en la posición más favorable según la radiación solar directa. Los sistemas de gran envergadura normalmente son fijos por su peso, es por ello que su anchura y distancia entre elementos debe estar calculada para, como se ha dicho, dejar pasar o no os rayos solares.



Figura 4.16 : Piel en edificio de la Universidad Politécnica de Valencia.

Alfeizar

E.1.H  
I 1 H

Elemento colocado horizontalmente en la parte inferior de una abertura de una ventana. Puede reflejar y dirigir la luz natural que incide sobre e a fin de aumentar el nivel luminoso en el espacio interior. La inclinación puede ser elegida de acuerdo con el ángulo del sol puede producir deslumbramiento cuando está situado por debajo del nivel de los ojos.

Las ventajas o inconvenientes de este elemento dependerán del material que lo conforme, así pues un material muy reflectante causaría deslumbramientos molestos y un material muy oscuro no reflejaría la luz, por lo que no serviría para este cometido y además se sobrecalentaría por la acción del sol.

Piel

E.1.H  
F 1 V

Es un elemento que normalmente es permeable y está separado de la fachada cierta distancia, colocándose bien en una de las fachadas o envolviendo todo el edificio. Consigue tamizar la luz que penetra por los huecos de dicha fachada.

Como ventajas podemos comentar su tratamiento de la luz natural dentro de las estancias. Y en cuanto a los inconvenientes se puede mencionar su rigidez, y que en determinados momentos del día los rayos solares podrían penetrar directamente en el interior de dichas estancias.



Figura 4.17: Arbolado. Casa Rocafort. Ramon Esteve. Valencia

Vegetación

E.1.V

Además de lo ya mencionado se utiliza también la protección del arbolado, que habrá de ser de hoja caduca y si no lo es, consideraríamos su altura para como se ha dicho, dejar pasar los rayos en invierno y no permitirlo en verano.

La presencia de arbolado y vegetación es un elemento interesante como mecanismo de control solar (luminico y ambiental).

Este sistema es muy efectivo en cuanto a control solar, siempre que se tenga en cuenta el tipo de arbolado, su hoja y dimensiones. Como inconvenientes podríamos mencionar la posibilidad de equivocarse al elegir un tipo determinado de arbolado no característico de la zona, con los problemas que ello puede conllevar, como un gasto excesivo de agua o la muerte del árbol.





Figura 4.18: Toldo. Vivienda unifamiliar.

- E.1.H
- E.1.V
- E.2.M.H
- E.2.M.V
- E.2.A.H
- E.2.A.V

**Toldo.**

Elemento de control de luz hecho de un material flexible opaco o difusor colocado en el exterior de un componente de captación para obstaculizar o difundir la radiación solar directa. Proporciona una iluminación de bajo contraste en la zona próxima al toldo y una sombra parcial o total para la ventana cuando así se requiere. Su modo de proteger de la luz solar permite evitar la penetración directa sin impedir la visión del exterior.

Es un elemento muy flexible puesto que se puede hacer uso de él cuando se necesite, además es de bajo coste.

Como inconvenientes podría mencionarse que el plástico o textil del que está confeccionado se deteriorará con el tiempo, por efecto de la radiación, del viento y la lluvia, haciendo necesario su cambio para que resulte efectivo.



Figura 4.19: Cortina. Oficina Silver Lake. Los Angeles

- I.2.M.V
- I.2.A.V
- E.2.M.V
- E.2.A.V

**Cortina.**

Elemento de control, hecho de un material flexible o rígido, colocado en el interior de una abertura para proteger contra la visión a su través y para proteger las zonas interiores próximas a la abertura, obstaculizando total o parcialmente o difundiendo la radiación solar. Puede enrollarse o retirarse lateralmente, dejando la ventana abierta a la radiación y a la visión cuando se desee. Puede ser opaca para oscurecer totalmente el interior.

Como ventajas este elemento aporta su flexibilidad y bajo coste. Sin embargo al ser un elemento que se coloca por el interior del cerramiento ya no es tan efectivo desde el punto de vista térmico como los elementos exteriores.



Figura 4.20: Persiana. De la casa gradhermetic.

I.2.M.H	E.2.M.H
I.2.M.V	E.2.M.V
I.2.A.H	E.2.A.H
I.2.A.V	E.2.A.V

Persiana.

Elemento exterior o interior que se dispone en las ventanas para controlar la penetración de la luz solar directa o incluso de la luz difusa.

Existen en el mercado persianas enrollables y orientables que además tienen una función de seguridad contra intrusos, como la que se muestra en la imagen, de la casa *gradhermetic*. Dichas persianas están dotadas de un sistema automático para que el usuario las disponga según le convenga en cada situación diaria.

Este tipo de protección solar es efectivo y flexible, sirven tanto para oscurecimiento de la estancia, regulación de la luz incluso protección de vistas sin dejar de permitir la entrada de luz. Su coste dependerá de los materiales utilizados y de las nuevas tecnologías incorporadas.



Figura 4.21: Pérgola adosada a vivienda.

E.1.H
-------

Pérgola

La pérgola suele ser una estructura ligera que puede ir adosada a la vivienda o independiente de la misma. A su vez puede ir cubierta para la protección solar por toldos o por vegetación.

Es un sistema eficaz para la creación de sombra en el exterior que además según su posición respecto a la vivienda proporcionará también protección solar al interior de la misma. Suele ser un sistema rígido pero también liviano, de manera que en invierno dejaría pasar los rayos solares. Sin embargo, es un elemento que para satisfacer las necesidades de protección solar en las épocas estivales necesita de otros elementos como toldos o enredaderas.



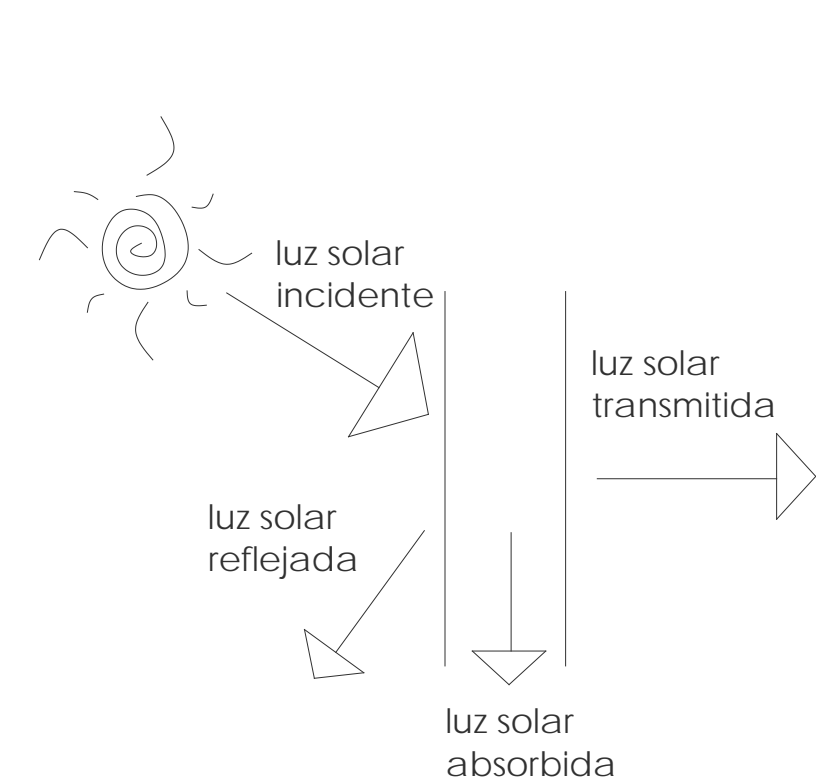


Figura 4.22: Distribución espectral de la luz solar

- E.1.V  
E.1.H  
E.2.A.V  
E.2.A.H

Tipo de vidrio

El tipo de vidrio puede considerarse como un sistema de control solar, tanto lumínico como térmico, pero hablaremos aquí únicamente de sus ventajas lumínicas. Pueden ser transparentes o tintados, formados por distintas capas o simples, y de distintos espesores. La característica principal que define al vidrio, en cuanto a propiedades lumínicas, es su transmisión luminosa, que es el coeficiente que expresa el porcentaje de luz natural que deja pasar el vidrio. Podemos nombrar algunos tipos vidrios que desempeñan la función de protección de luz solar:

- o **Vidrio reflectante.** Este tipo de vidrio se obtiene depositando una capa metálica muy fina y semitransparente en la superficie del vidrio que refleja una gran parte de la radiación luminosa (e infrarroja) hacia el exterior. Esta recomendado para lugares que requieran un alto nivel de control solar. Dentro de este grupo están los denominados acristalamientos selectivos que ejercen principalmente su acción reflectora sobre los rayos invisibles (UV e infrarrojos) pero dejan penetrar en el interior un máximo de rayos visibles del sol.
- o **Vidrio con masa de color.** Se consiguen añadiendo óxidos a la masa, de forma que el color verde se consigue añadiendo óxido de hierro, para lograr un color gris se le añade óxido de cobalto, y óxido de selenio para obtener el color bronce. Estos vidrios reducen la entrada de luz visible y la transmisión de energía solar. Son muy absorbentes, por lo que tienden a experimentar un exceso de tensión térmica y por ello se tienen que templar. Están recomendados para cerramientos donde es necesaria una determinada prestación en control solar.



Figura 4.23: Vidrio reflectante. Casa debon. Jose Luis Fuster. Vall Uxó.

Existen diversos sistemas que alojan minúsculos objetos ópticos y perfiles en la cámara intermedia situada entre las dos hojas de vidrio, entre ellos:

- o **Vidrio director de luz.** Se introducen perfiles acrílicos que, debido a la reflexión total producida dentro del perfil, orientan la luz hacia el techo de una estancia.
- o **Vidrio prismático.** Incorpora una lámina prismática en su interior, compuesta por una matriz de prismas o cuñas triangulares, cuya geometría puede ser diseñada para condiciones y orientaciones particulares. Controla la luz transmitida por refracción, cambiando la dirección de la luz directa en su paso por dicha lámina, y también puede ser diseñada para volver a dirigir o excluir la luz solar. No son transparentes, sino translúcidas.
- o **Espejos alojados en vidrio doble.** La superficie de estos espejos presenta diferentes curvas parabólicas y su colocación permite el paso de la radiación solar oblicua del invierno mientras que refleja la perpendicular del verano<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> BRANDI, Ulrike, "Sistemas para el control de la luz natural", *Detail*, nº 4, 2004.

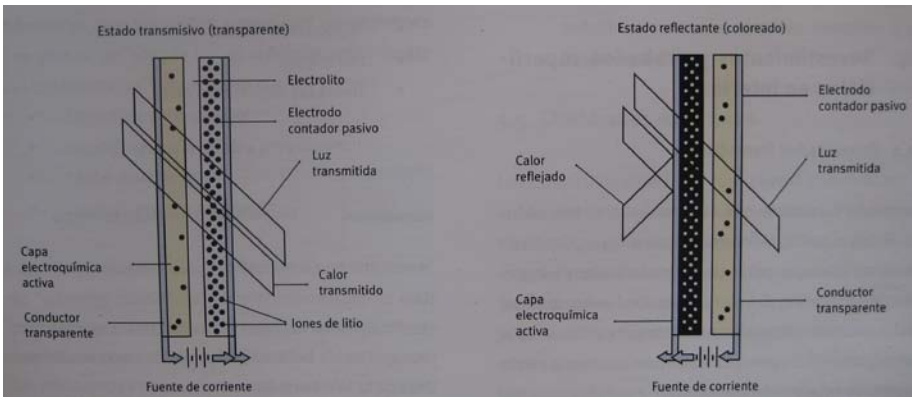


Figura 4.24: Cristales electrocrómicos.

- o **Laser cut Panels (LCP).** Se conforman realizando pequeños cortes con láser en la superficie de un panel acrílico, el cual se dispone entre dos láminas de cristal de un acristalamiento doble. Con ello se consigue dispersar la luz natural por refracción. Además con este sistema se pueden realizar diversos motivos.
- o **Elementos ópticos holográficos.** Estos contienen una película holográfica embebida en el vidrio compuesto que refleja la luz. Los elementos ópticos holográficos son eficaces en determinados ángulos por lo que suelen colocarse en grupo. Pueden ser diseñadas para dirigir la entrada de luz solar a una superficie reflectante, como el techo, o a la profundidad de una estancia. También puede ser diseñada para reflejar la luz solar que proviene de ángulos determinados, como un ángulo alto en fachadas orientadas a sur, o un ángulo bajo en las fachadas orientadas a este y oeste.

Vidrios cromogénicos sensibles.

- o Los cristales **electrocrómicos** cambian sus propiedades de absorción óptica y se oscurecen en respuesta a un campo eléctrico aplicado exteriormente. La opacidad desaparece cuando el campo es inverso. Su vida útil actualmente es muy corta.
- o El cristal **termocrómico** cambia entre un estado de transmisión de color y un estado de reflexión de color en umbrales de temperatura seleccionados.
- o El cristal **fotocrómico** se oscurece e ilumina en repuesta a cambios en la intensidad de la luz<sup>20</sup>.

Vidrios con células fotoeléctricas

Se trata de un sistema automático que se acciona por la intensidad de luz natural que le llega, funciona como el diafragma de una cámara de fotos que se abre cuanto menos luz exterior reciben y viceversa. Podemos citar las celosías móviles utilizadas por Jean Nouvel en las fachadas del Instituto del mundo árabe, las cuales son accionadas por células fotoeléctricas. De esta forma el edificio controla automáticamente su propia luminosidad.

Definiciones:

**Vidrio aislante:** el mejor recurso para mejorar la aislación térmica de una superficie vidriada es emplear unidades de doble vidriado compuestas por dos vidrios, separados entre sí por una cámara de aire seco y estanco, que es la que aporta la mejora de aislamiento térmico  
**Factor solar de un acristalamiento:** expresa el porcentaje total de energía, y por tanto, de calor que lo atraviesa.  
**Selectividad de un acristalamiento:** es la relación entre su transmisión luminosa y su factor solar. Cuando este factor se aproxima más de 2, más selectivo es el acristalamiento.



Figura 4.25: Sistema automático. Instituto del mundo árabe. Jean Nouvel. Paris.1982

<sup>20</sup> IDAE, *op.cit.*



5. Ganancias y pérdidas de calor

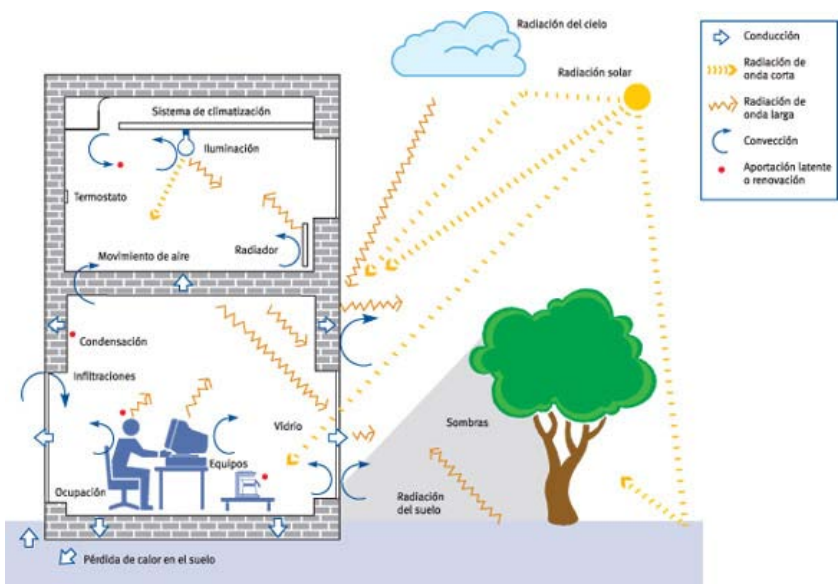


Figura 5. 1: Distintas transferencias de calor en un local habitable.

5.1 Introducción a la térmica. Transmisión de calor.

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. El calor tiene diferentes mecanismos de transmisión sobre la envolvente de un edificio.

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: la conducción, la convección y la radiación.

En la interacción entre edificio, ocupante y exterior entran en juego los tres mecanismos tal y como se muestra en la figura 5.1.

Conducción

La conducción es una forma de transferir el calor desde una masa de temperatura más elevada a otra de temperatura inferior mediante un contacto directo entre ambas masas. Es característico de los sólidos opacos donde la energía pasa desde cada elemento de material al adyacente sin flujo de materia.

La causa del transporte 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.<sup>21</sup>

La conducción responde a la ley de Fourier, o ley de transmisión de calor: el flujo de calor por conducción a través de una superficie dada, es directamente proporcional al gradiente de temperaturas que existe entre las superficies y a la conductividad térmica del material con la que se ha construido.

q = -λ · dT/dx

λ es la conductividad térmica: cantidad de calor que en un segundo atraviesa en la dirección x un metro de espesor de material, cuando existe una diferencia de 1°C entre las dos superficies. Sus unidades en SI son el W/m °C.

dT/dx es el gradiente de temperaturas respecto al eje x en grados/metro

El signo negativo indica que le sentido del flujo es contrario al aumento del gradiente de temperaturas. Como se sabe, el calor va de donde hay mayor a donde hay menor temperatura.

materiales	λ (W/m °C)
Argón	0,018
Aire seco	0,025
Vapor de agua	0,026
Poliestireno expandido	0,036
Lana de vidrio	0,040
Termoarcilla 18	0,30
Ladrillo hueco 7cm	0,35
Vidrio	0,35-1,30
Mortero	0,50-0,70
Agua líquida	0,612
Hormigón	0,90-1,20
Hielo	2,20
Acero	45
Aluminio	204
Cobre	380

Figura 5. 2: Tabla de conductividades térmicas de algunos materiales.

<sup>21</sup> SOTO CAMINO, Juan, *op.cit.*

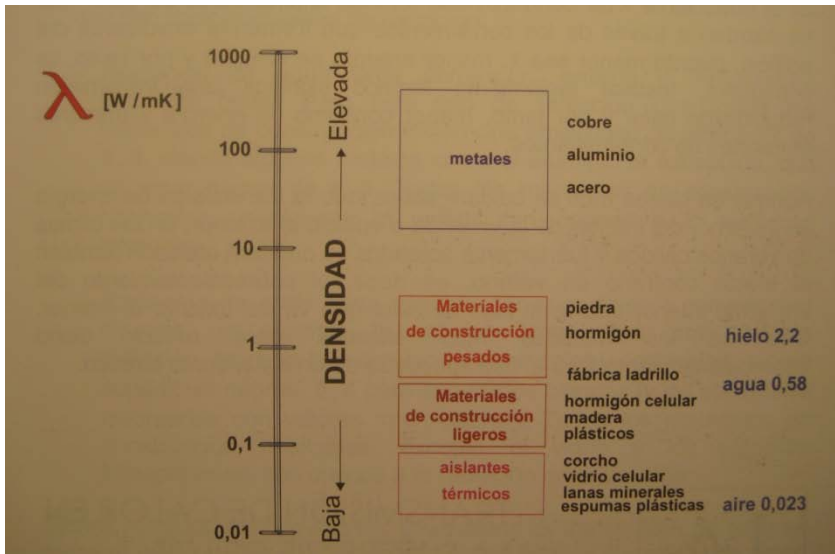


Figura 5. 3: Valores de λ para distintos materiales.

Si el cerramiento no experimenta cambios de temperatura con el tiempo, ya que esta permanece constante, se denomina transmisión térmica en régimen estacionario y el flujo de calor es función directa de la conductividad térmica de los materiales.

Si no existe equilibrio, bien porque el cerramiento no ha tenido tiempo de estabilizarse o porque las condiciones de entorno varían con el tiempo, se denomina transmisión en régimen transitorio y se caracteriza porque la temperatura en cada punto del cerramiento varía con el tiempo. Una consecuencia de la variación de temperatura en el interior del cerramiento es la acumulación de calor, esta capacidad de almacenar calor está relacionada con el *calor específico* del material.<sup>22</sup>

La resistencia térmica es una característica del cerramiento y se calcula mediante la conductividad térmica del cerramiento y su espesor:

$$R = e / \lambda$$

Su unidad de medida en el sistema internacional es m² °C/W.

La conductancia o transmitancia (U), es la inversa de la resistencia térmica (R). Es la cantidad de energía que atraviesa, en la unidad de tiempo, una unidad de superficie de un elemento constructivo de caras plano paralelas cuando entre dichas caras hay un gradiente térmico unidad.

$$U = 1 / R$$

Convección

La convección es el mecanismo de transmisión de calor que se caracteriza por el transporte de materia que se produce entre regiones de diferentes temperaturas. Esta forma de transporte es característica de los materiales fluidos (gases o líquidos), se produce siempre que, en un fluido, se establece un campo de temperaturas no uniforme. 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 forma que el fluido con mayor temperatura sube y es sustituido por fluido de menor temperatura.

<sup>22</sup> APARICIO FERNANDEZ, Carolina Sabina, *Revestimientos ventilados en la arquitectura contemporánea. Influencia del diseño constructivo y su entorno en el comportamiento térmico*. Tesis doctoral dirigida por José Luis Vivancos Bono, Departamento de Proyectos de Ingeniería, inédito, Valencia, 2010.

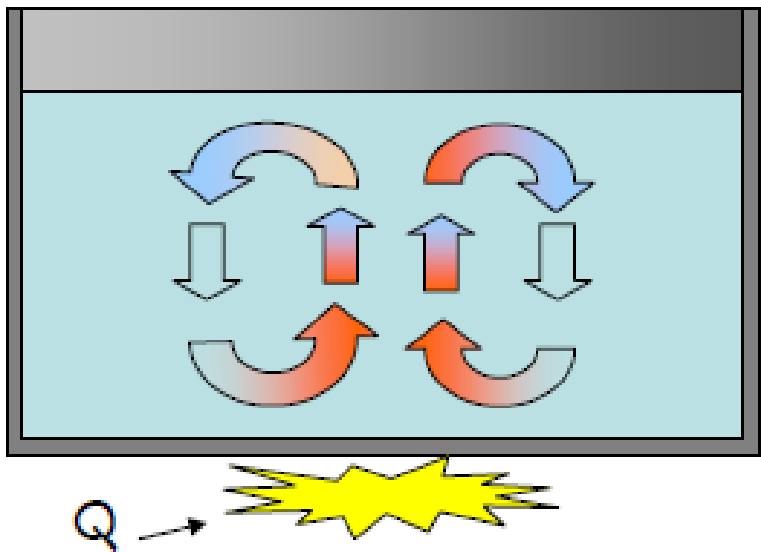


Figura 5. 4: Convección térmica

$$\Phi = h \cdot S \cdot \Delta T$$

$\Phi$  es la potencia disipada (energía transportada por unidad de tiempo)  
 $h$  es el coeficiente de convección  
 $S$  la superficie de contacto  
 $\Delta T$  la diferencia de temperaturas entre la placa caliente y el seno del fluido

Valores típicos de coeficiente de convección (W/m²°C)	
Convección libre en aire	5-25
Convección libre en agua	500-1000
Convección forzada en aire	10-500
Convección forzada en agua	100-15000
Agua hirviendo	2500-25000
	2,5
	5
	0,7

Figura 5. 5: Tabla de valores típicos del coeficiente de convección.

Cuando un cuerpo se enfría en el seno de un fluido, el flujo de calor depende, entre otros factores, de la diferencia de temperaturas entre el cuerpo y el fluido, de la velocidad del fluido, de la densidad, viscosidad, calor específico y conductividad térmica del fluido y de la naturaleza, forma, dimensiones y orientación del cuerpo. Además, las condiciones físicas del fluido dependen a su vez, de la temperatura y presión y, por ello, el cálculo riguroso del flujo de calor por convección no es sencillo y se recurre a métodos experimentales.

El coeficiente de convección,  $h$ , engloba el efecto de la capa límite en cuanto a su espesor y conductividad, expresado en W/m²°C. A su vez, la resistencia térmica superficial es igual a 1/ $h$ .

Para la convección natural, que se da en el interior de los edificios, los intercambios por convección entre un cerramiento y el aire en contacto con él dependen fundamentalmente de la dirección del flujo de calor, que es el que determina la dirección del movimiento del aire, y en consecuencia, la facilidad o dificultad que encuentra el aire en su movimiento. Los valores habituales par el coeficiente de convección natural en superficies interiores son según el UNE-EN ISO 6.946 las que se muestran a la izquierda.

Para la convección forzada, que se da en el exterior de los edificios, el factor determinante es la velocidad del aire, calculando el coeficiente de convección forzada en superficies exteriores mediante la expresión:<sup>23</sup>

$$h=4+4 \cdot V$$

$V$  es la velocidad del aire adyacente en m/s

<sup>23</sup> VVAA, *Ampliación de física. Térmica. Iluminación*, Valencia, Editorial UPV, 2008, pág. 19-22.

Materiales de construcción	emisividad
Cuerpo negro	1
Aluminio anonizado	0,4
Hierro, acero pulido	0,24-0,44
Hierro, acero galvanizado	0,075
Cobre pulido	0,095
Hormigón	0,90
Yeso	0,90
Vidrio	0,89-0,95
Vidrio con baja emisividad	0,1
Madera	0,90
Mármol claro pulido	0,85
Escayola	0,89
Ladrillo	0,92-0,95

Figura 5. 6: Tabla de valores de emisividad de algunos materiales de construcción.

Emisividad del marco de huecos y lucernarios (CTE HE1)			
Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

Figura 5. 7: Tabla de valores de emisividad de marcos de huecos y lucernarios.

Radiación

La radiación es la transmisión de calor por ondas electromagnéticas (normalmente del IR) que emite un cuerpo caliente y absorbe un cuerpo frío. La onda electromagnética no requiere de medio material para su propagación y su transmisión es instantánea (300.000 km/s). Todos los cuerpos emiten esta radiación y, a su vez, absorben la radiación térmica procedente de otros cuerpos presentes.

La radiación térmica ocupa en el espectro la franja entre 0,1 y 100 µm de longitud de onda. Es una zona de solape que comprende parte del espectro infrarrojo y parte del ultravioleta.

Se ha comprobado que materiales distintos a la misma temperatura irradian potencias caloríficas distintas dependiendo de la naturaleza del medio material, de sus características superficiales (color y rugosidad), y varían para cada longitud de onda y para cada dirección de emisión. Estos valores cambian al variar la temperatura.

Todas las superficies opacas emiten energía en forma de radiación en una magnitud proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta *T* y de la superficie radiante *A*. Los cerramientos opacos emiten radiaciones de onda larga, correspondiente al infrarrojo lejano, procedente de sus superficies a temperaturas típicas del ambiente, en función de una propiedad superficial denominada *emitancia*, y de forma simultánea absorben radiaciones similares emitidas por las superficies visibles de su entorno, en un proceso denominado *irradiación*, donde se determina según la Ley de Planck:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A$$

$\varepsilon$  es la emisividad del material (adimensional)  
 $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann en W/m²K⁴ ;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W / (m}^2\text{K}^4\text{)}$   
*T* es la temperatura superficial del objeto  
*A* es el área del objeto analizado en m²

La emisividad ( $\varepsilon$ ) es un parámetro característico de la superficie de un cuerpo que indica cuán alta es la capacidad de radiación del cuerpo en sí; a menor emisividad, menor transferencia de calor por radiación. Se adjuntan valores de la emisividad de algunos materiales de construcción.

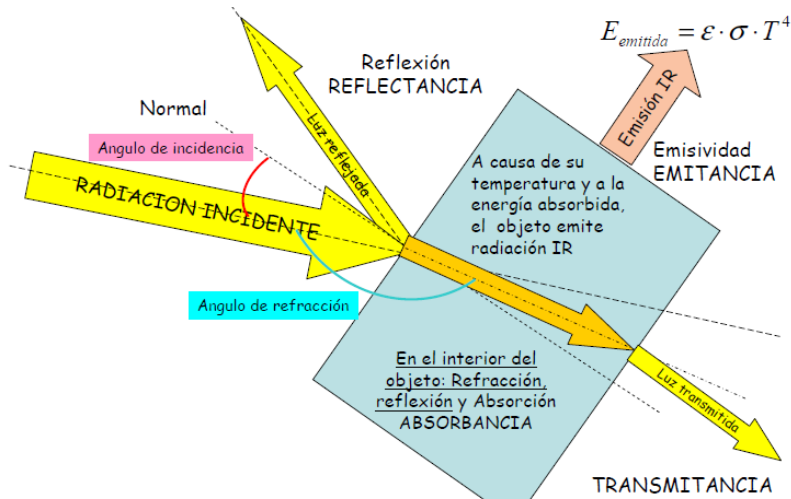


Figura 5. 8: Radiación incidente

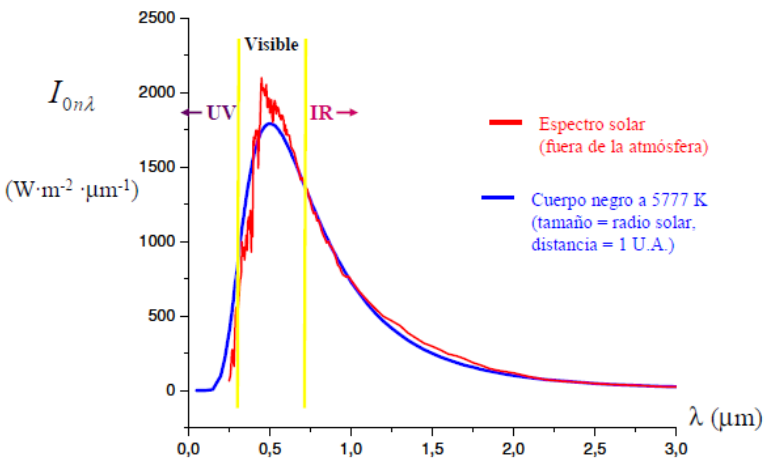


Figura 5. 9: Espectro solar.

Cuando esta radiación térmica incide sobre un medio material, la energía incidente se reparte en:

E incidente = E reflejada + E absorbida + E transmitida = 1= ρ +α + δ

La reflectancia (ρ) de un cuerpo es el cociente entre la energía de radiación reflejada y la incidente. Es la cantidad de energía 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.

La absorptividad (α) de un cuerpo es el cociente entre la energía de radiación absorbida y la incidente.

La transmitancia (δ) de un cuerpo es el cociente entre la energía de radiación transmitida y la incidente.<sup>24</sup>

Los espejos (ρ=1) son capaces de reflejar casi toda la radiación incidente, mientras que los cuerpo transparenteδ≠1) son capaces de transmitirla a su través. Los cuerpos opacos (δ=0) no transmiten la radiación.

Un cuerpo negro (α=1) es el que absorbe toda la radiación incidente, sin reflejar ni transmitir nada, es el elemento de referencia para la cuantificación de los fenómenos de emisión y de absorción de la radiación térmica. El cuerpo negro es el que más energía emite en cada longitud de onda a una temperatura dada, siendo independiente de la dirección de emisión.

La energía emitida por un cuerpo negro obedece a la ecuación de Planck, que muestra que la densidad de energía radiada y su longitud de onda depende de la temperatura del cuerpo radiante. Además demuestra que la longitud de onda dominante es proporcional a la temperatura absorbente de la superficie radiante, obteniendo para un cuerpo de emisividad ε:

E = ε · σ · T^4

ε = energía emitida por cuerpo considerado/energía emitida por cuerpo negro

Su valor es 1 para un cuerpo negro. Para el cuerpo gris la radiación incidente bien se refleja, se absorbe o bien se transmite en parte. Los valores del coeficiente de emisividad van de 0 a 1, dependen del material y de la temperatura de la superficie del material analizado.

<sup>24</sup> VVAA, *op.cit.*, pág. 22-28.

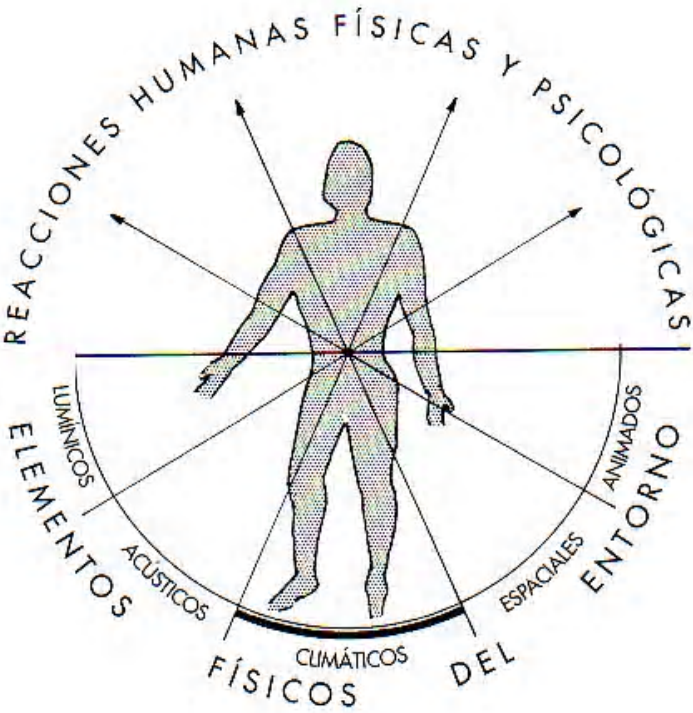


Figura 5. 10: Confort ambiental en el ser humano

	temperatura	Velocidad media aire m/s	Humedad relativa %
Verano	23-25	0,18-0,24	40-60
invierno	20-23	0,15-0,20	40-60

Figura 5.11:Intervalos para alcanzar el confort térmico para invierno y verano.

5.2 Confort térmico

Los intercambios térmicos entre el cuerpo y el ambiente a través de la piel son debidos a las diferencias de temperatura existentes. Según el Principio Cero de la Termodinámica, hasta que se alcanza el equilibrio térmico (igualdad de temperaturas) entre dos cuerpos a distinta temperatura, se producen transferencias netas de calor desde los cuerpos de temperaturas más elevadas a los más fríos. Una vez alcanzado el equilibrio térmico, y si no actúa ninguna perturbación térmica, la cantidad de calor que pasa de uno a otro es la misma en ambos sentidos.<sup>25</sup>

La temperatura de una persona debe permanecer constante, normalmente a 37°C. El cuerpo humano intercambia calor con el ambiente interior en el que se encuentra mediante los mecanismos de transferencia de calor, como son la radiación, la convección, la conducción y la evaporación. En situaciones de frío, el cuerpo deberá tener aportación de energía que iguale el flujo de pérdidas para evitar la disminución de su temperatura, y en situaciones de calor intentará evitar que se sobrepasen los 37°C.

Si partimos de la necesidad que tiene el cuerpo humano de mantenerse a una temperatura constante, llegaremos a la conclusión de que necesita un marco ambiental termoestable en el que realizar sus actividades vitales, dicho marco es lo que se llama *zona de confort*.

La sensación de confort higrotérmico se obtiene cuando el ambiente permite la regulación normal de la temperatura del cuerpo humano y de la humedad requerida por la piel y las mucosas en contacto con el aire. Este intercambio de calor debe producirse a una velocidad adecuada; ya que una mayor velocidad implica sensación de frío y una menor velocidad, sensación de calor.

Para conseguir esa sensación de confort térmico las condiciones de temperatura y humedad, en términos medios, han de ser las siguientes: en invierno la temperatura seca resultante (compuesta por el efecto de convección y radiación sobre el cuerpo humano) ha de ser igual a 22 °C y la humedad relativa no debe bajar de 30%. Para le verano la temperatura efectiva (debida al efecto combinado de la temperatura y la humedad) debe ser igual a 24 °C con una humedad relativa no superior al 70%. Sin embargo, las condiciones de confort térmico no se restringen a un punto de coordenadas: (temperatura, humedad), sino que admiten un dominio de variación, la zonda de confort, este dominio corresponde a la zona de equilibrio en la que se requiere el mínimo gasto de energía proveniente del cuerpo para adaptarse térmicamente al ambiente.<sup>26</sup>

<sup>25</sup> VVAA, *op.cit.*, pág.3.  
<sup>26</sup> YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *Arquitectura solar e iluminación natural; conceptos, métodos y ejemplos*, Madrid, Munilla Leria, 2008, pág. 120,139.



Los parámetros que definen el confort higrotérmico son la temperatura del aire, temperatura media radiante, humedad del aire, la velocidad del aire, así como el nivel de actividad y vestimenta.

Cada uno de los parámetros interactúa con los demás, haciendo imposible considerar cada uno de forma aislada.

#### **Temperatura del aire**

En el intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente es conveniente que éste no sea demasiado frío, porque la pérdida de calor sería elevada y la piel se enfriaría provocando molestias, ni demasiado caliente porque la pérdida sería muy pequeña, produciéndose sudoración para restablecer el equilibrio y llegando a resecar el organismo por exceso de transpiración.

#### **Humedad relativa del aire**

La influencia de la humedad del aire, en la sensación de calor, crece con la temperatura. Con altas humedades no es posible conseguir el bienestar térmico, en condiciones de altas temperaturas produce sensación de bochorno, mientras que en bajas temperaturas la incomodidad del frío se hace mayor. Así mismo, en condiciones de muy baja humedad la sequedad del aire reseca las mucosas y dificulta la respiración produciendo sensación de molestia.

#### **Temperatura radiante de las superficies interiores**

Las superficies interiores de los cerramientos u otros objetos, en función de su temperatura, emiten radiación térmica, convirtiéndose en superficies radiantes calientes o frías, intercambiando calor con el cuerpo humano a través de la piel. El intercambio de calor por radiación puede ser muy significativo cuando existen diferencias apreciables de temperatura entre la piel y las superficies próximas, que es el caso de paredes frías en invierno o calientes en verano. Si hay paredes a distintas temperaturas, porque a unas les llega la radiación directa y a otras no, habrá una situación de no confort térmico.

#### **Velocidad del aire**

Los cambios por evaporación y convección son función de la velocidad del aire. Un aumento de ésta produce una mayor renovación de aire en contacto con el cuerpo, y por tanto, un mayor intercambio calorífico, a la vez que se humidifica al acelerarse la evaporación. La velocidad del aire, dentro de ciertos límites, mejora la sensación de confort higrotérmico en climas calientes y húmedos, mientras que en condiciones de invierno las corrientes frías producen gran sensación de molestia.

#### **Actividad a desarrollar**

El frío es tanto menos soportable cuanto menor es la actividad, mientras que con el calor ocurre lo contrario, llegando a ser difícil la actividad física con temperaturas elevadas. El ambiente debe adaptarse al tipo de actividad a desarrollar tanto en su temperatura como en su humedad.<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> VVAA, *op.cit.*, pág.5,6.



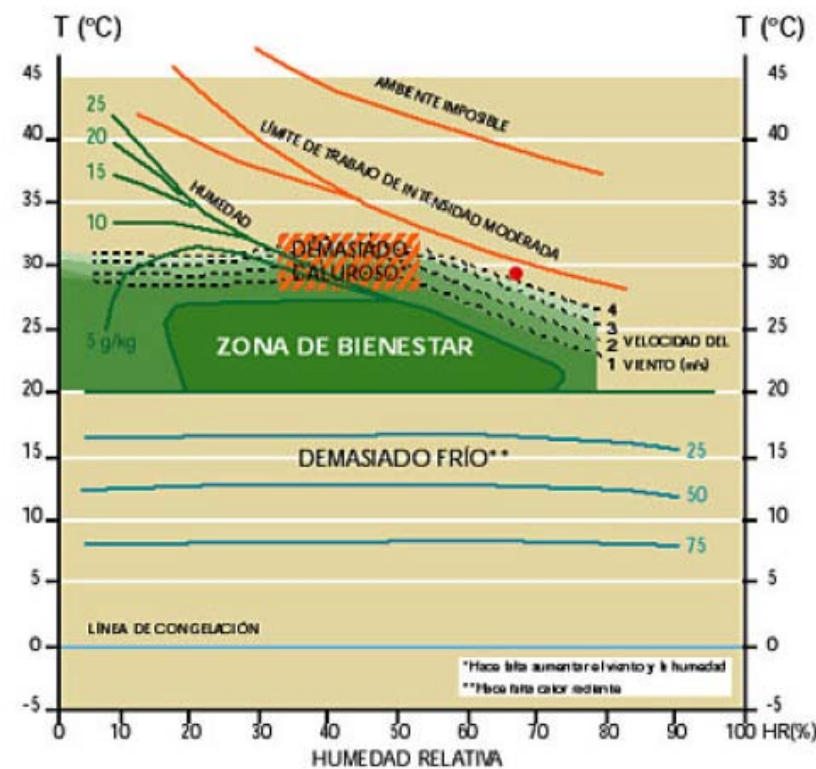


Figura 5. 12: Diagrama de confort climático humano de Olgay

Como ya se ha dicho, todas estas variables actúan conjuntamente interactuando en la sensación del bienestar térmico, por lo que es difícil plantear con rigor unas exigencias de confort higrotérmico. Además, dada la complejidad de los parámetros que intervienen y el amplio margen que existe, las condiciones interiores de confort en función de parámetros ambientales se trabajan con diagramas en los que se señalan zonas de bienestar. Algunos de estos diagramas son por ejemplo el *diagrama de confort ASHRAE*, el diagrama de Giovani o el de los hermanos Olgay que se describe a continuación y aparece en la figura 5.12.

Se trata de una herramienta de diseño bioclimático basada en la premisa del Bienestar higrotérmico, proporciona criterios de diseño arquitectónico para alcanzar la zona de confort en climas templados.

Victor Olgay introdujo en 1953 la carta bioclimática para establecer las condiciones de confort al aire libre del ser humano, con una actividad sedentaria y vestimenta convencional, y reflejar los diferentes mecanismos de adaptación cuando se sobrepasan dichas condiciones de confort.

Según el diagrama, las condiciones de confort térmico dependen principalmente de la temperatura y del grado de humedad del aire que envuelve al ser humano. En dicha carta las horizontales representan la temperatura de bulbo seco del aire (°C) y las verticales la humedad relativa del aire (%).

El “polígono de confort”, en ausencia de viento y radiación, se limita a una estrecha franja térmica entre 20 °C - 26 °C y 15% - 75% de HR, es decir, la franja de temperaturas admisible es muy estrecha mientras que la correspondiente a la humedad relativa es muy amplia. Por debajo de 20 °C se puede conseguir confort con calor radiante y por encima de 27 °C sería necesaria la protección del sol directo y una cierta refrigeración mediante el viento con distintas velocidades según la temperatura y la humedad relativa. El punto rojo representa las condiciones térmicas e higrométricas habituales de un día de verano en Valencia.<sup>28</sup>

En cuanto a los sistemas para el control de la radiación solar, que sería la responsable de un sobrecalentamiento de las estancias interiores y también el necesario apoyo de aporte energético para los meses invernales, podemos citar los sistemas desarrollados en el punto 4.3 del presente trabajo para el control de la luz natural. Además en este apartado cabría mencionar la envolvente del edificio, y tendría especial importancia el aislamiento térmico utilizado en la misma, ya que será el mayor responsable a la hora de garantizar una resistividad adecuada a las pérdidas o ganancias de calor, y consecuentemente limitará la demanda energética para alcanzar el confort térmico.

<sup>28</sup> YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *op.cit.*, pág.119.

Parte II. Estudio de la aportación solar a través de cerramientos acristalados en una vivienda unifamiliar aislada

6. Vivienda unifamiliar objeto de estudio

7. Estudio de la iluminación natural en una vivienda unifamiliar aislada

8. Estudio de las ganancias y pérdidas de energía en una vivienda unifamiliar aislada

9. Conclusiones

## 6. Vivienda unifamiliar objeto de estudio

**6.1 Elección de la vivienda unifamiliar objeto de estudio**

La vivienda elegida para su estudio térmico y lumínico se encuentra en la localidad de Vall Uxó, provincia de Castellón. Dicha elección deviene de haber hecho las prácticas de empresa en un estudio de arquitectura, Arquitectura y Urbanismo Fuster y Asociados S.L.P.

El solar donde se ubica la vivienda unifamiliar tiene forma trapezoidal, de 559,00 m², con unas dimensiones de 23,70 m y 22,86 m. a calles, y 23,65 m. y 24,43 m. a medianeras.

La vivienda es unifamiliar aislada y se compone de 2 plantas sobre rasante y una bajo rasante donde se ubica el garaje y la zona de gimnasio, que trataremos en los cálculos como zona no habitable. El resto del programa se desarrolla en las dos plantas superiores con cocina, salón comedor, cuatro habitaciones y dos cuartos de baño. La vivienda dispone de ascensor que comunica las tres plantas. La cubierta es plana transitable pero solo accesible para operaciones de mantenimiento.

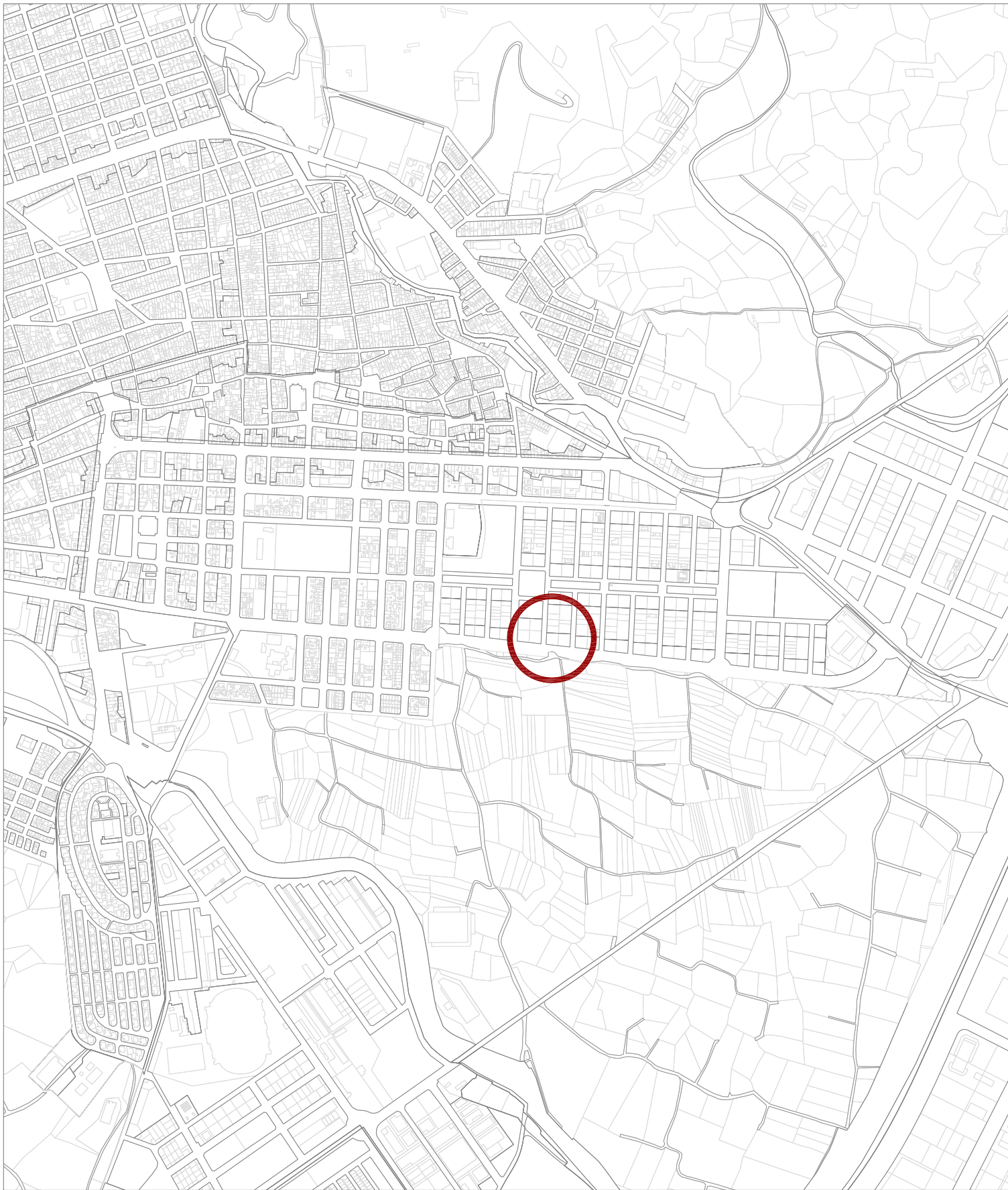
El edificio está aislado térmicamente en toda su envolvente para conseguir un uso racional de la energía necesaria para su adecuada utilización en el municipio de Vall Uxó, para el uso previsto y en el régimen de verano y de invierno. Las características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, permiten la reducción del riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar las características de la envolvente.

El sistema de iluminación de la vivienda dispone de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones.

Esta vivienda se caracteriza por disponer un muro cortina en esquina orientado a Sur y a Oeste, de baja emisividad y reflectante.

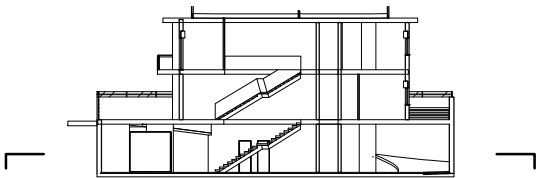
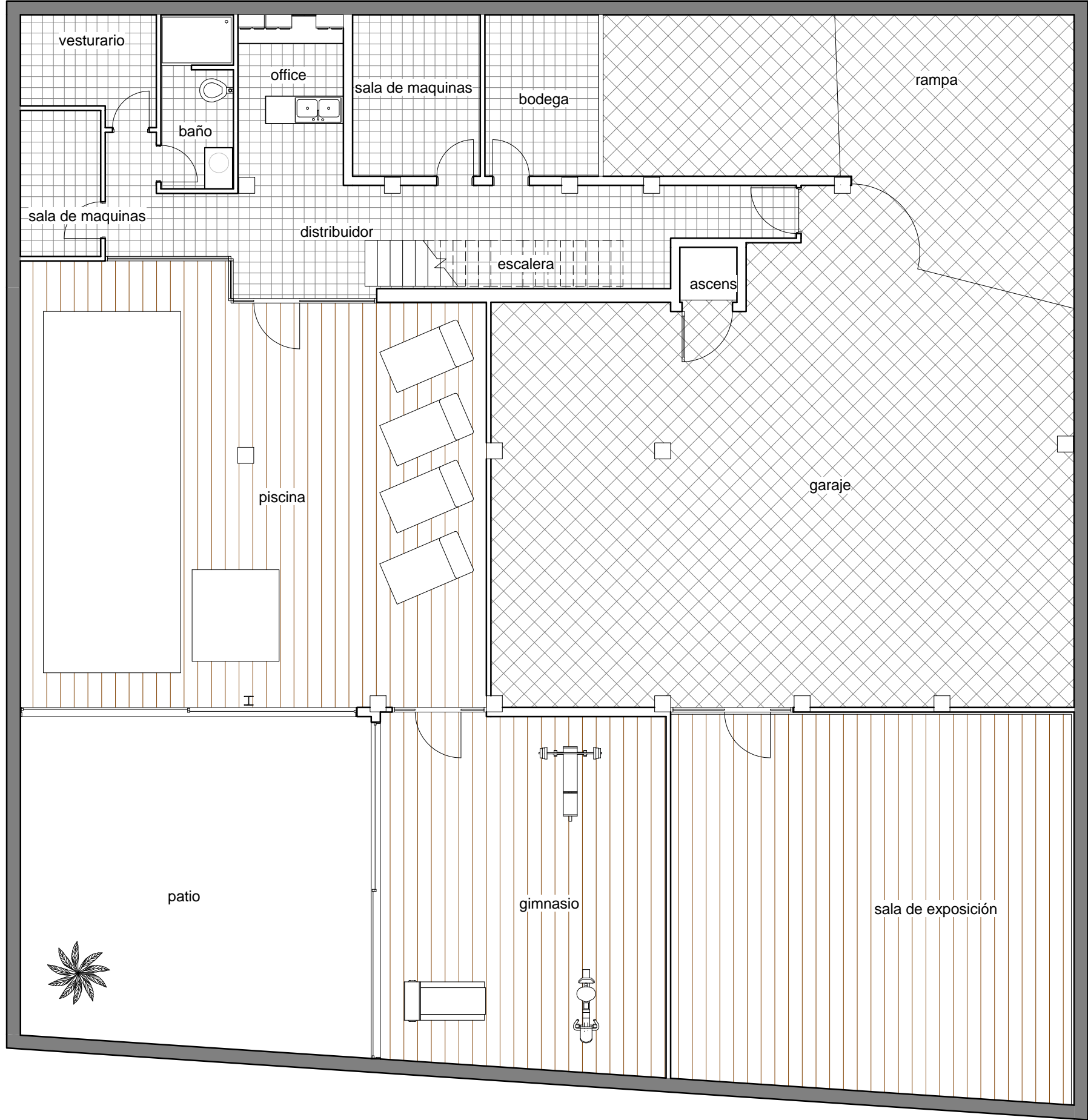
**6.2 Planimetría de la vivienda unifamiliar**

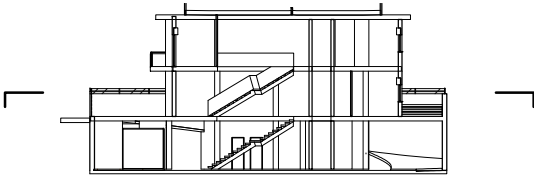
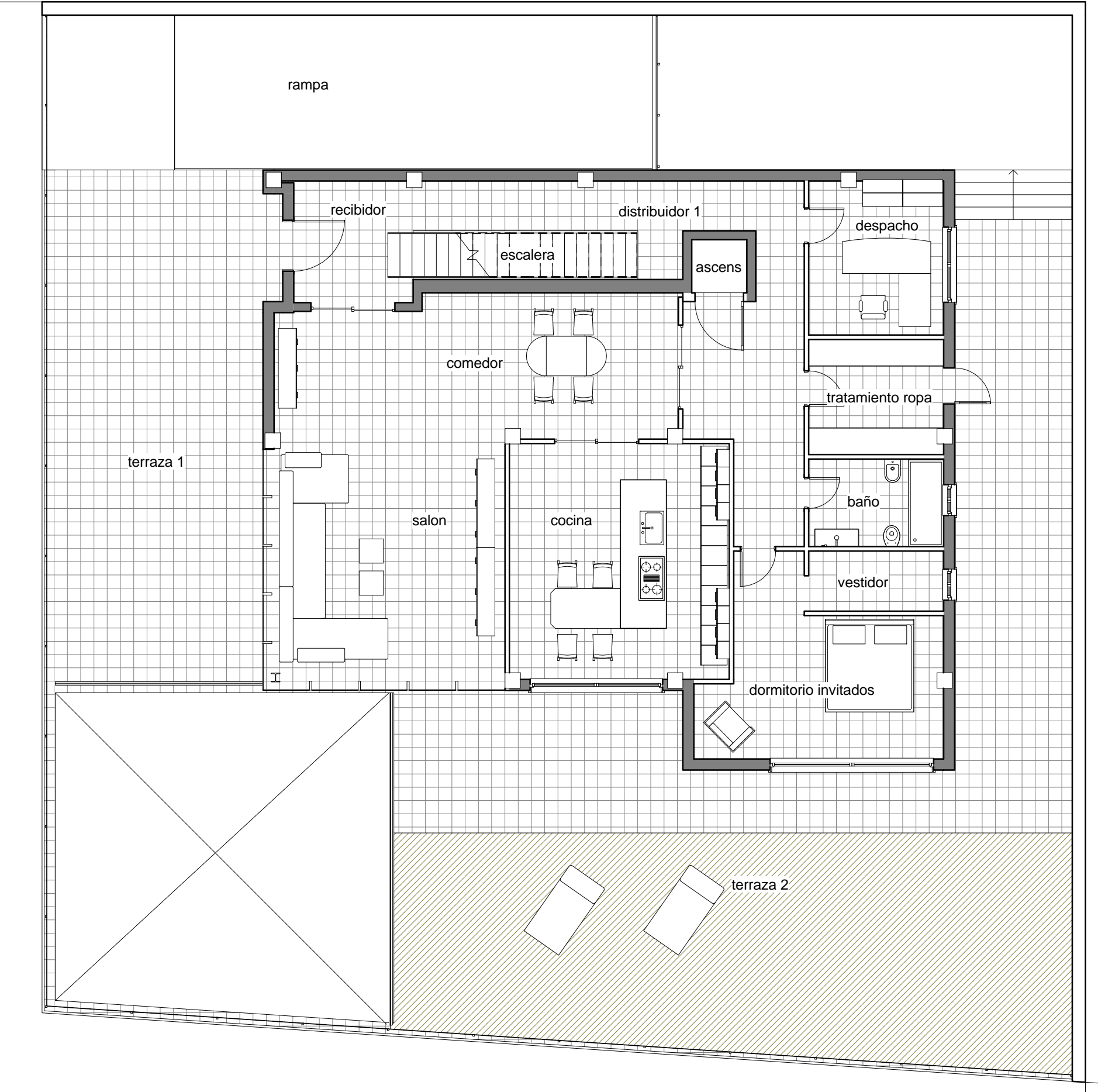
A continuación se adjuntan las plantas, alzados y secciones que describen la vivienda unifamiliar objeto de estudio.

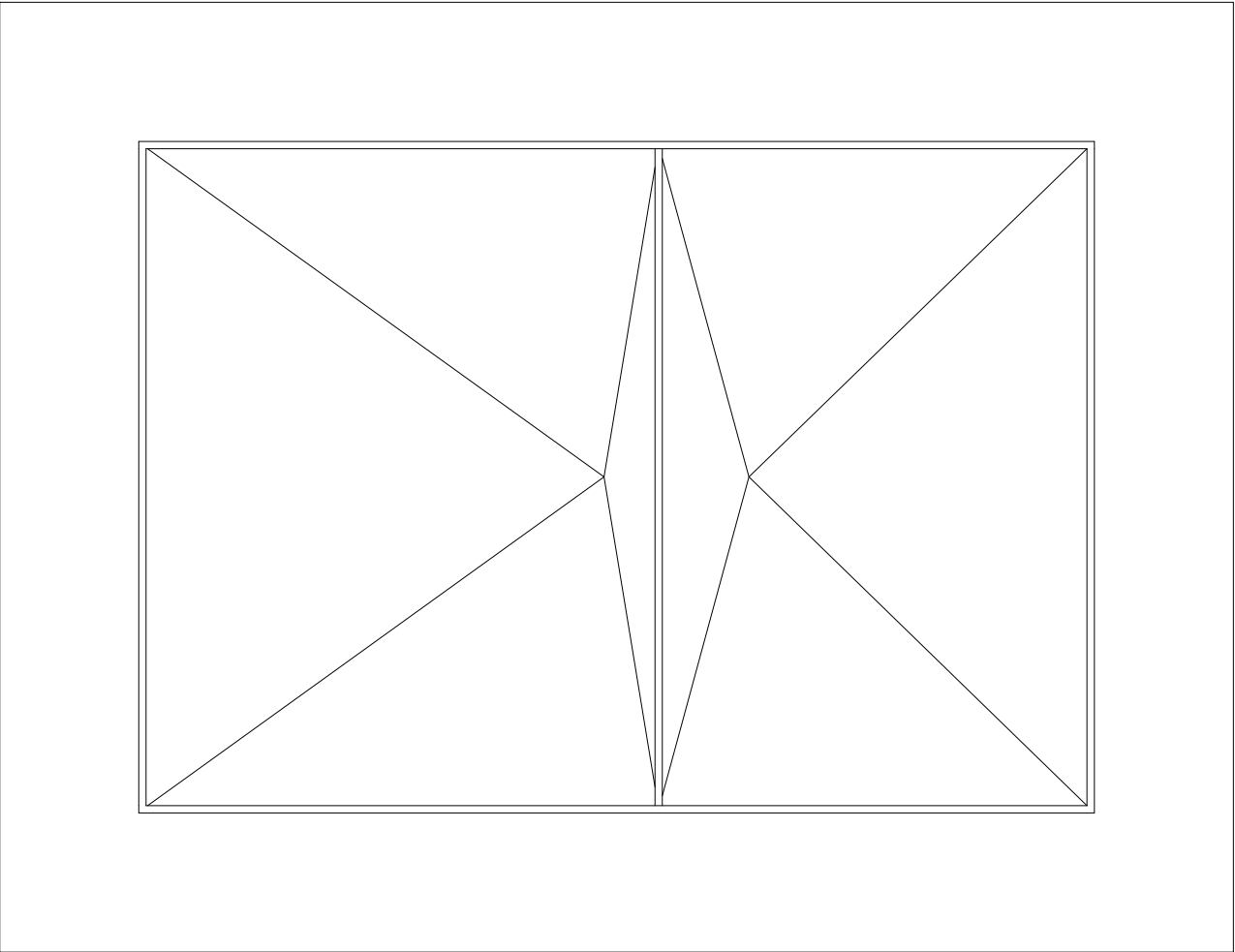
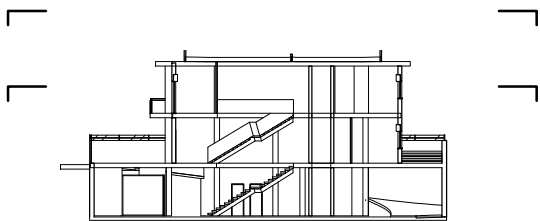


casa debon

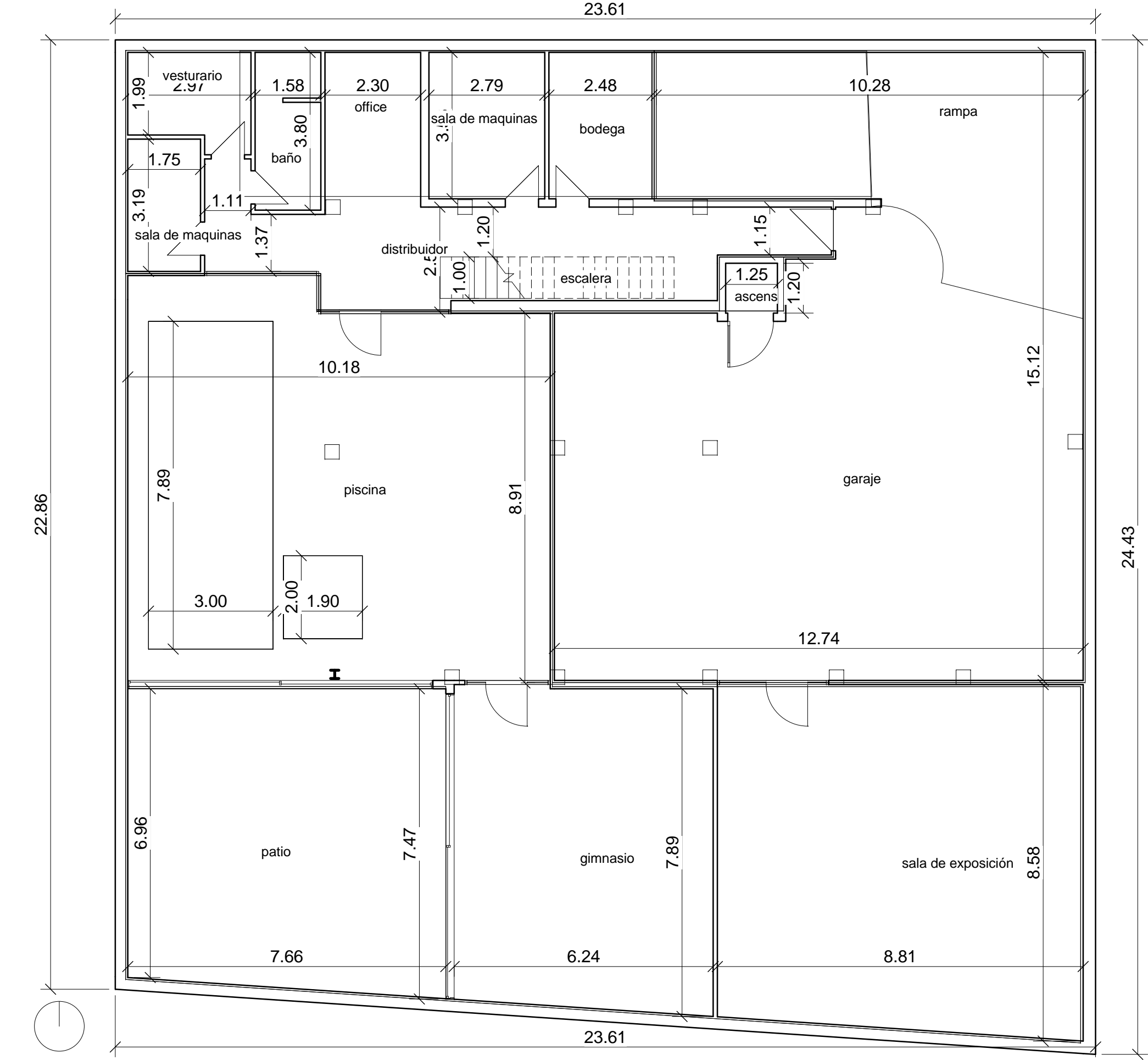






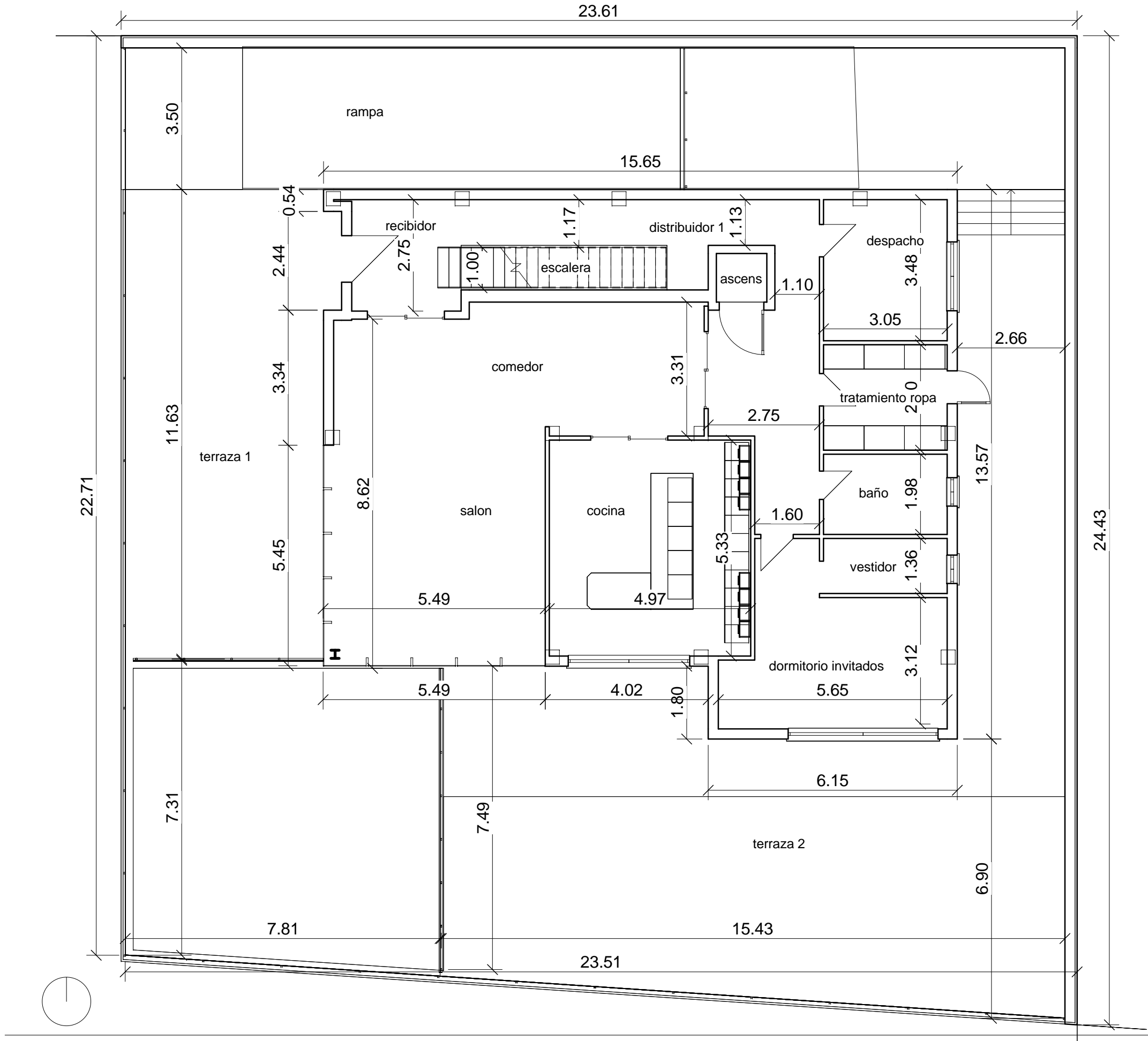






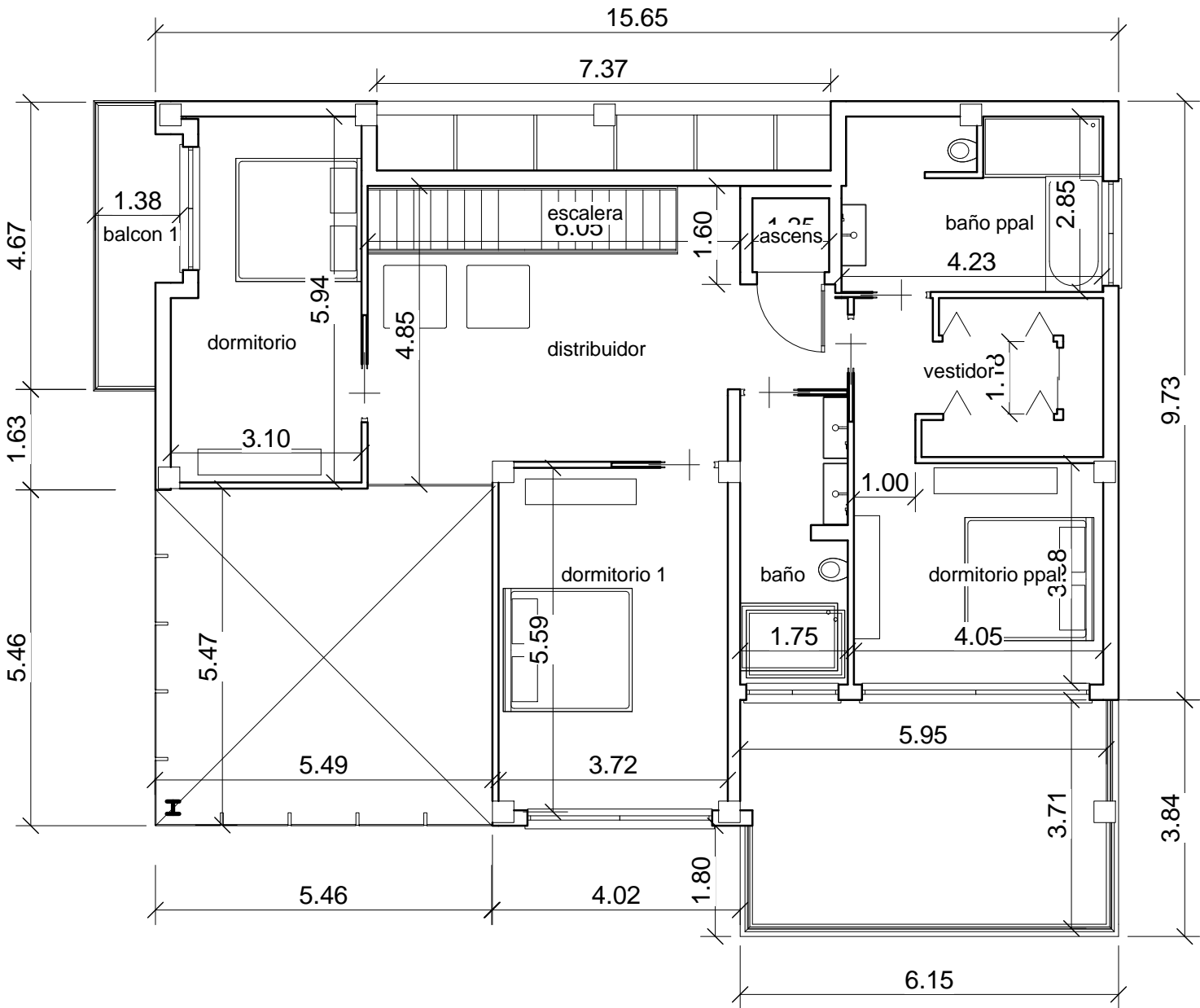
Superficies utiles	
Espacio	S. Util
planta sotano	
ascensor	2.03
baño	6.09
sala de máquinas	6.42
vestuario	7.51
escalera	8.15
office	8.88
bodega	9.35
sala de máquinas	10.63
distribuidor	25.21
rampa	48.68
gimnasio	50.82
patio	59.00
sala de exposición	76.54
piscina	97.46
garaje	122.94
539.71	
planta baja	
ascensor	2.03
escalera	6.36
baño	6.72
recibidor	8.42
tratamiento ropa	8.63

Superficies utiles	
Espacio	S. Util
despacho	
11.71	
comedor	
20.88	
dormitorio invitados	
25.76	
cocina	
27.70	
distribuidor 1	
27.82	
salon	
41.07	
rampa	
51.50	
terrazza 1	
57.26	
terrazza 2	
186.31	
482.15	
planta primera	
ascensor	
2.03	
balcón 1	
6.53	
escalera	
7.60	
baño	
9.25	
vestidor	
11.38	
baño ppal	
13.38	
dormitorio ppal	
15.78	
dormitorio 2	
18.65	
dormitorio 1	
21.92	
terrazza 3	
23.32	
distribuidor	
24.96	
154.79	
1176.65	



Superficies utiles	
Espacio	S. Util
planta sotano	
ascensor	2.03
baño	6.09
sala de máquinas	6.42
vestuario	7.51
escalera	8.15
office	8.88
bodega	9.35
sala de máquinas	10.63
distribuidor	25.21
rampa	48.68
gimnasio	50.82
patio	59.00
sala de exposición	76.54
piscina	97.46
garaje	122.94
539.71	
planta baja	
ascensor	2.03
escalera	6.36
baño	6.72
recibidor	8.42
tratamiento ropa	8.63

Superficies utiles	
Espacio	S. Util
despacho	
comedor	11.71
dormitorio invitados	20.88
cocina	25.76
distribuidor 1	27.70
salon	27.82
rampa	41.07
terraza 1	51.50
terraza 2	57.26
186.31	
482.15	
planta primera	
ascensor	2.03
balcón 1	6.53
escalera	7.60
baño	9.25
vestidor	11.38
baño ppal	13.38
dormitorio ppal	15.78
dormitorio 2	18.65
dormitorio 1	21.92
terraza 3	23.32
distribuidor	24.96
154.79	
1176.65	

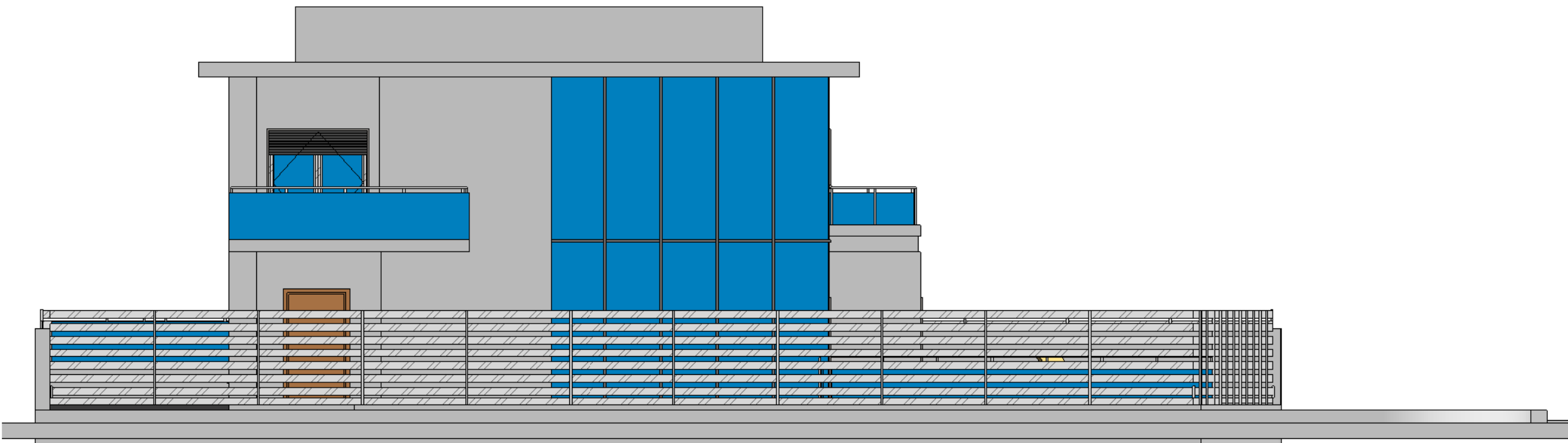
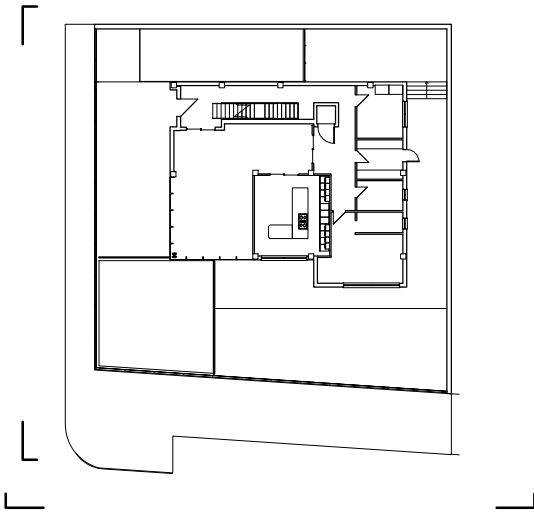
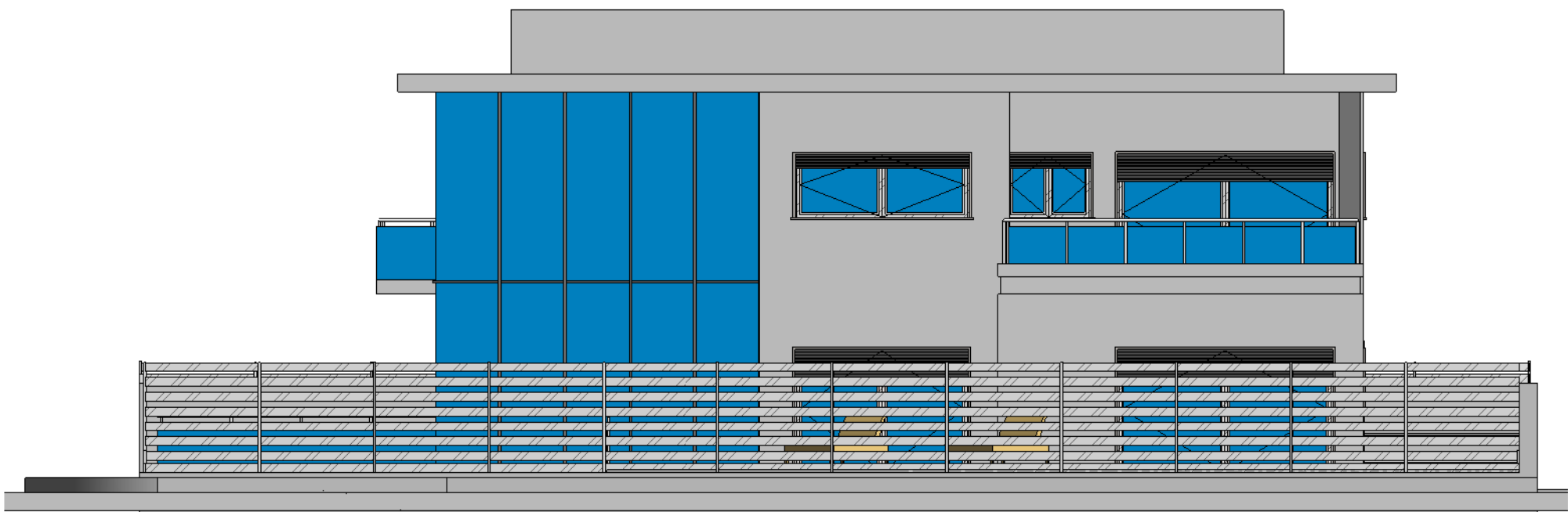


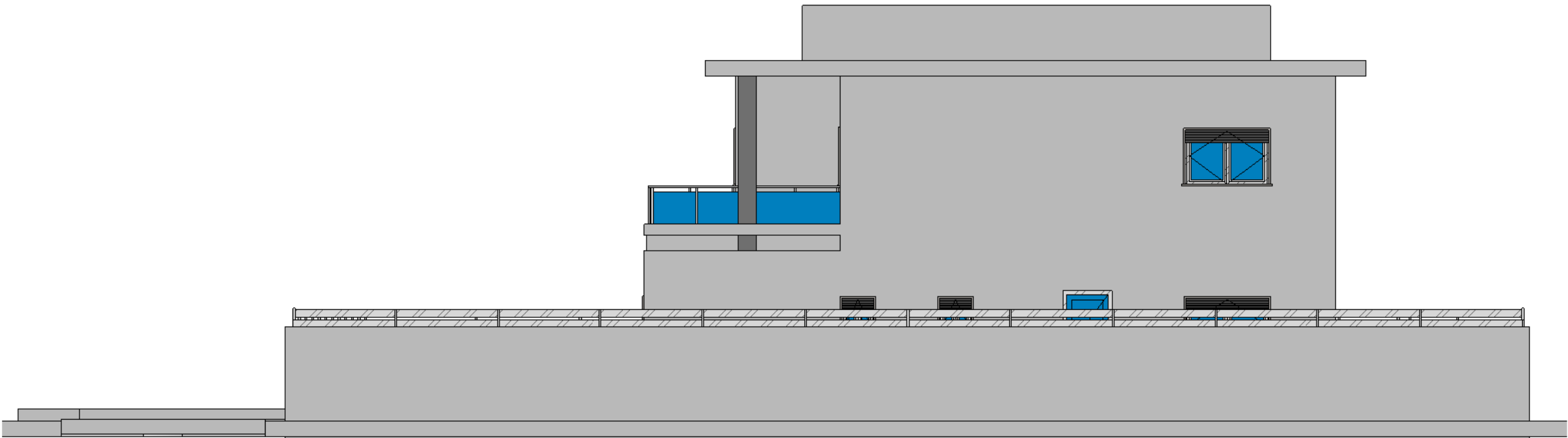
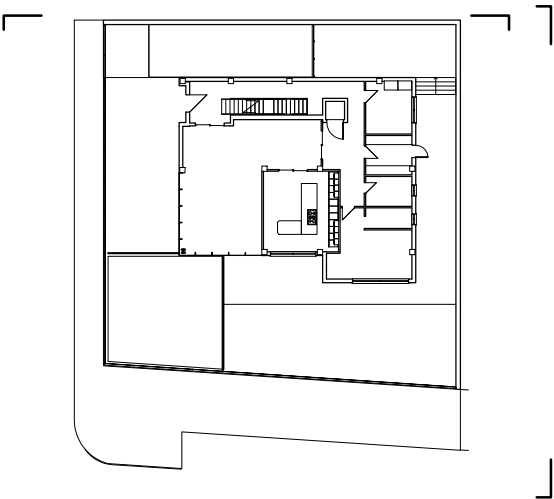
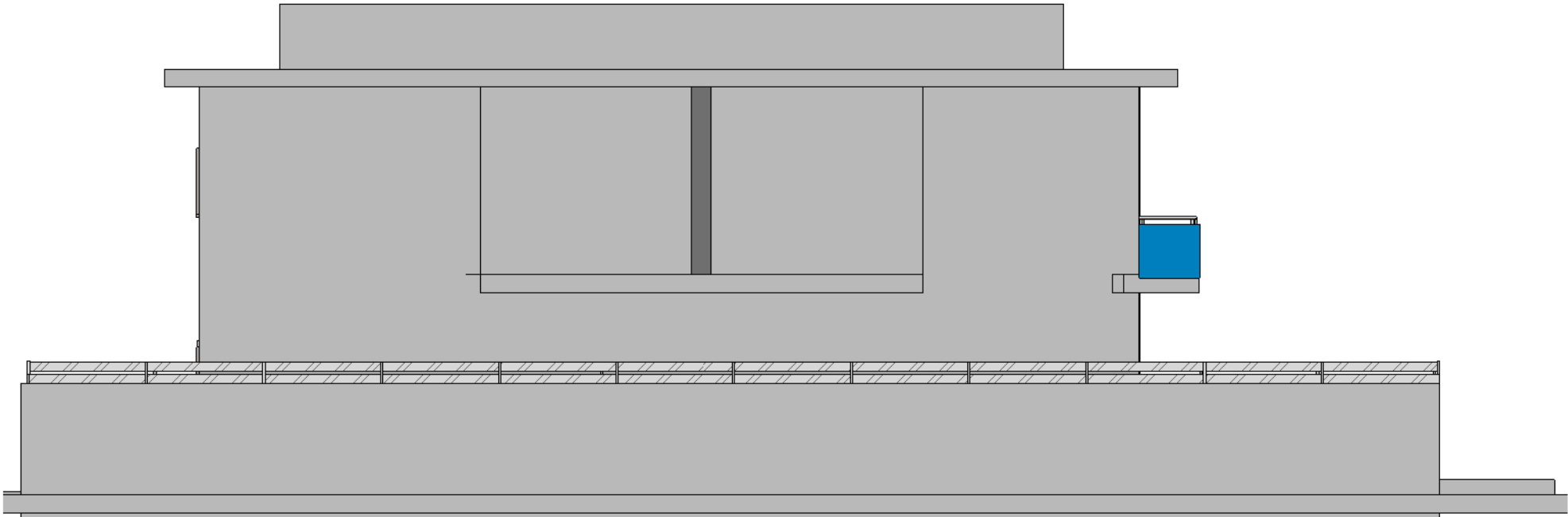
Superficies utiles_	
Espacio	S. Util
planta sotano	
ascensor	2.03
baño	6.09
sala de máquinas	6.42
vestuario	7.51
escalera	8.15
office	8.88
bodega	9.35
sala de máquinas	10.63
distribuidor	25.21
rampa	48.68
gimnasio	50.82
patio	59.00
sala de exposición	76.54
piscina	97.46
garaje	122.94

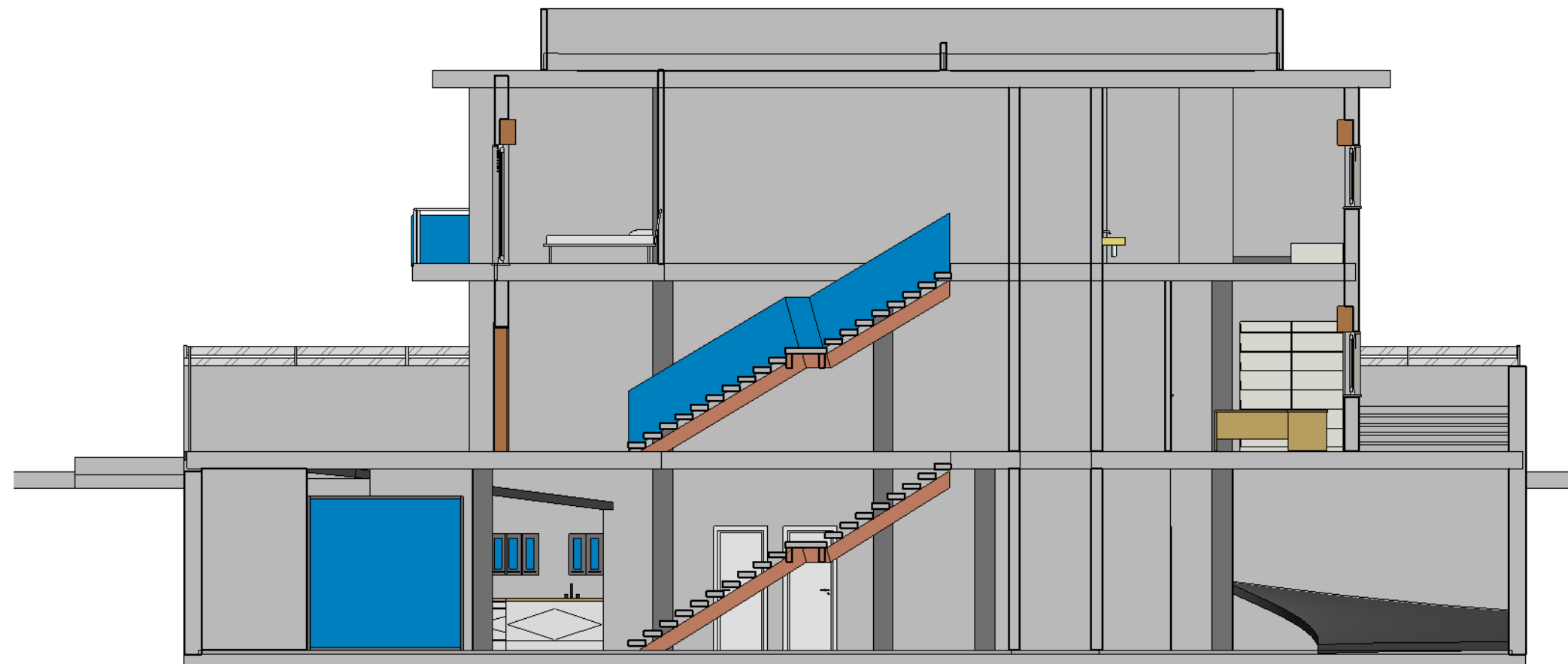
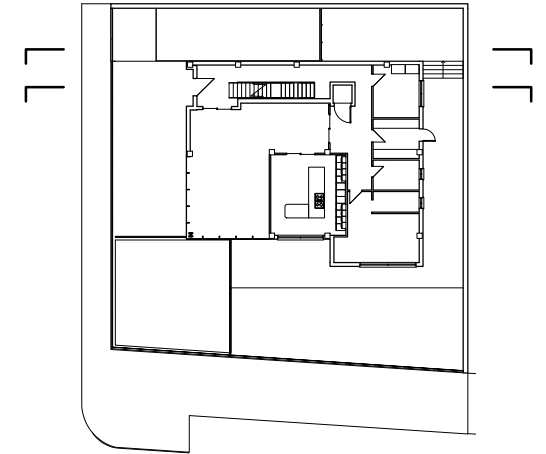
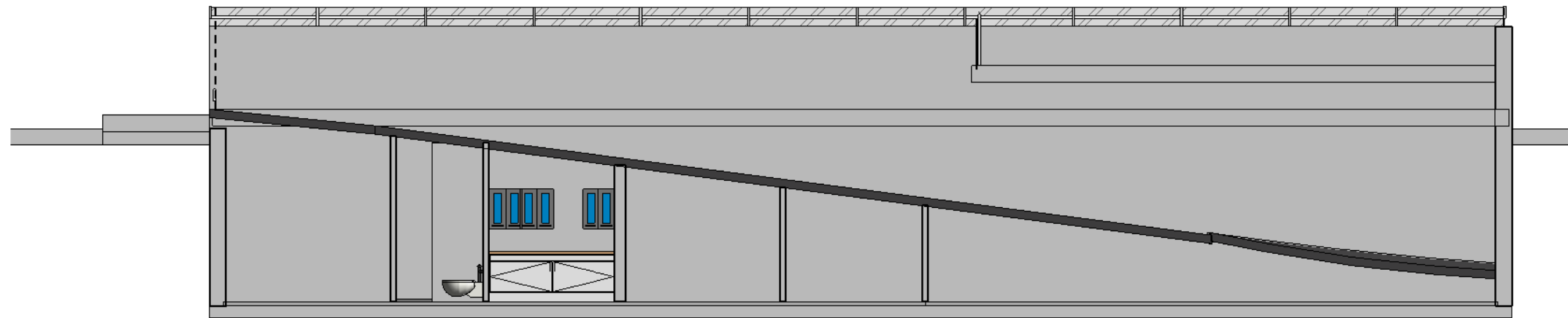
Superficies utiles_	
Espacio	S. Util
539.71	
planta baja	
ascensor	2.03
escalera	6.36
baño	6.72
recibidor	8.42
tratamiento ropa	8.63
despacho	11.71
comedor	20.88
dormitorio invitados	25.76
cocina	27.70
distribuidor 1	27.82
salon	41.07
rampa	51.50
terrazza 1	57.26
terrazza 2	186.31
482.15	
planta primera	
ascensor	2.03
balcón 1	6.53
escalera	7.60
baño	9.25
vestidor	11.38
baño ppal	13.38
dormitorio ppal	15.78
dormitorio 2	18.65
dormitorio 1	21.92
terrazza 3	23.32
distribuidor	24.96
154.79	
1176.65	

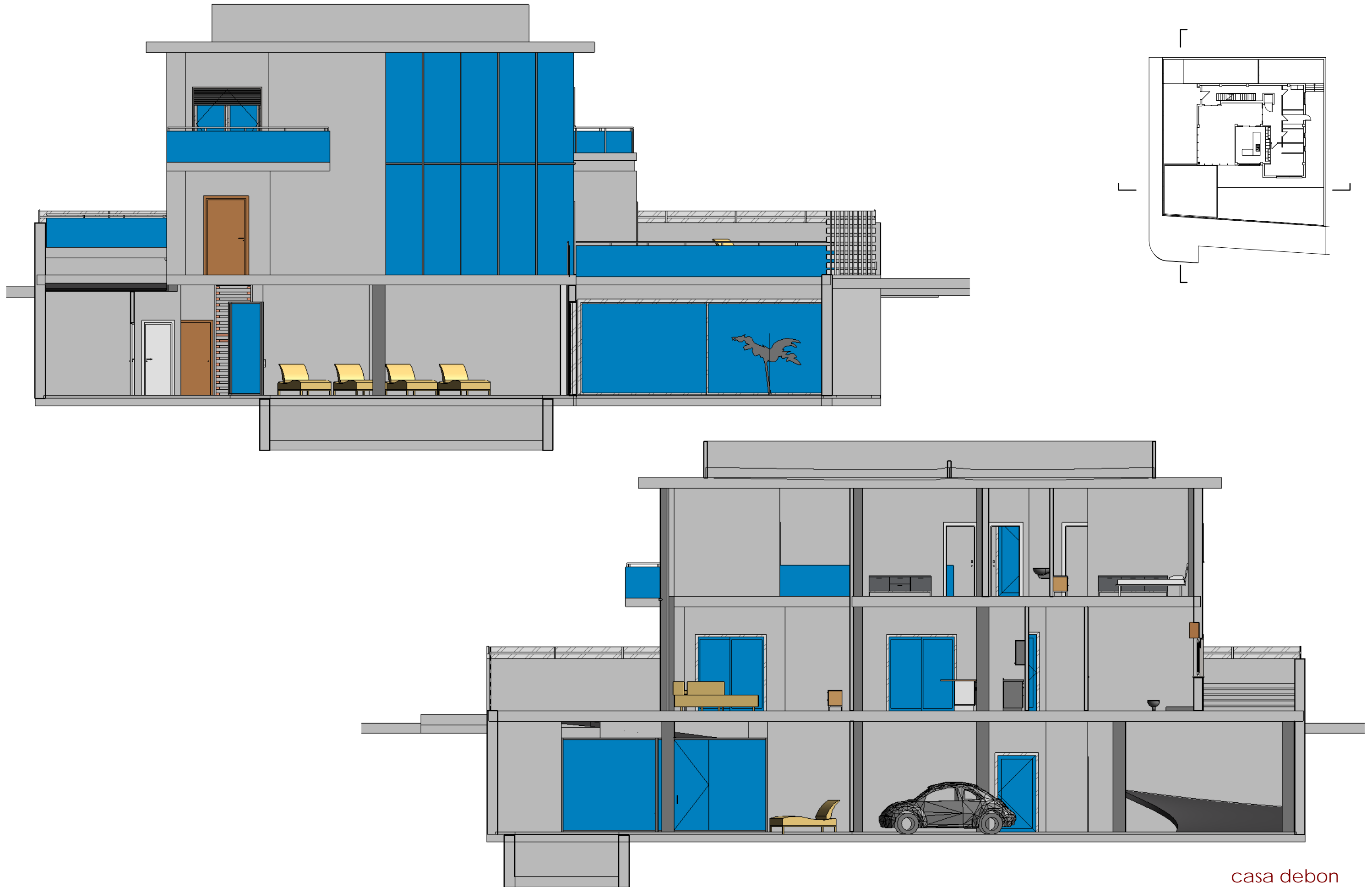
casa debon



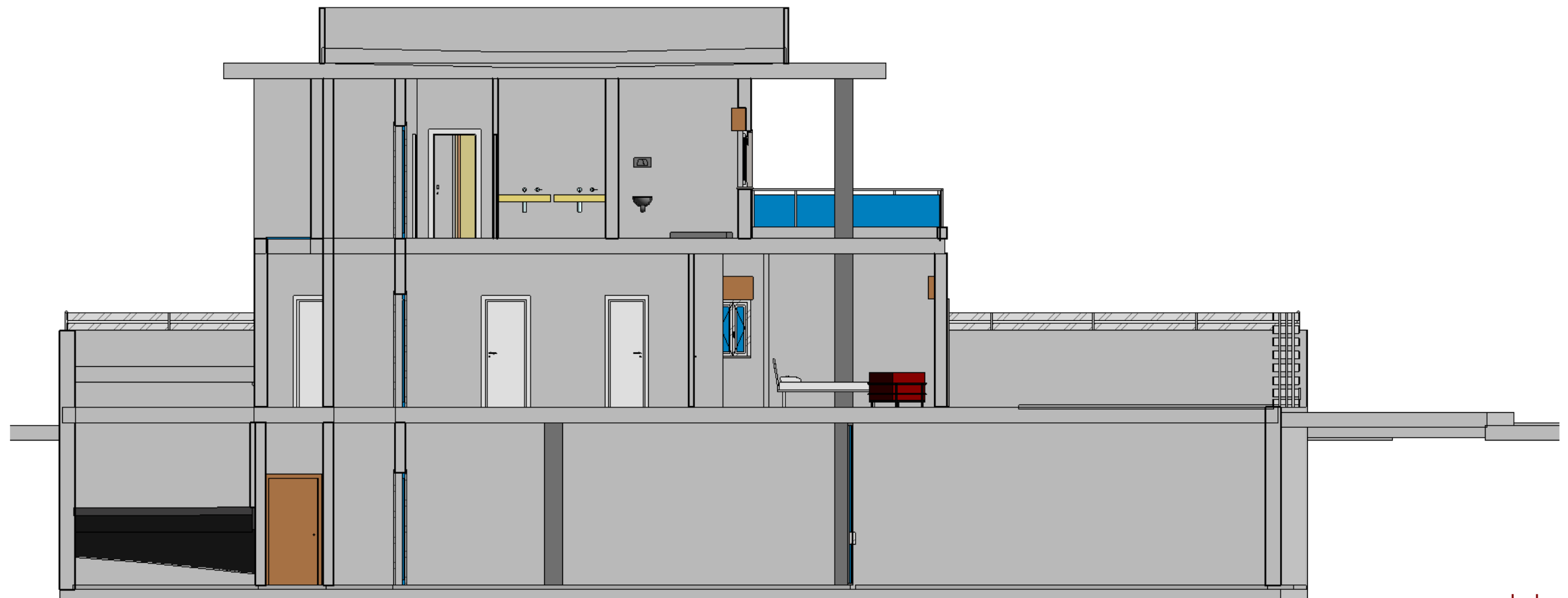
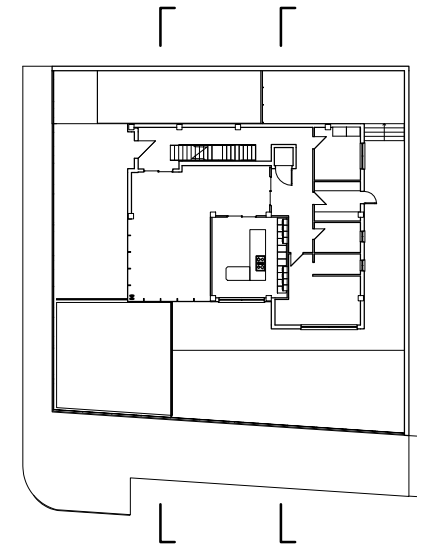
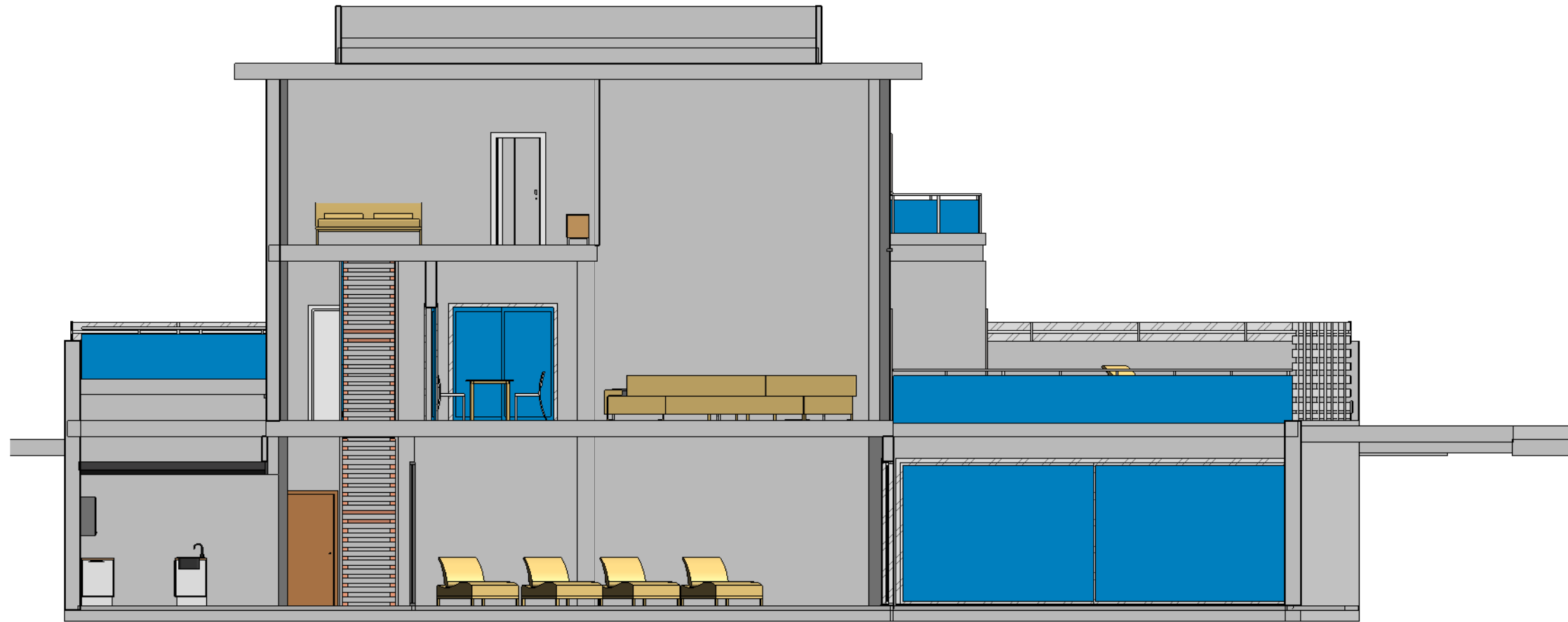






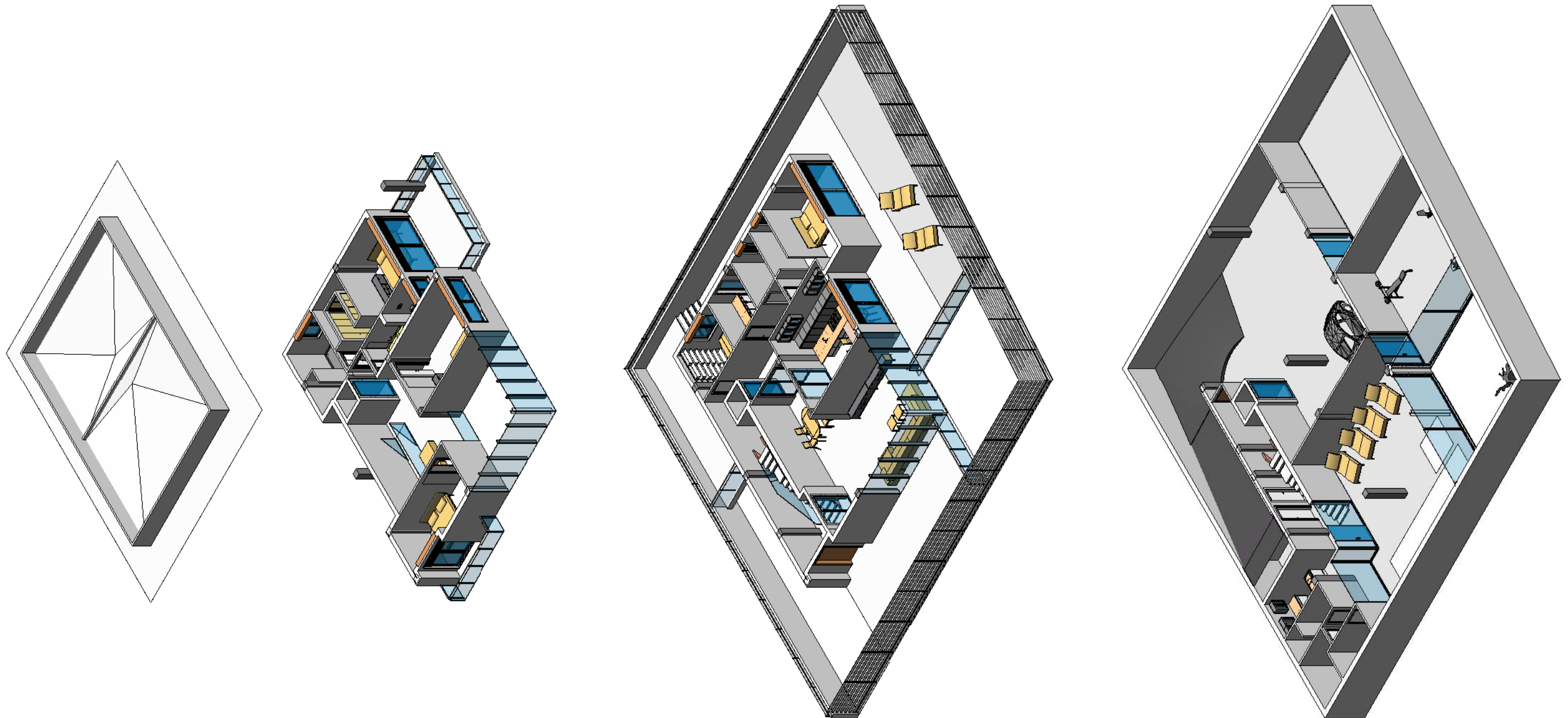


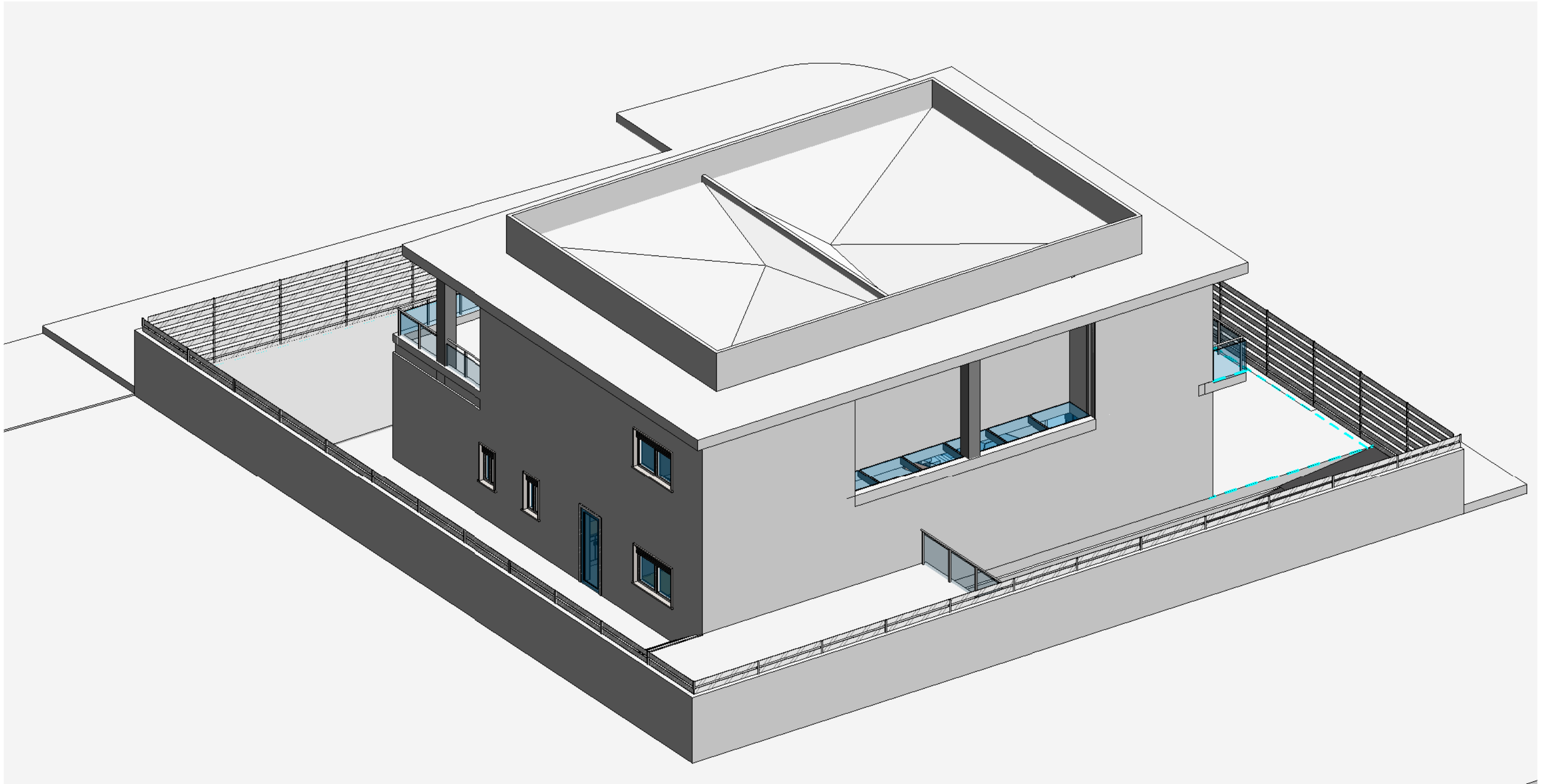
casa debon

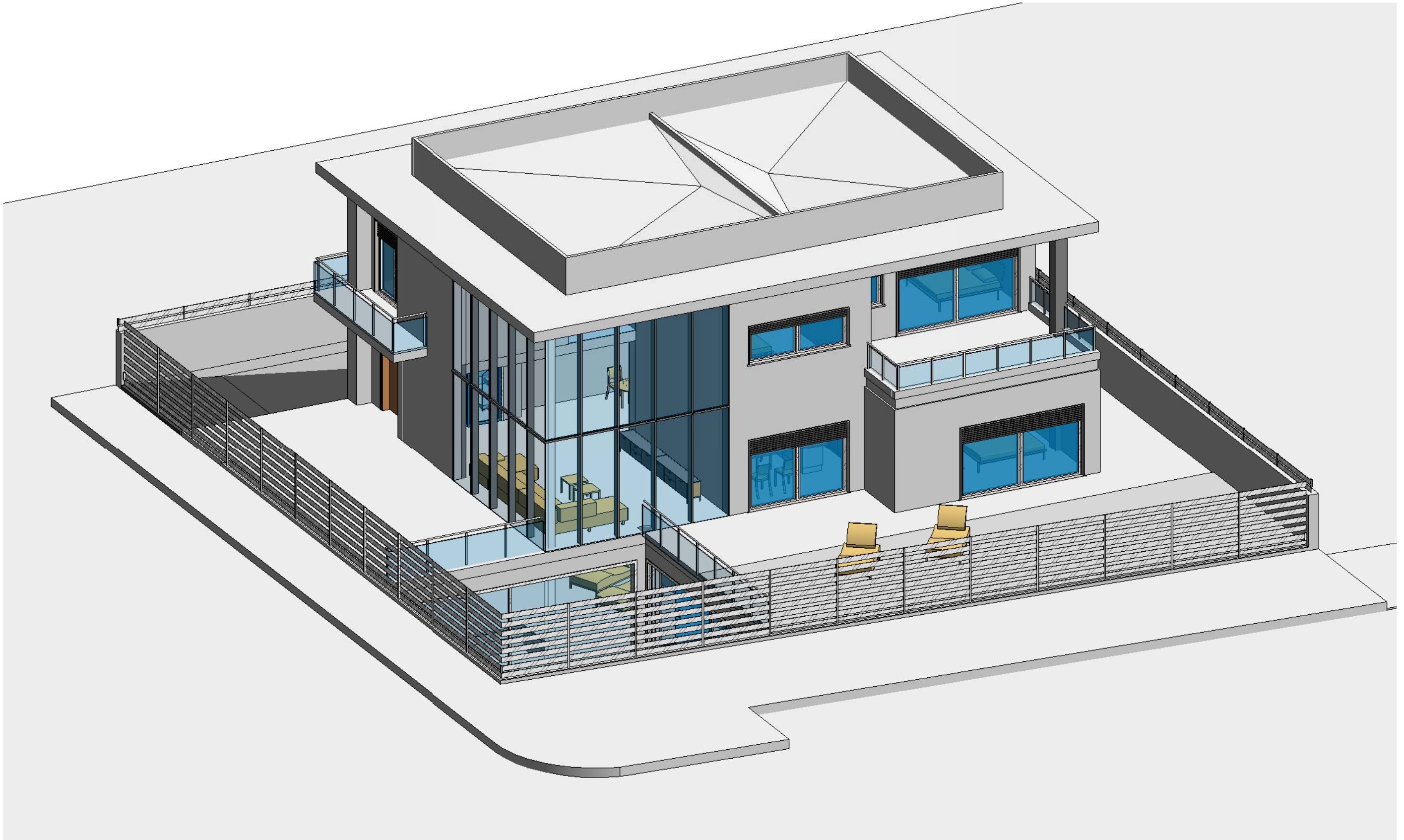


casa debon



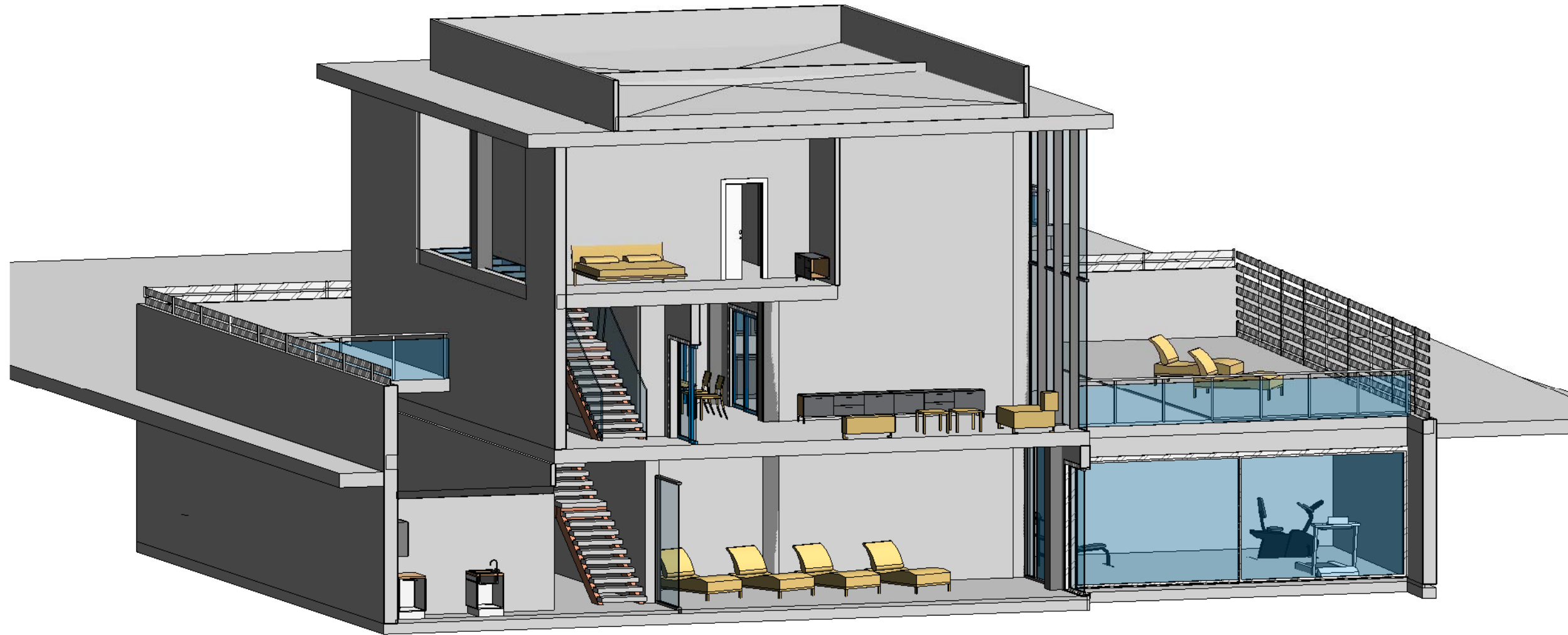












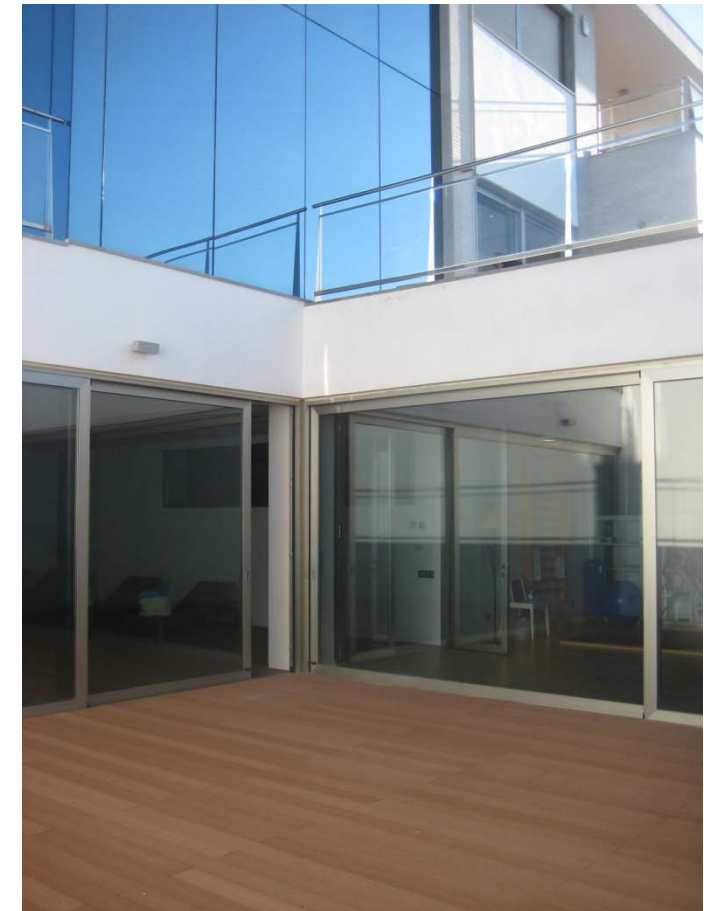
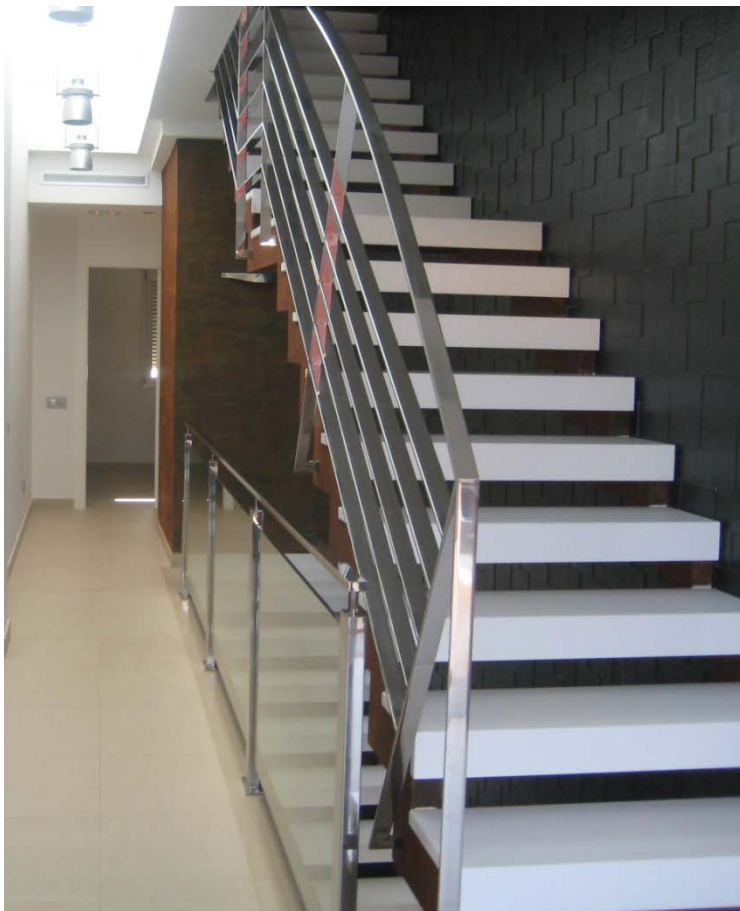
### 6.3 Archivo fotográfico













6.4 Estudios a realizar

Una vez estudiados los temas de iluminación y térmica, y aportado la documentación de una vivienda unifamiliar, se va a proceder al estudio de la misma desde los puntos de vista de iluminación natural y pérdidas y ganancias de calor.

Estudio de iluminación natural

Se utiliza el programa *sketchup* para estudiar las sombras arrojadas de la vivienda. La forma de proceder es la siguiente: se importa el archivo de *autocad* en 3d procurando tener el norte en su posición. A continuación se insertan los datos de localización, en este caso Vall Uxó, y su latitud, para así obtener unos resultados fiables. Desplegando la ventana *ajustes de sombras*, y con el edificio en planta, se van registrando las sombras producidas de unos días y a unas horas determinadas (figura 6.1).

Además, se hace una carta solar de Fisher para esta localización en concreto, con una latitud de 39°49'. Así podremos conocer con exactitud la inclinación y orientación de los rayos solares.

Se va a estudiar la iluminación natural en un espacio representativo, el salón comedor, que se caracteriza por ser un espacio a doble altura en la zona del salón y disponer del muro cortina en esquina. En la tabla adyacente se muestran los datos de superficie útil, altura y volumen de dicho espacio.

Se visita la vivienda para tomar los datos de la iluminación natural con un luxómetro y a la vez ir tomando fotografías de cada momento del día a estudiar. Respecto de las horas para realizar el estudio se han escogido las horas solares de las 9:00, 12:00, 15:00 y 18:00, teniendo en cuenta que en nuestra latitud el huso horario es GMT+1 en invierno y GMT+2 en verano y además que la hora solar en esta latitud corresponde, más o menos, a GMT + ½ .

La toma de datos se realiza con un luxómetro digital DVM1300 con un rango de medidas de nivel de luminosidad de 0,01 lux a 50000 lux. *A priori* se define el lugar que se quiere evaluar y se traza una retícula imaginaria de más o menos dos metros. Se mide sobre el plano a cota cero, sobre el pavimento, pues se trata de una zona de estar y es donde nos interesa conocer los niveles de iluminancia. Tendremos en consideración en este estudio, que la vivienda está habitada y, por lo tanto amueblada, así que cuando ha sido posible se ha medido a cota cero (mediciones en gris) pero hay medidas tomadas desde el propio mobiliario (los grafiados en azul), en cambio, los datos en rojo reflejan la entrada de rayos solares en ese punto.

Para la toma de datos se selecciona primero el rango más adecuado, para lo cual se ha tenido la precaución de no interponerse entre la fuente de iluminación y el sensor del luxómetro, dejando un tiempo prudente para su estabilización. Se mantienen las ventanas cerradas en todo momento, ya que el vidrio absorbe una cantidad de luz. Hay que señalar, que si bien la medición corresponde a las 14:30, es necesario un tiempo para medir toda la superficie de más o menos quince minutos; y si además hay más de un espacio a estudiar en la misma casa, este tiempo se dilata.

Se ha medido también el exterior contiguo a la zona del salón para tener unos datos de referencia de la iluminación total que llega realmente.

Para este apartado, dependemos fundamentalmente de la meteorología, dado que para realizar la medición se necesita un día soleado y despejado. De hecho, en una prueba realizada a las once de la mañana de un día no despejado , se comprueba que en cuestión de cinco minutos la diferencia de mediciones es superior a 1000 lux.

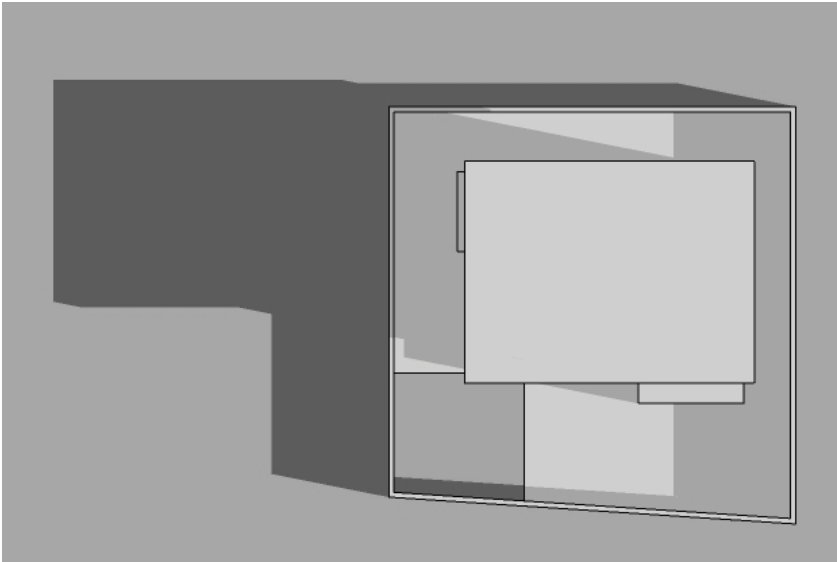


Figura 6. 1: Utilización del programa *sketchup*. Casa debon. En marzo a las 9horas.

ESPACIO: SALON COMEDOR

SUPERF UTIL	ALTURA LIBRE	VOLUMEN
61,95 m²	2,55 / 5,95 m	297,60 m³



Figura 6. 2: luxómetro digital DVM1300

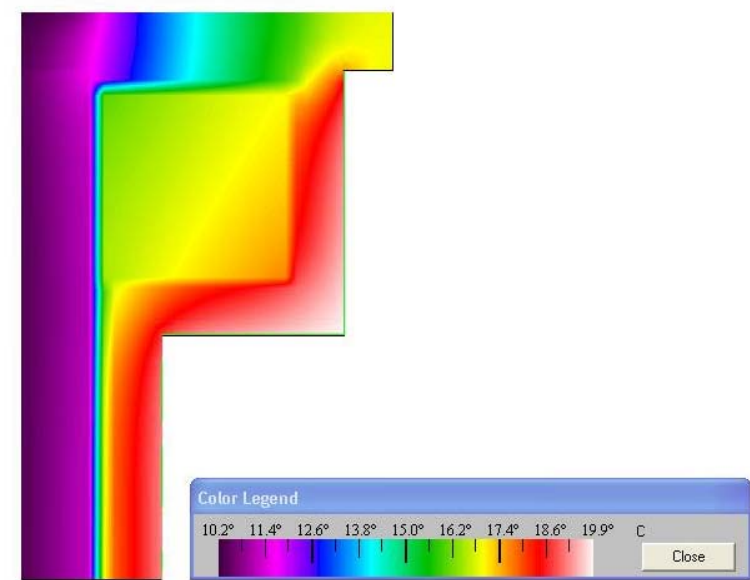


Figura 6. 3: Distribución de temperaturas de un puente térmico. Modelización con el programa *Therm*.

Estudio de las ganancias y pérdidas de calor

Este estudio no puede realizarse experimentalmente, pues se trata de una vivienda habitada con el sistema de climatización conectado, por lo que no tendría sentido recoger los datos de la temperatura interior de la vivienda.

Se analizará la envolvente térmica del edificio, para ello habrá que conocer los materiales utilizados y su disposición. En primer lugar se comprobará que el edificio cumple con el Código Técnico de la Edificación en su apartado de Ahorro de Energía, DB-HE1, se comprobará así mismo que no se producen condensaciones, utilizando el programa *econdensa* para las condensaciones intersticiales y el *therm* para el estudio de los puentes térmicos y las condensaciones superficiales. .

También se calculará el balance térmico de la vivienda para conocer cuándo y en qué medida es necesario un sistema de calefacción o refrigeración.

Así mismo se han introducido los datos en el programa *Lider* para obtener la certificación energética de la vivienda. También se ha utilizado el programa *Cerma*, con el que también se obtiene la certificación energética, pero resulta útil, por su fácil manejo, para ofrecer mejoras y alcanzar una mejor valoración energética.

## 7. Estudio de iluminación natural en una vivienda unifamiliar aislada

Este apartado se divide en tres partes, en la primera se realiza una toma de datos *in situ*, en la segunda se analizan los resultados obtenidos al pasar esos datos a unas gráficas y por último se proponen mejoras.

El Sol emite un amplio abanico de radiaciones, entre ellas la luz visible, que según su intensidad y condiciones de recepción generará unos determinados niveles de iluminancia dentro de un amplio rango de valores, entre los cuales, sólo en un estrecho margen se alcanza el confort. Este confort, entre otros, es la meta de cualquier proyecto arquitectónico.

En nuestra latitud disponemos de una gran cantidad de horas de sol respecto otras latitudes, en los diagramas (figura 7.1 y 7.2) se muestran las horas de sol para el municipio de Vall Uxó. Si nos fijamos en el segundo diagrama (figura 7.2), se señala la hora exacta del amanecer y del ocaso para el solsticio de verano y el solsticio de invierno, entre otros datos.

En la lámina siguiente se aporta un estudio de las sombras arrojadas por la vivienda objeto de estudio con el programa *sketchup* teniendo en cuenta la localización, latitud y orientación de la vivienda, así como la altura solar y ángulo de incidencia. Este estudio se ha realizado para los días más representativos del año, que son los correspondientes a los solsticios y los equinoccios; y a unas horas determinadas, las 9:00, 12:00 y 18:00 horas solares.

En dicha lámina se aporta además una carta solar *Fisher* para la localización de Vall Uxó, 39°49'. Para conocer con exactitud la inclinación y orientación de los rayos solares. También, con el programa *sketchup*, se han tomado algunas vistas de la vivienda, donde se aprecia cómo el Sol va recorriendo el espacio interior.

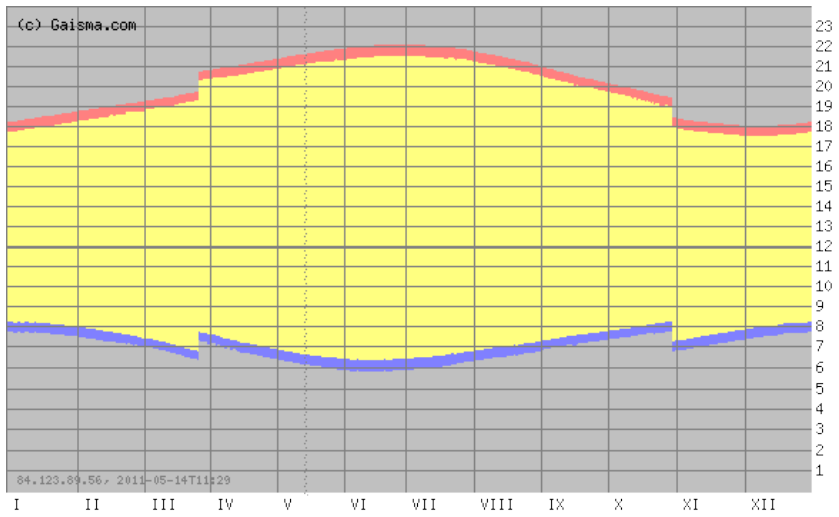


Figura 7. 1: Horas de luz natural en cada mes del año, en Vall Uxó.

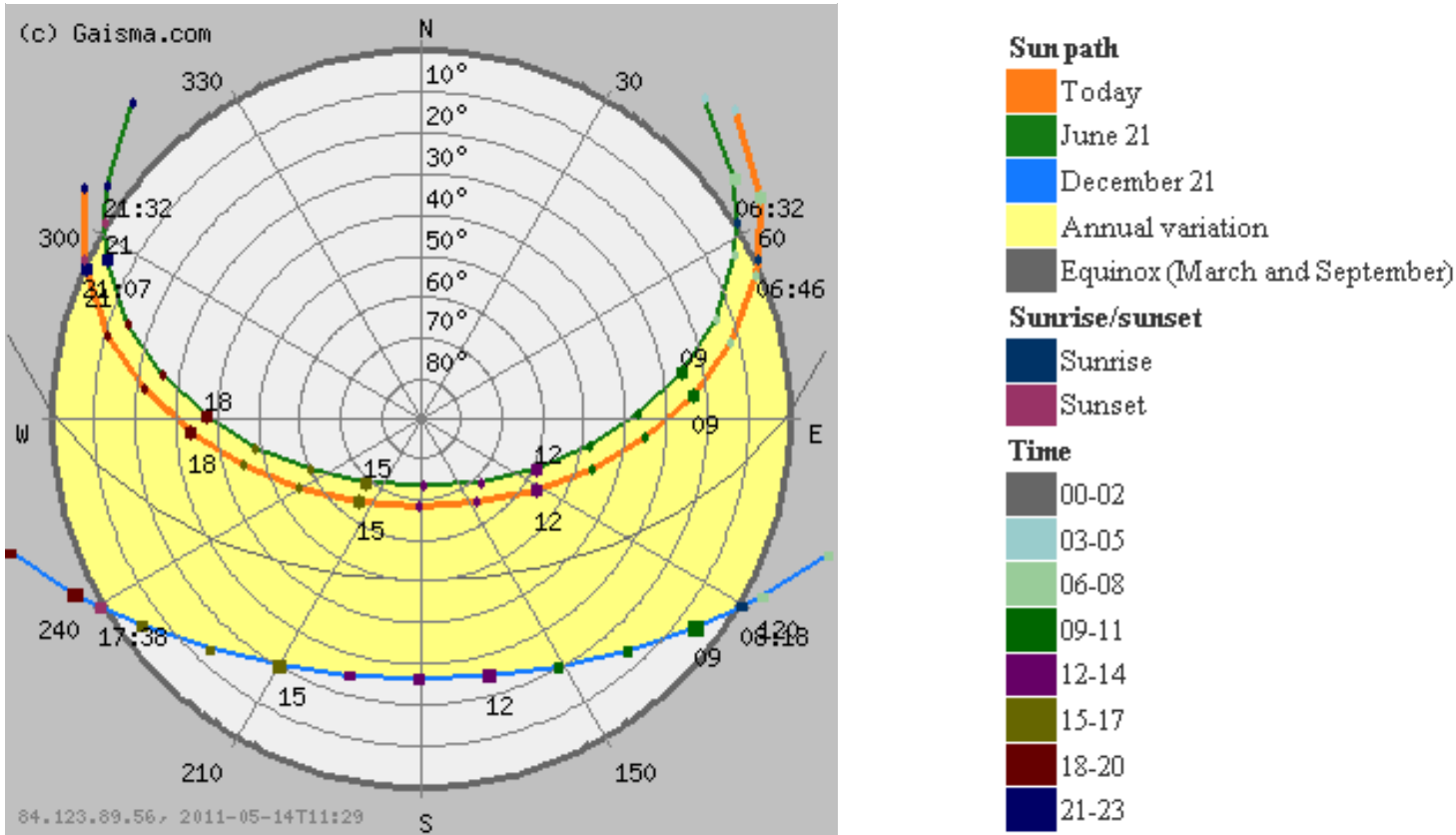
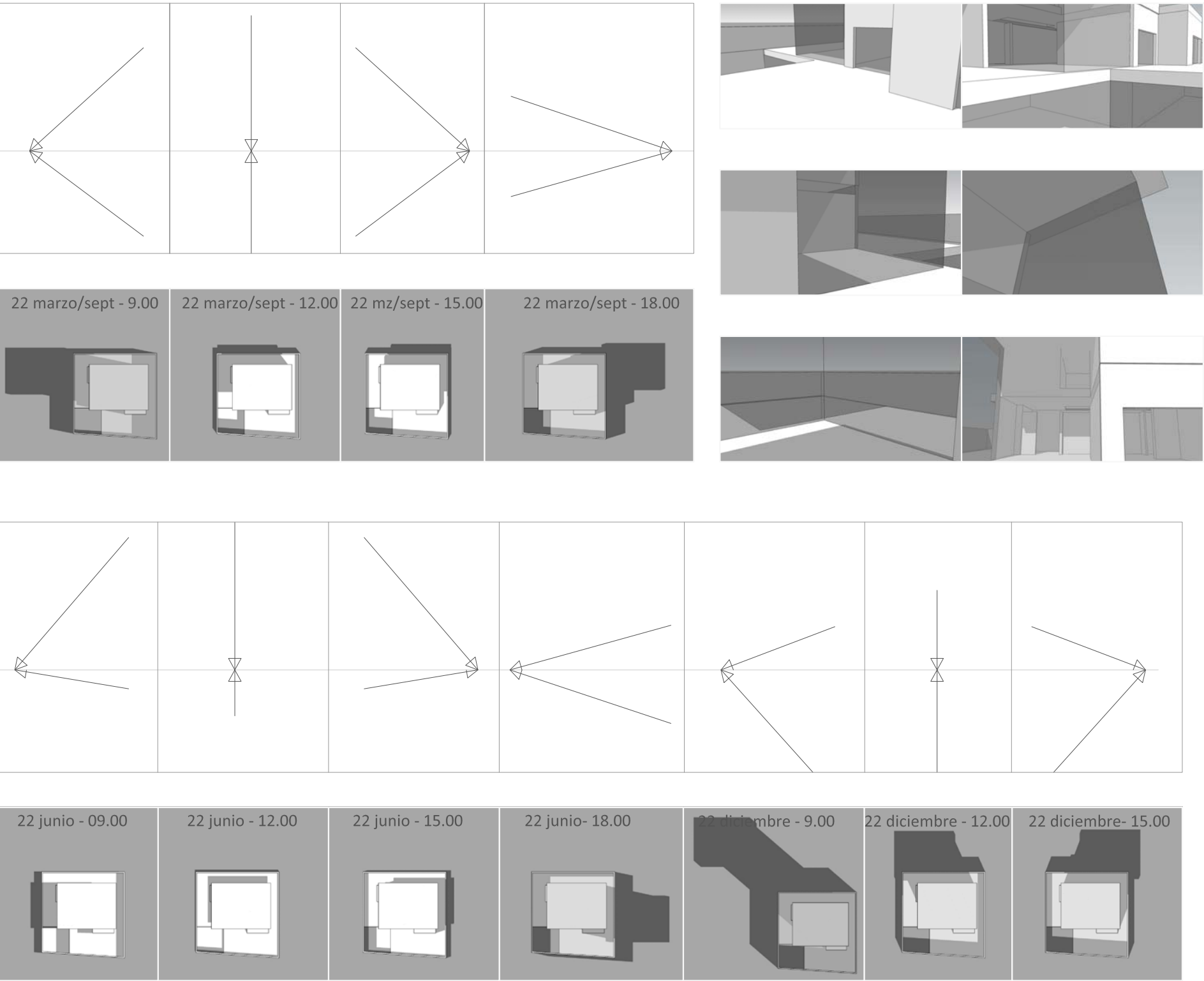
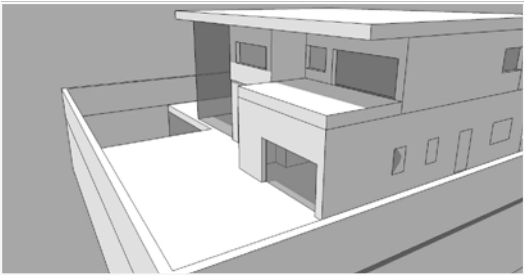
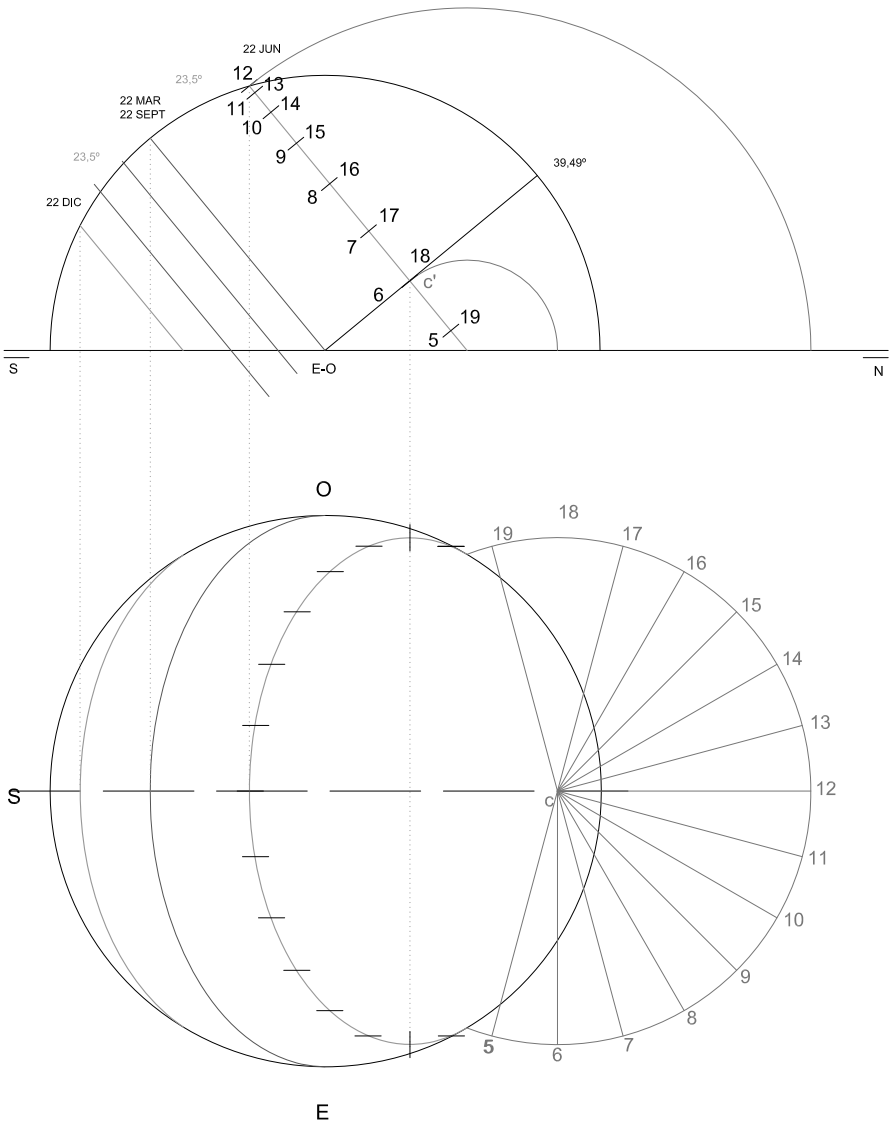


Figura 7. 2: Horas de luz natural en cada mes del año, en Vall Uxó.



carta solar de Vall Uxó (Castellón)  
carta solar de Fisher\_latitud 29,49




equinocio  
solsticio de invierno  
solsticio de verano



7.1 Toma de datos in situ

El estudio de iluminación natural se ha realizado en el espacio representativo del salón comedor. La forma de proceder ha sido la siguiente: se ha trazado una retícula imaginaria de más o menos dos metros sobre la que se ha tomado la medición de luz natural con un luxómetro. Dicha medición se ha tomado a cota cero, que como se ha mencionado anteriormente, al tratarse de una zona de estar, éste será el plano de trabajo, es decir, el plano donde queremos conocer los niveles de iluminancia.

Cabe destacar que los datos grafiados en los siguientes colores:

-  Son datos tomados a cota 0
-  Son datos tomados sobre lo muebles existentes en la vivienda
-  En ese punto llega la radiación solar directa

Debe mencionarse también los días exactos en los que se han realizado las mediciones, pues como ya sabemos cambian muchos factores: como la altura del sol, el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el acristalamiento, así como la radiación total que le llega. Desde este punto de vista es preciso señalar las limitaciones que han surgido, pues para realizar la medición es preciso un día despejado y soleado, para captar la iluminancia total, tanto directa como difusa y reflejada, por lo que dependemos totalmente de la meteorología. Por ello una de las mediciones se realiza casi totalmente un día de diciembre, siendo imposible la primera toma de datos a las nueve de la mañana, por lo que ésta se realizó un día de febrero. Otra de las limitaciones existentes se debe a la poca disponibilidad de acceso a la zona de medición, pues se trata de una vivienda habitada y como tal, no tenemos total libertad para disponer de sus dependencias. Así pues, los días en los que se ha realizado la medición han sido:

- o El 9 de diciembre \_ a las 12:00,15:00 horas solares
- o El 3 de febrero del 2011 \_ a las 9:00 horas solares
- o El 1 de abril del 2011 \_ a las 9:00, 12:00,15:00 y 18:00 horas solares



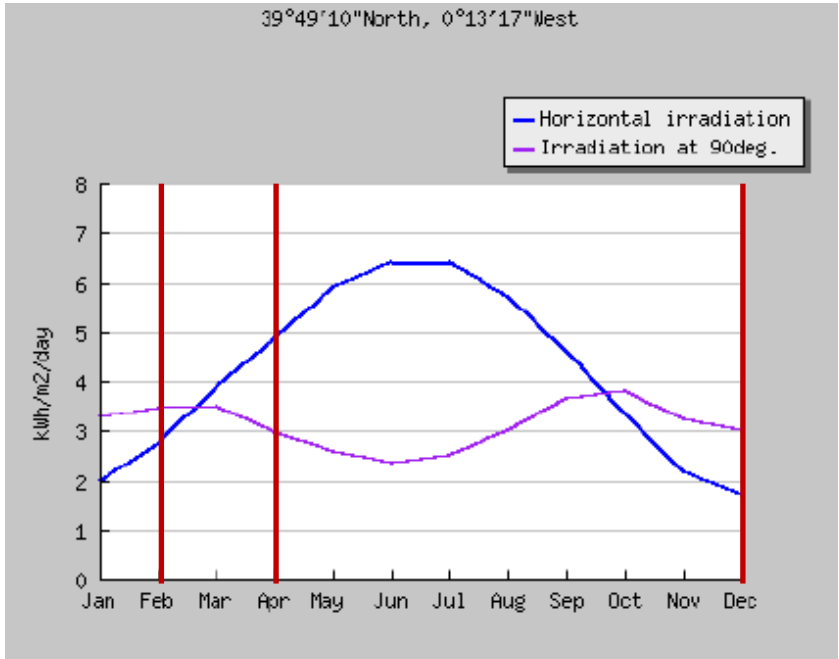


Figura 7. 3: Irradiancia sobre plano vertical y horizontal durante un año, en Vall Uxó.

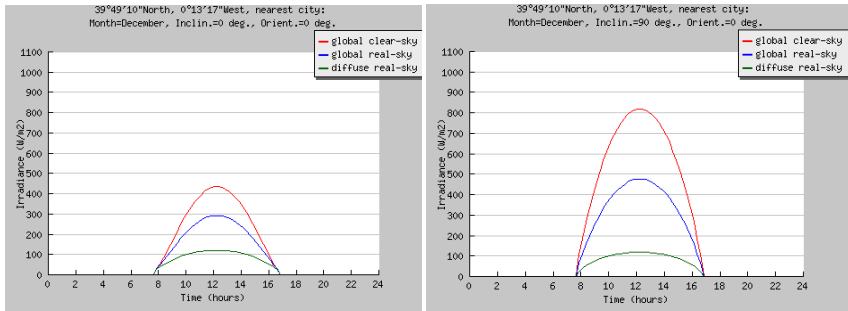


Figura 7. 5: Irradiancia diaria en diciembre sobre plano horizontal y vertical respectivamente, para Vall Uxó.

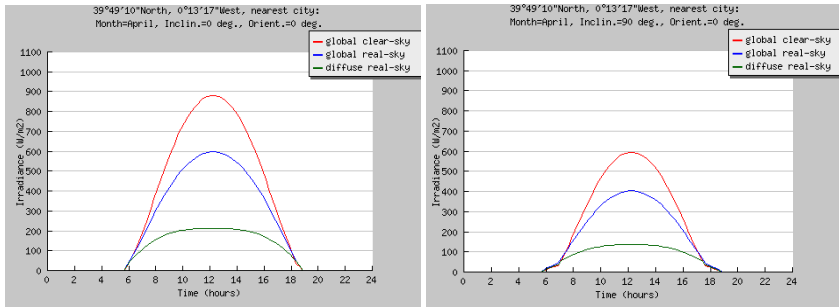


Figura 7. 6: Irradiancia diaria en abril sobre plano horizontal y vertical respectivamente, para Vall Uxó.

Antes de mostrar los resultados haremos algunas observaciones:

En la gráfica de la figura 7.3 se muestra la diferencia de irradiación sobre un plano horizontal y otro vertical para los diferentes meses del año. En rojo se han marcado los meses estudiados, comprobando que para la primera medición de diciembre, al tener el sol menor altura y llegar los rayos solares más rasantes, la irradiación sobre el plano vertical es mayor que sobre un plano horizontal; lo mismo ocurre pero con menor diferencia en el mes de febrero, en el que se ha realizado la medición de las 9:00 horas.

Sin embargo en el mes de abril, cuando se ha realizado la segunda medición, ocurre lo contrario: existe mayor irradiación sobre el plano horizontal que sobre el vertical, al ser la altura del sol mayor.

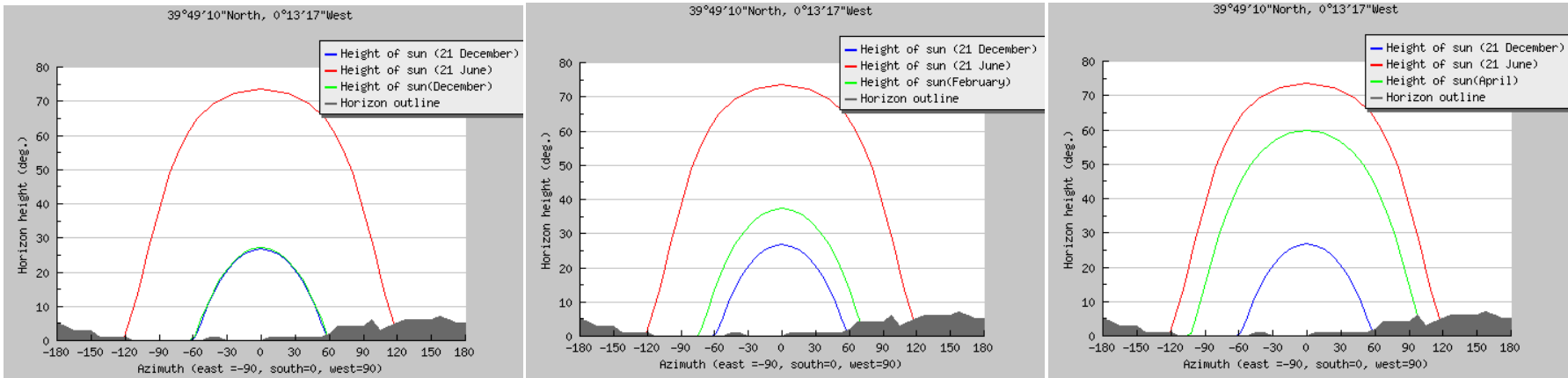
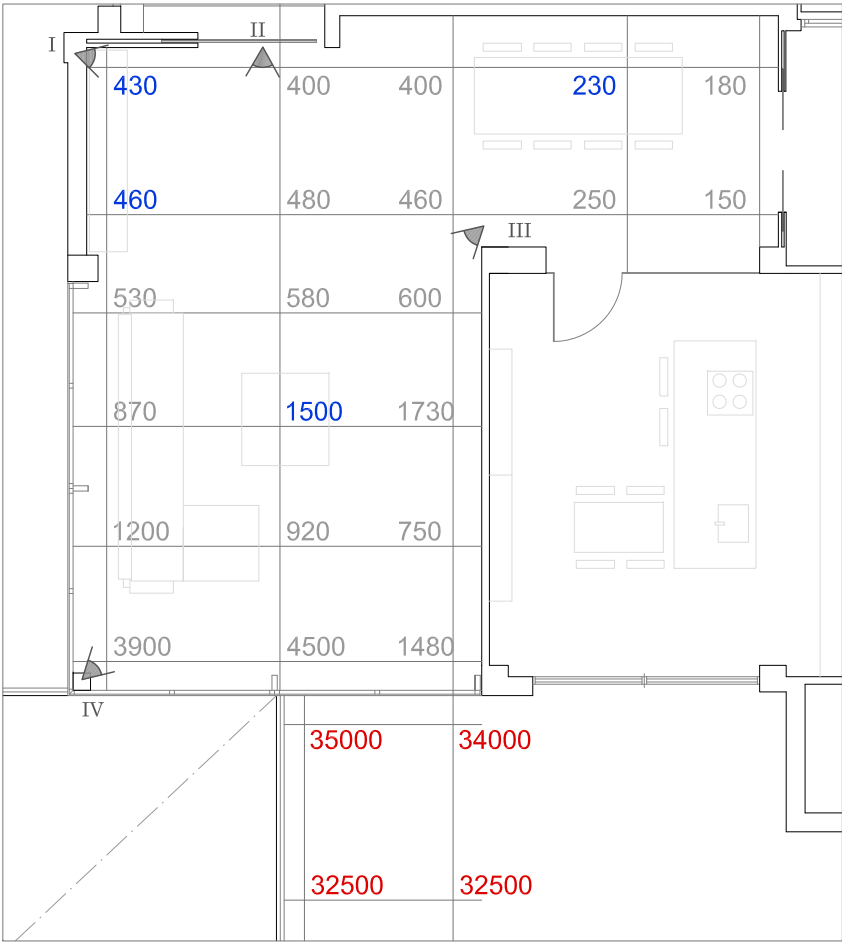
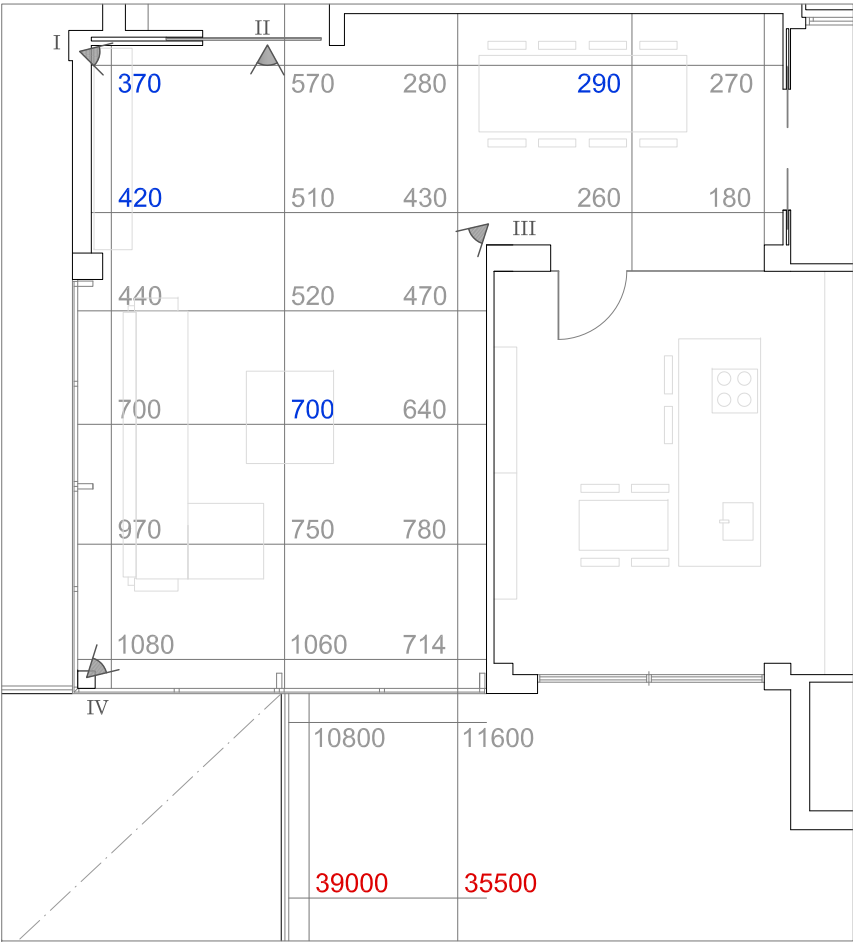
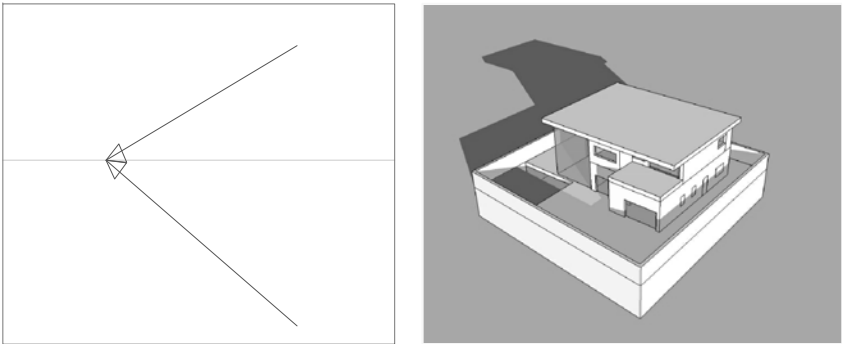


Figura 7. 4: Altura del Sol para los meses estudiados, diciembre, febrero (9:00) y abril.

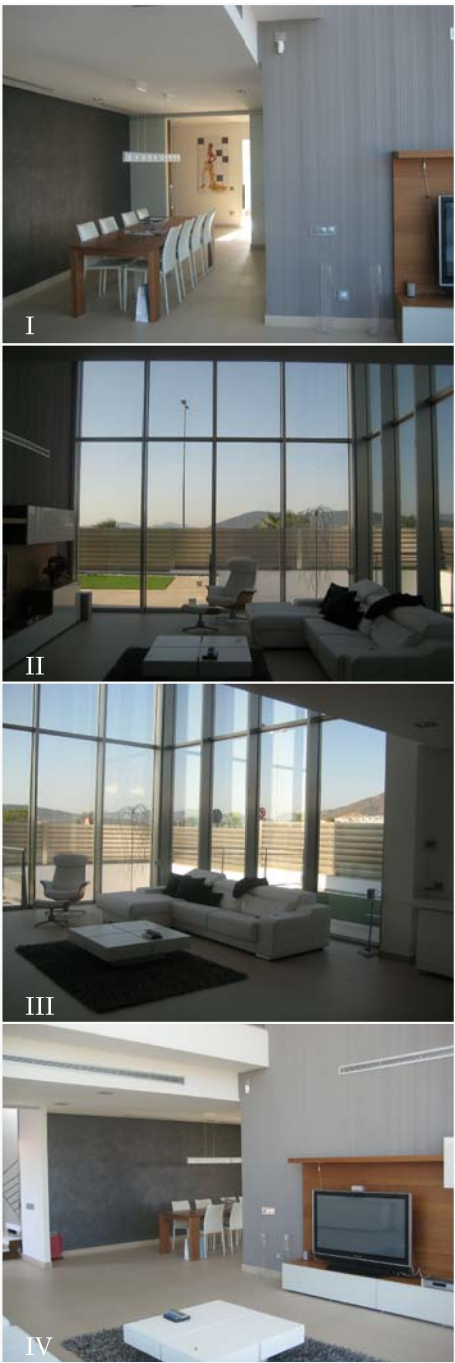
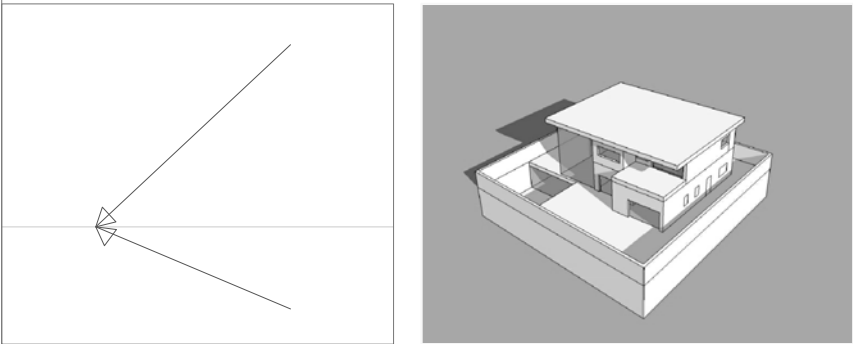
En los gráficos que quedan a la izquierda se aprecia mejor la diferencia de irradiancia según la disposición del plano, horizontal o vertical, para los dos meses estudiados y durante el periodo de tiempo de un día desglosado en irradiancia global y difusa. Como se ha dicho anteriormente, la irradiancia es la energía total incidente sobre la unidad de superficie, que engloba todo el espectro electromagnético entre las cuales se encuentra la luz visible.

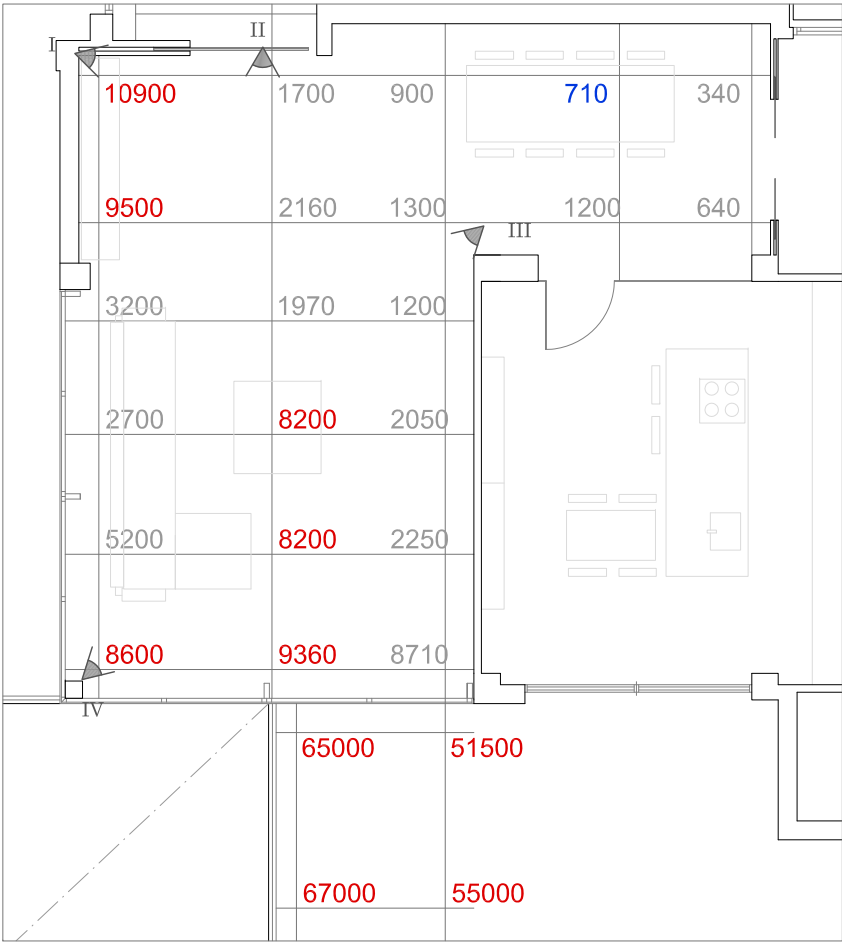
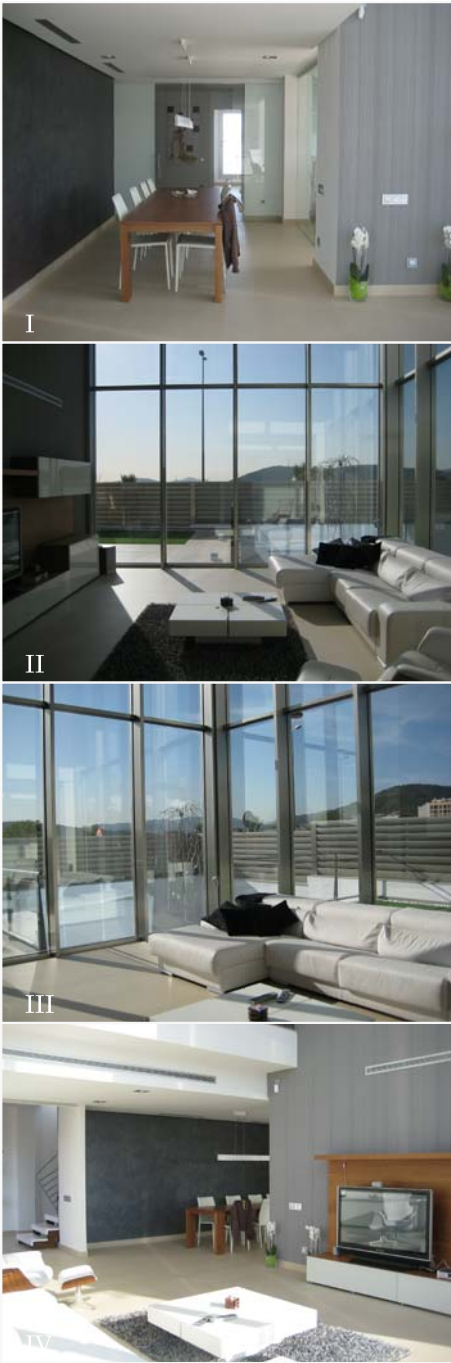


03 / febrero / 2011 \_ 08:30 | hora solar \_ 09:00 |

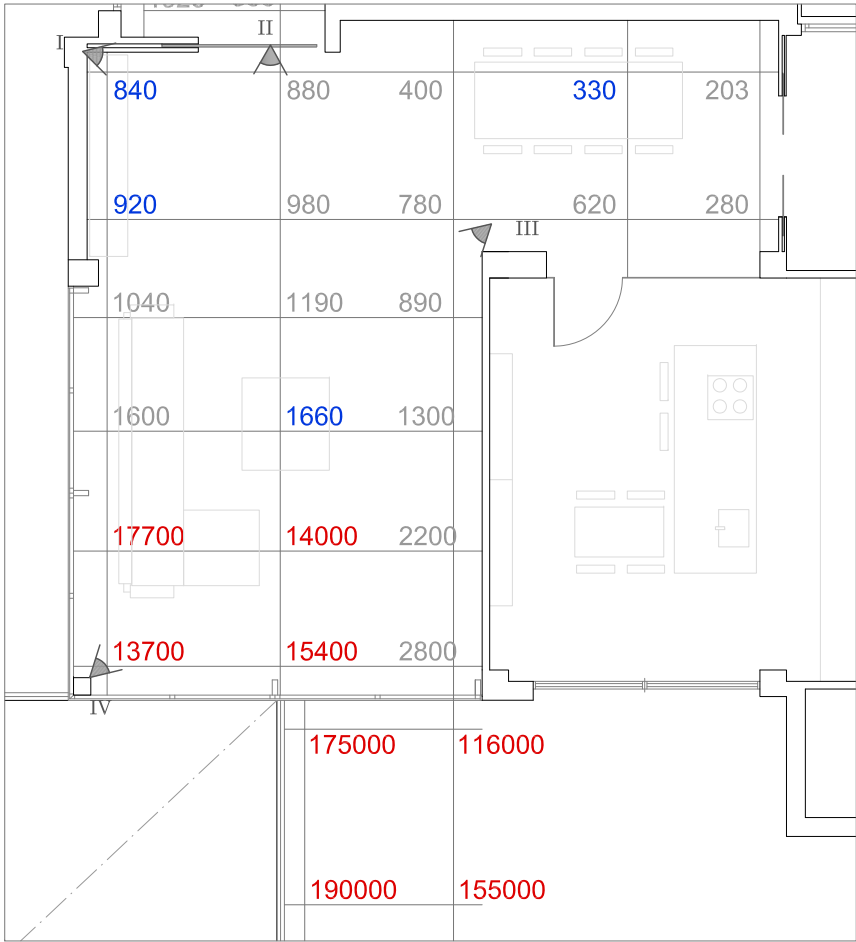
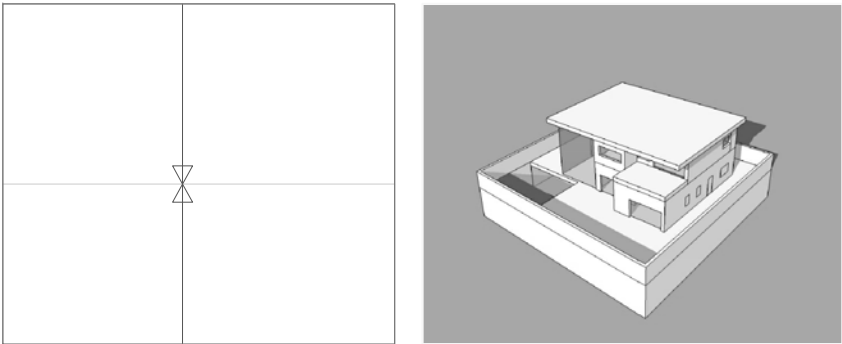


01 / abril / 2011 \_ 09:30 | hora solar \_ 09:00 |

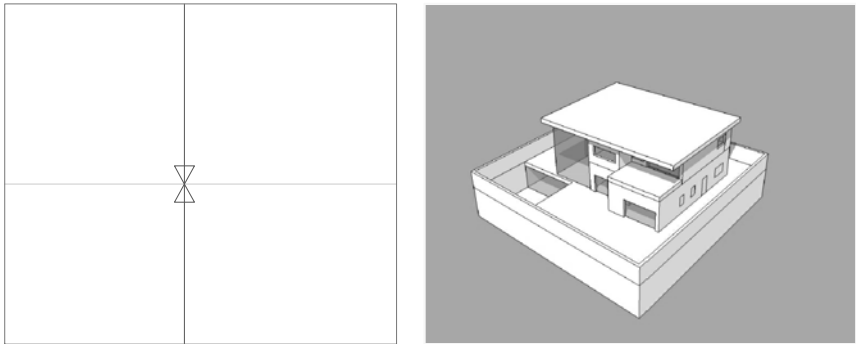




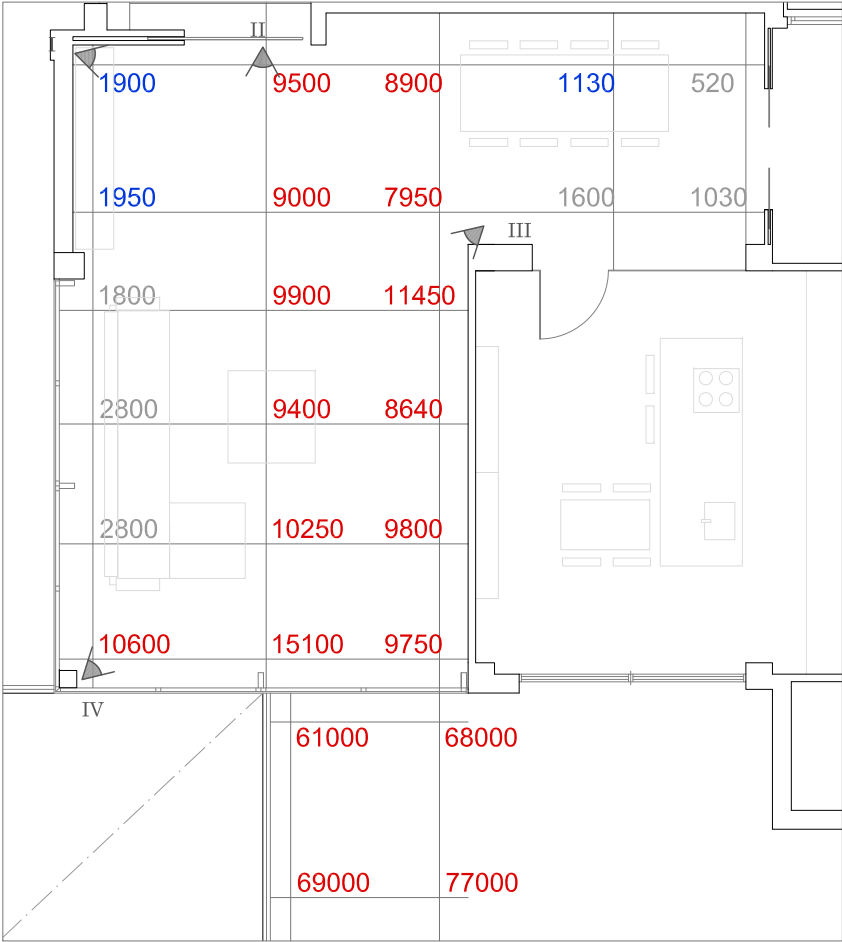
09 / diciembre / 2010 \_ 11:30 | hora solar \_ 12:00 |



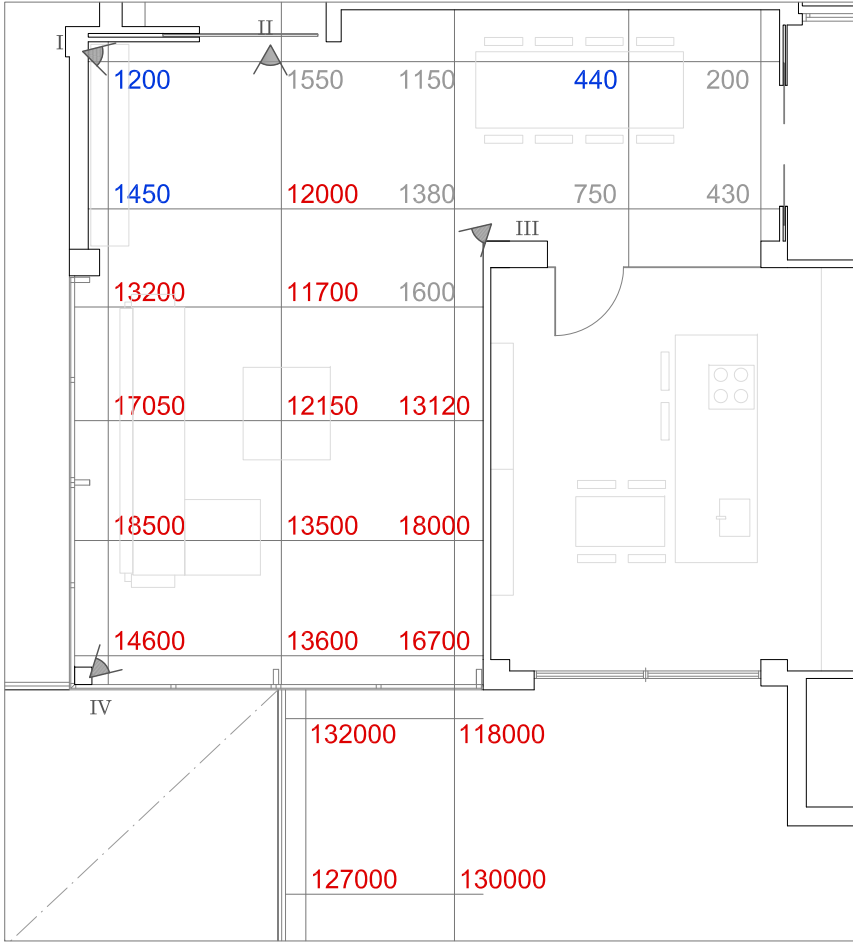
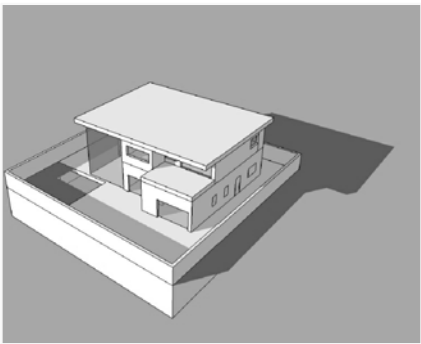
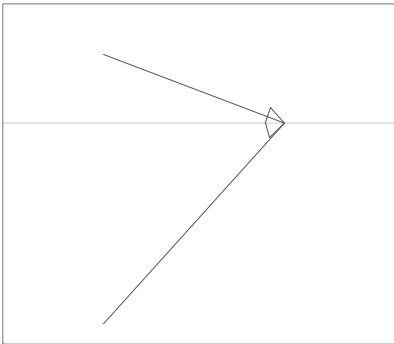
01 / abril / 2011 \_ 12:30 | hora solar \_ 12:00 |



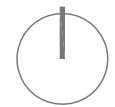
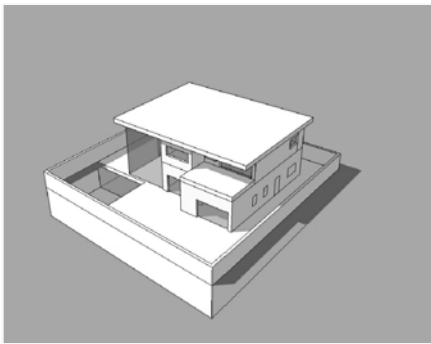
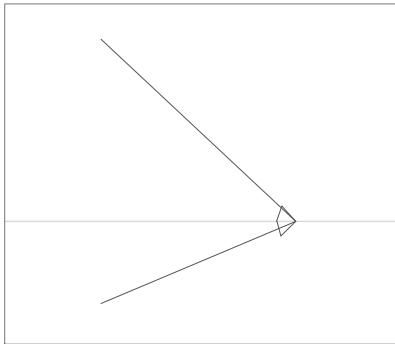


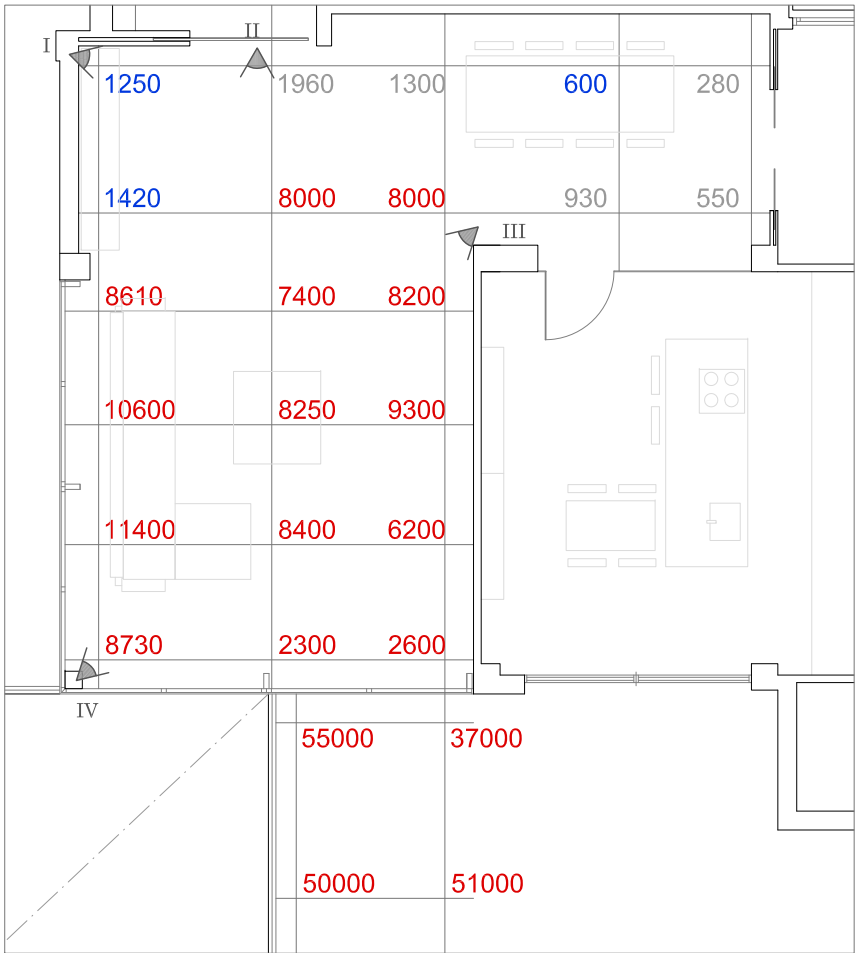


09 / diciembre / 2010 \_ 14:30 | hora solar \_ 15:00 |

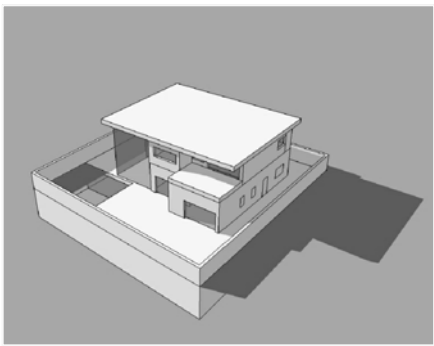
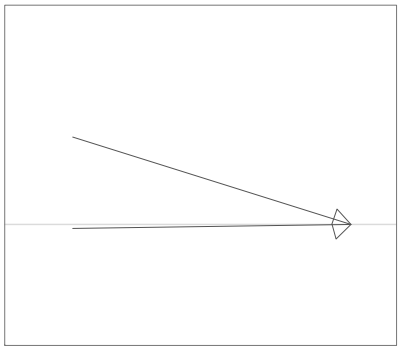


01 / abril / 2011 \_ 15:30 | hora solar \_ 15:00 |





01 / abril / 2011 \_ 18:30 | hora solar \_ 18:00 |



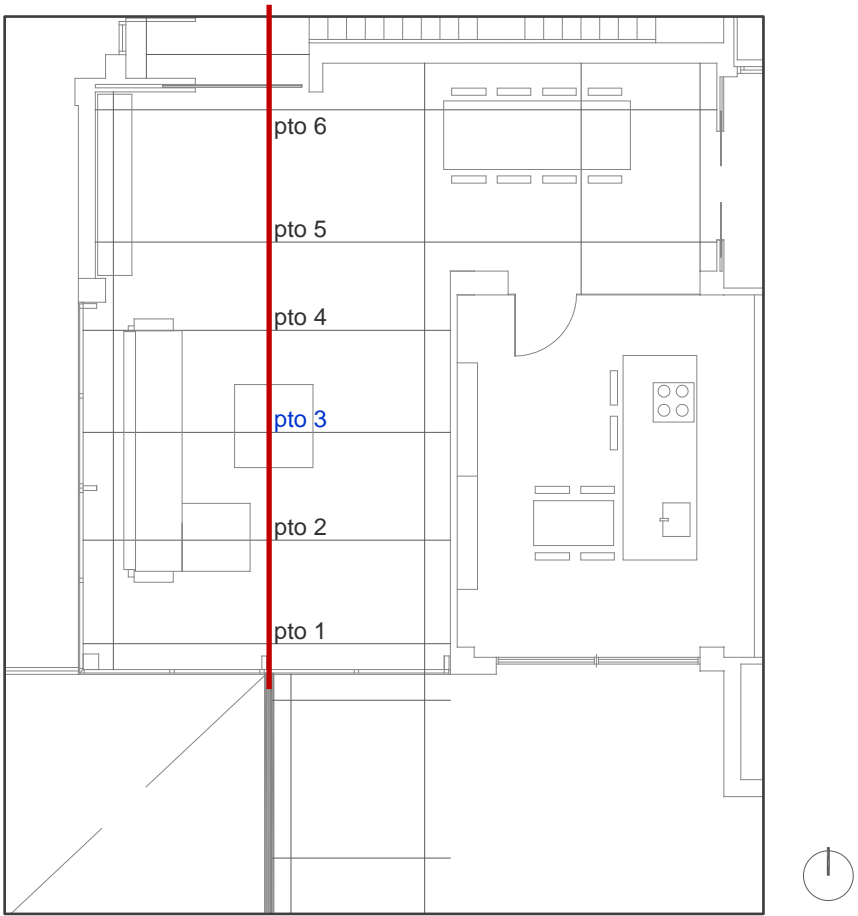


Figura 7. 7: Esquema de puntos de medición *in situ* para elaboración de las gráficas.

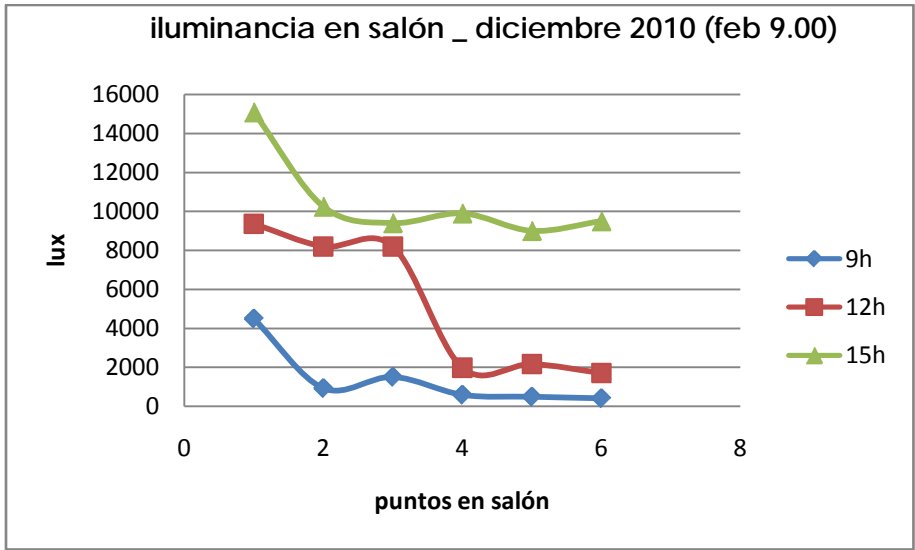


Figura 7. 9: Gráfica de comparación de iluminancias en diciembre (febrero) en el salón de la vivienda objeto de estudio, sobre una recta imaginaria.

7.2 Análisis de resultados

Con las mediciones de iluminación natural *in situ*, se han elaborado unas gráficas para comparar y analizar los distintos resultados.

Las primeras gráficas se han confeccionado para analizar los datos recogidos en una línea imaginaria que recorre el centro del salón desde el muro cortina hasta la entrada al mismo, según esquema de figura 7.7. Se ha elegido esta línea central porque se entiende que es la más representativa de las tres posibles, pues la línea de la derecha presenta valores similares a la elegida, y la de la izquierda tiene el inconveniente de la existencia de un sofá que, para seguir los criterios planteados, se ha medido a cota 0 por detrás del sofá, haciendo sombra en determinadas mediciones, pero necesaria para las mediciones de la tarde, pues el Sol penetrará por este flanco. Esta línea no se ha prolongado en el exterior de la vivienda porque, si así fuera no se apreciaría las diferentes iluminancias en el interior de la vivienda.

Debemos tener en cuenta en todo momento que el espacio objeto de medición se encuentra orientado a sur. Así mismo, presenta una gran abertura, de 30 m<sup>2</sup>, tanto a sur como a oeste (muro cortina) por el que entrará la mayor parte de iluminación natural. El salón está conectado espacialmente con el recibidor donde existe un lucernario orientado a norte, y con la puerta de entrada que también puede proporcionar luz natural si se mantiene abierta (posición que tuvo durante las mediciones).

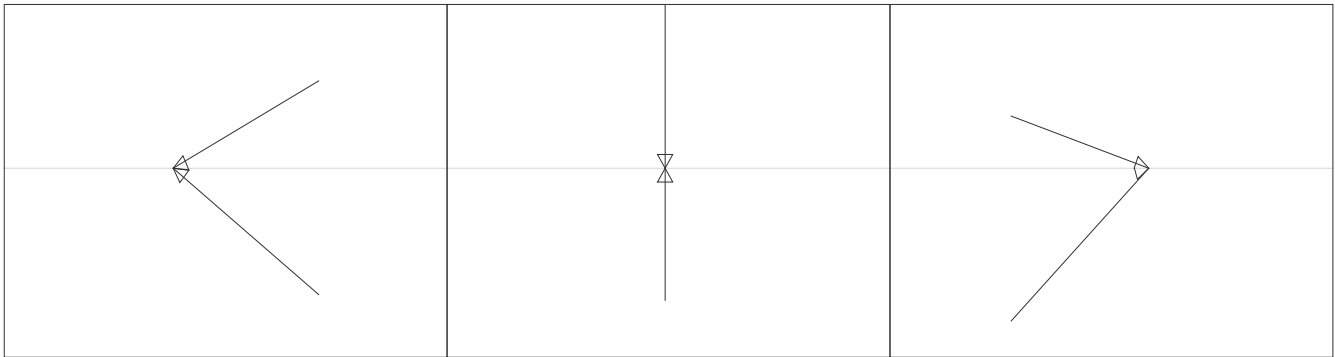


Figura 7. 8: Ángulos de incidencia solar, a las 9:00 h (febrero), 12:00 h y 15:00 h correspondientes al mes de diciembre.

Según la gráfica de la figura 7.9 podemos determinar que los mayores valores de iluminancia se producen en las proximidades del muro cortina como cabía esperar. Dando el mayor valor registrado a las 3 de la tarde, con valores del orden de 15.000 lux, seguido por la medición tomada a las 12 h, del orden de 9.000 lux.

En todo el recorrido estudiado se detecta que la menor medición ha sido la obtenida a primera hora de la mañana, pues los rayos solares no llegan a penetrar en el interior del salón, mientras que en las otras dos mediciones sí penetran, a las 12:00 alcanzan el tercer punto de la recta imaginaria, y a las 15:00 invaden completamente el salón.

Por lo general, conforme nos alejamos del muro cortina y nos adentramos en el salón, se aprecia un descenso en los niveles de iluminancia, salvo en algunos puntos: el punto 3, en la primera hora estudiada, registra valores ligeramente superiores al punto anterior (1.500 lux frente a 920 lux), esto es debido a que la medición se ha realizado sobre un mueble, de una altura aproximada de medio metro, por lo que podemos decir que a mayor altura en ausencia de rayos solares, mayores niveles de iluminancia. Sin embargo en la medición realizada a las 12, ambos valores se igualan con 8200 lux y posteriormente caen significativamente, pues los rayos solares ya no bañan el resto de la recta imaginaria. A las 3:00h, debido a la intensidad con la que penetra el Sol, el punto 2 registra un nivel de iluminancia superior al punto 3 (10.200 lux frente a 9400 lux), y se mantiene en ese orden en el resto de la recta, pues el Sol penetra hasta el interior.





Figura 7. 10: Fotografía del salón. Los rayos solares penetran hasta la esquina posterior, a las 12 h de un día de diciembre.

El punto 5, únicamente en la medición de las 12 horas, representa un pico respecto a los puntos adyacentes (2.160 lux), pero muy inferiores a los niveles registrados en las proximidades del muro cortina; si nos fijamos en las fotografías que acompañan las mediciones *in situ* y la fotografía de la figura 7.10, se aprecia que este pico es debido a las reflexiones producidas sobre el suelo y paredes blancas, pues los rayos solares penetran hasta la esquina posterior izquierda, adyacente al punto objeto de estudio.

El punto 6 en la medición de las 15 horas presenta un ligero ascenso de los niveles de iluminancia (9.500 lux), debido a la luz que por reflexión le llega de la zona del recibidor, por el lucernario y la puerta de entrada que se dejó abierta como se ha comentado anteriormente.

En este mes no hay mediciones *in situ* correspondientes a las 18 horas, pues la duración del día es menor que en los meses estivales, por lo tanto no hay luz solar.

Para finalizar el comentario de esta gráfica, cabe decir que es importante tener en cuenta los niveles de iluminancia que se están produciendo en el exterior, al otro lado del muro cortina, y para cada hora estudiada. Así pues tenemos, a las 9:00h, 35.000 frente a los 4.500 lux que se dan en el primer punto; 65.000 lux frente a los 9.300 que se dan en el medio día; y 61.000 frente a 15.000 lux a las tres de la tarde, con lo que podemos decir que el vidrio bajo emisivo y reflectante que se ha utilizado para el salón responde muy bien a efectos de transmisión luminosa, pues absorbe entre 75 y 87% de la iluminancia natural que le llega, controlando así el nivel de iluminación que llega del exterior.

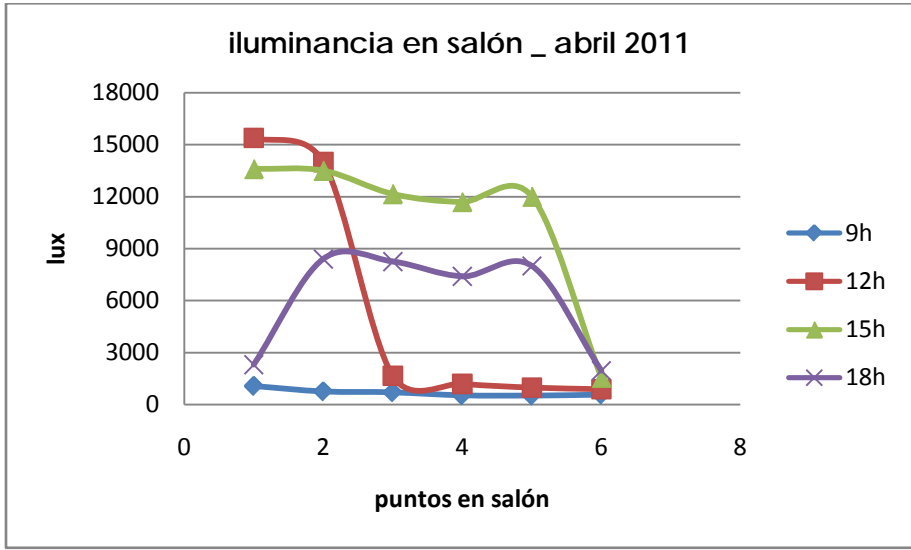


Figura 7. 12: Gráfica de comparación de iluminancias en abril en el salón de la vivienda objeto de estudio, sobre una recta imaginaria.

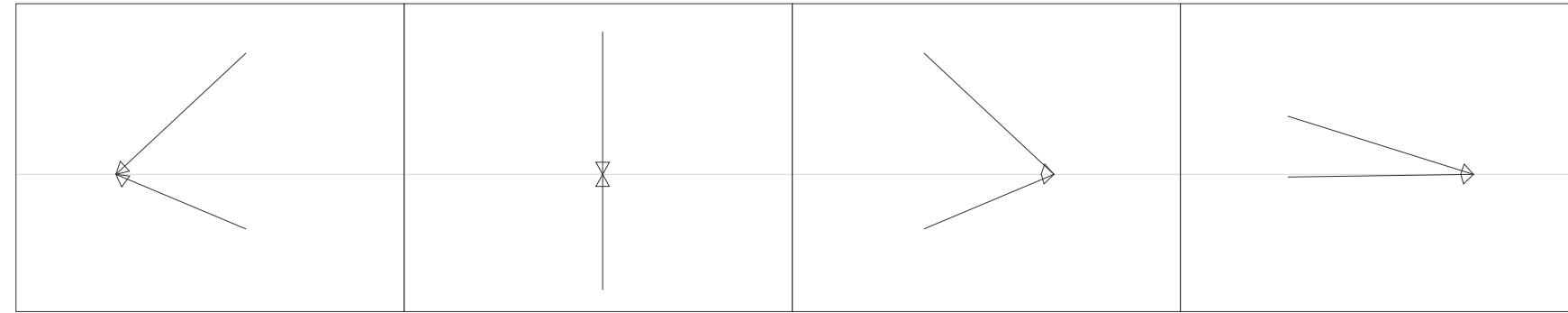


Figura 7. 11: Ángulos de incidencia solar, a las 9:00 h, 12:00 h, 15:00 h y 18:00 h correspondientes al mes de abril.

Continuamos analizando la gráfica para el mes de abril, figura 7.12.

Respecto a la gráfica realizada para el mes de diciembre hay ciertas similitudes: en la mayor parte de los puntos estudiados se mantiene el orden de menor a mayores valores registrados respecto a las horas tomadas, es decir, las 9:00 horas registra los menores valores y las 15:00 horas los mayores valores, si bien, las relaciones entre los mismos no se mantienen. Como novedad en esta gráfica aparece la medición de las 18:00h.



Figura 7. 13. Fotografía del salón. Los rayos solares penetran en el interior, a las 15 h de un día de abril.

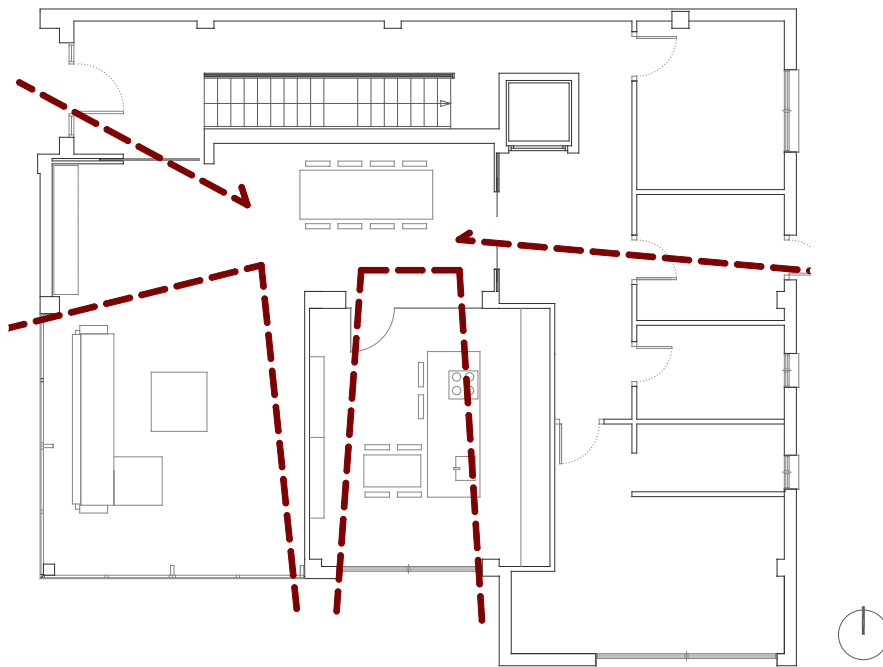


Figura 7. 14: Iluminación natural que recibe la zona del comedor.

En primer lugar observamos que a las 9:00 de la mañana no penetra el Sol en el interior del salón, se obtienen unos niveles de iluminancia entre 1000 y 500 lux, que dan lugar a una iluminación natural uniforme dentro del salón, sin contrastes.

En la siguiente medición, a las 12:00 horas, penetran los rayos solares en los primeros dos puestos, alcanzando una iluminancia del orden de 15.000 lux; y decrece proporcionalmente a lo largo de la recta imaginaria, hasta los 880 lux.

A las tres de la tarde el Sol penetra hasta el quinto punto, como se aprecia en las imágenes anteriores de la medición *in situ* y en la imagen de la figura 7.13. En el primer punto se alcanza el valor de 13.600 lux (frente a los 15.400 lux que se alcanzaban a las 12h), y decrece proporcionalmente hasta el cuarto punto con 11.700 lux. Sin embargo en el siguiente punto estudiado vuelve a incrementarse en 12.000 lux, esto es debido a la luz que le llega de la zona del recibidor.

Debido a que nos encontramos en el mes de abril disponemos de medición a las 18:00h, pues como sabemos, el día se alarga conforme nos acercamos al solsticio de verano. En esta medición el Sol ya no entra por la fachada sur, sino por la oeste, registrando en el primer punto, según se aprecia en la gráfica anterior, figura 7.12, valores inferiores al resto del salón, con 2.300 lux. Sin embargo, en los demás puntos, los rayos solares llegan hasta ellos atravesando completamente el salón y alcanzando valores de iluminancia del orden de 8.000 lux; excepto el último punto, que no le llega el Sol directamente y refleja una iluminancia de 2.300 lux.

Como hemos hecho con la gráfica del mes de diciembre, vamos a comparar ahora qué ocurre en el exterior de la vivienda en el mes de abril. A las nueve de la mañana se registra al otro lado del muro cortina 10.800 lux, frente a los 1.060 que se registran en el interior; a las 12:00 horas nos encontramos con 175.000 lux frente a 15.400 lux del interior; a las tres de la tarde en el exterior hay 132.000 lux y en el interior 13.600 lux. Si continuamos, a las seis de la tarde se observan 55.000 lux en el exterior y 2.300 en el interior. Esta vez el vidrio ha absorbido entre un 83 y un 90% de la iluminación natural que incide sobre él.

Si nos fijamos en toda la dimensión del salón, en las láminas presentadas *a priori*, concretamente a las dos líneas paralelas a nuestra línea imaginaria, comprobamos, como se ha dicho anteriormente, que más o menos los valores son similares a los obtenidos en la recta estudiada. Esto es así excepto en las horas en las que el Sol empieza a entrar por el oeste, a las 15:00 y 18:00 horas de abril, donde en la línea que queda paralela al muro cortina se registran valores entre el 10 y el 40% superiores a la recta estudiada.

Por lo que respecta a la zona del comedor, se obtienen valores similares pero inferiores a la última franja de la zona del salón; exceptuando las horas en las que penetra el Sol a lo largo de todo el salón, aquí se produce un contraste más acentuado en el comedor al quedar éste en penumbra, hecho que se ve reforzado por la existencia de una de las paredes en gris oscuro, alcanzando valores de casi diez veces menores a los que se registran en el salón.

Cabe mencionar que el comedor recibe iluminación natural por distintas aberturas: a primera hora, por el este, recibe luz natural por un ventanal situado en una de las habitaciones, pues la puerta que separa el comedor del resto de dependencias es de cristal. A medio día recibe iluminación natural por el sur, ésta le llega tanto por el muro cortina del salón como por la cocina, pues sólo las separa un vidrio. Y por la tarde, la luz le llega por la orientación oeste del muro cortina y por el recibidor en forma de luz reflejada.

A continuación comparamos los valores de la iluminancia para la medición de diciembre y abril en los puntos de la recta imaginaria descrita anteriormente. En el eje de las abscisas se representan las horas de medición: 9:00, 12:00, 15:00 y 18:00 horas, y en el eje de ordenadas la iluminancia en lux.

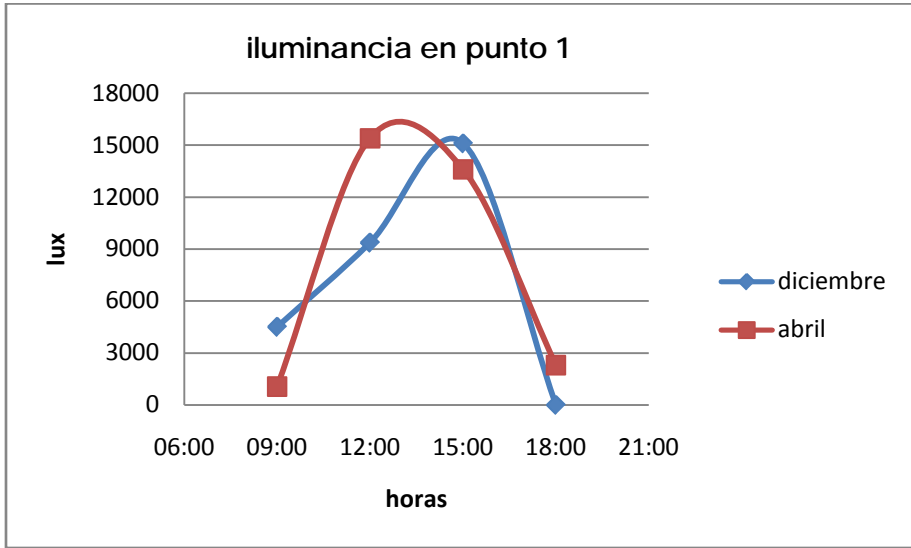


Figura 7. 15: Gráfica de comparación de iluminancias en el primer punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre.

En el punto 1, junto al muro cortina, se observa que durante el mes de diciembre los valores obtenidos se encuentran en un rango comprendido entre 4.000 y 15.000 lux, y va creciendo gradualmente desde las 9:00 hasta las 15:00 horas, para posteriormente decrecer hasta anularse.

En abril también crece gradualmente desde las 9:00 hasta las 12:00, siendo la medición de la mañana cuatro veces menor en abril que en febrero, y creciendo de forma progresiva hasta 15.4600 lux al medio día, un 65% mayor que el obtenido en diciembre, para luego decrecer hasta 13.600 lux a las 15h. Así mismo, por la tarde, se obtiene un valor menor de 2.300 lux, que como ya se ha explicado en las gráficas anteriores, deviene de que el Sol ya no penetra por el Sur sino por el Oeste.

Cabe recordar qu,e por razones de meteorología y disposición de los ocupantes, no pudo realizarse la medición de las 9:00 horas correspondiente al mes de diciembre y se trasladó a principios de febrero. También es preciso recalcar que los valores que se grafían en rojo indican que están bañados por el Sol.

	9h (1)	12h (2)	15h (3)	18h (4)
diciembre	4500	9360	15100	-
abril	1060	15400	13600	2300

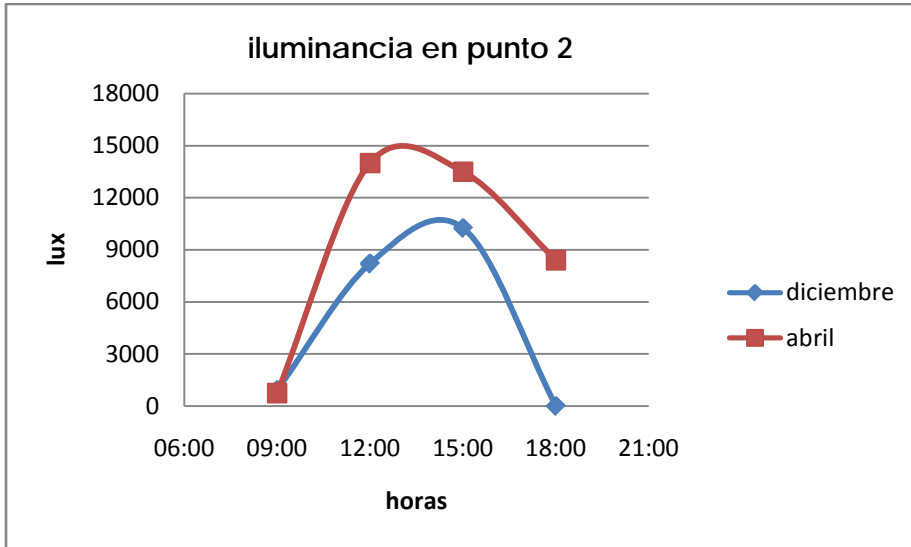


Figura 7. 16: Gráfica de comparación de iluminancias en el segundo punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

En el punto dos de la recta imaginaria se alcanzan valores para el mes de diciembre, entre 920 y 10.250 lux, teniendo en cuenta que este último valor es resultado del alcance de los rayos solares.

La primera toma de abril es menor a la tomada en diciembre, como ocurría en el primer punto, posiblemente debido al ángulo de incidencia de los rayos solares. En las siguientes dos tomas, de las 12:00 y 15:00 horas, se alcanzan valores similares de 14.000 lux, y finalmente a las 18:00 se llega a un valor de 8.400 lux.

	9h (1)	12h (2)	15h (3)	18h (4)
diciembre	920	8200	10250	-
abril	750	14000	13500	8400

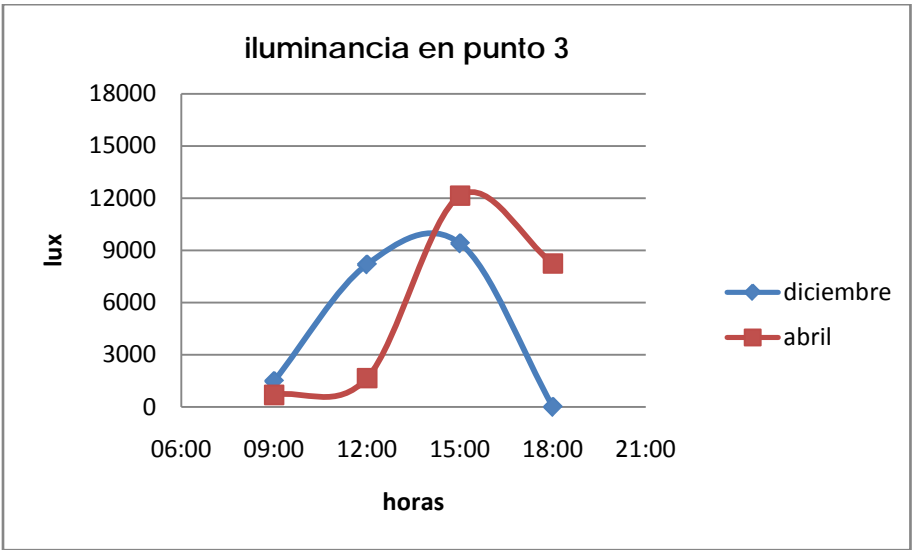


Figura 7. 17: Gráfica de comparación de iluminancias en el tercer punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

En el tercer punto estudiado la medición realizada a las 9:00 horas es superior en diciembre que en abril, con valores de 1.500 frente a 700 lux, como ocurre en los dos puntos anteriores. Lo mismo sucede a las 12:00 horas, con un valor de 8.200 en diciembre y 1660 lux en abril.

En diciembre se alcanza el valor máximo a las 15:00 horas, igual que en los otros puntos ya vistos, con un valor de 9.400 lux, bastante cercano al de la medición anterior. En abril también se alcanza el valor máximo a las tres de la tarde, pero un 30% mayor respecto a diciembre, con unos 12.000 lux, y decae hasta 8.200 a las seis de la tarde.

	9h (1)	12h (2)	15h (3)	18h (4)
diciembre	1500	8200	9400	-
abril	700	1660	12150	8250

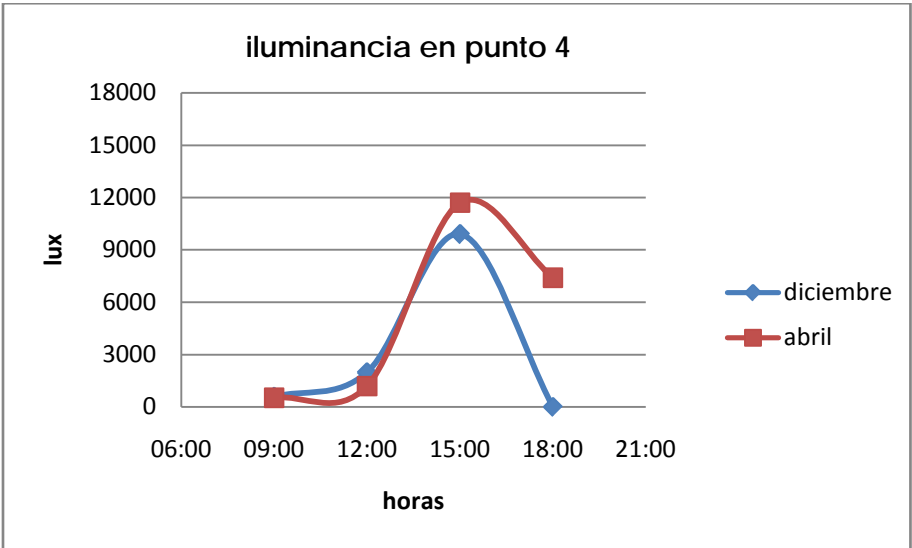


Figura 7. 18: Gráfica de comparación de iluminancias en el cuarto punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Los valores tomados a las 9 de la mañana son similares para los dos meses estudiados, en el cuarto punto de la recta imaginaria.

Sin embargo los valores tomados a las 12:00 horas aumentan en un 65% para la medición de diciembre, como estamos viendo en los puntos anteriores.

Cuando llegamos a la medición de las 15:00 horas, nos encontramos con un valor similar al punto anterior de 9.900 lux para diciembre, y un valor de 11.700 lux en abril, un 18% mayor que el obtenido en diciembre. En ambos casos llegan los rayos solares hasta este punto.

A las 18:00 horas del mes de abril también llegan los rayos solares alcanzando un valor de 7.400 lux.

	9h (1)	12h (2)	15h (3)	18h (4)
diciembre	580	1970	9900	-
abril	520	1190	11700	7400

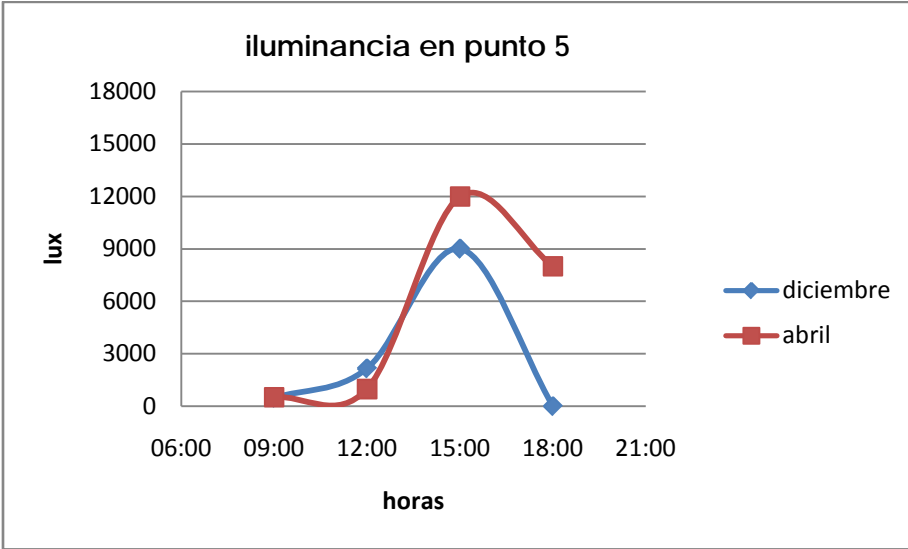


Figura 7. 19: Gráfica de comparación de iluminancias en el quinto punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Como podemos ver, la gráfica del punto cinco es muy similar a la gráfica del punto cuatro, con valores algo diferentes según se ve en la tabla siguiente.

En los demás casos veíamos cómo las mediciones realizadas a las 9:00 y a las 12:00 de la mañana eran superiores para el mes de diciembre, sin embargo, es la primera vez que esto no es así, pero únicamente para la medición de las 9.00 horas, aunque los valores para ambos meses son muy parecidos. A mediodía vuelve a repetirse este hecho, superando en más del doble la medición de diciembre.

Los valores registrados a las tres horas son similares al punto anterior, también les llega el Sol, alcanzando 9.000 y 12.000 lux para diciembre y abril respectivamente.

En abril a las 18:00 se llega a 8.000 lux, un valor muy similar pero mayor al registrado en el punto anterior.

	9h (1)	12h (2)	15h (3)	18h (4)
diciembre	480	2160	9000	-
abril	510	980	12000	8000

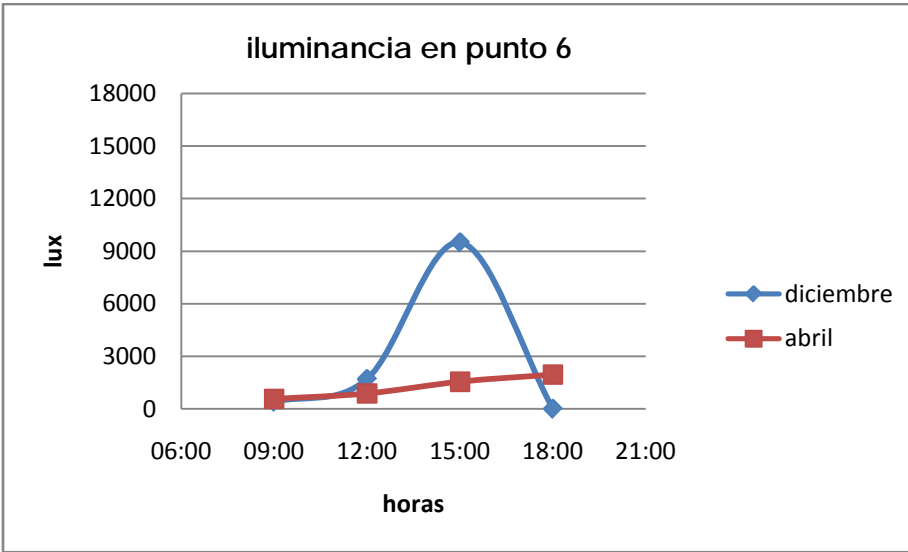


Figura 7. 20: Gráfica de comparación de iluminancias en el sexto punto de la recta imaginaria, para abril y diciembre

Esta gráfica es bastante diferente a las vistas hasta ahora. En el punto seis de la recta que estamos estudiando, son en todo momento superiores las mediciones de diciembre a las de abril, incluso hay un momento del día, a las 15:00 horas, que llegan los rayos solares con 9.500 lux, mientras que en abril no llegan en ningún momento.

El rango de lux que se alcanza en abril va desde 570 a 1960 lux, creciendo progresivamente de una hora a la siguiente, dando como resultado la línea que se aprecia en la gráfica.

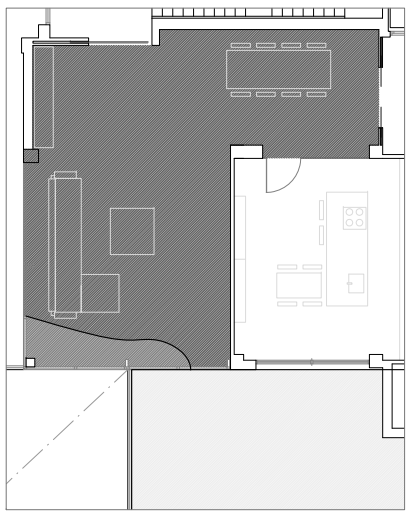
	9h (1)	12h (2)	15h (3)	18h (4)
diciembre	400	1700	9500	-
abril	570	880	1550	1960

A continuación se adjuntan unos diagramas que muestran la distribución de lux en el salón comedor, en cada uno de los estadios objeto de estudio. Se ha utilizado dos escalas de colores: una escala en grises, con un intervalo de 1000 lux para poder distinguir los cambios de iluminancia en el interior de la vivienda, y una segunda escala de blanco a rojo, con un intervalo de 50.000 lux para alcanzar los valores que se dan en el exterior.

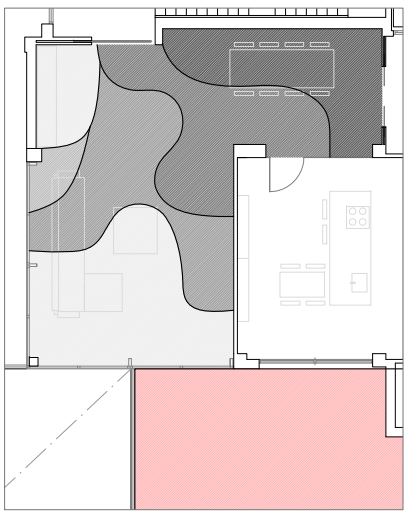




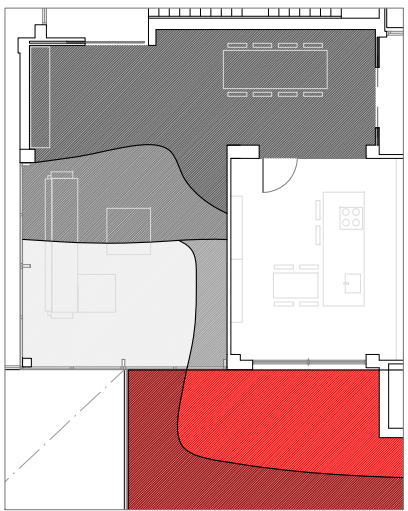
03 / febr. / 2011 \_ 09:00 | 09:00 |



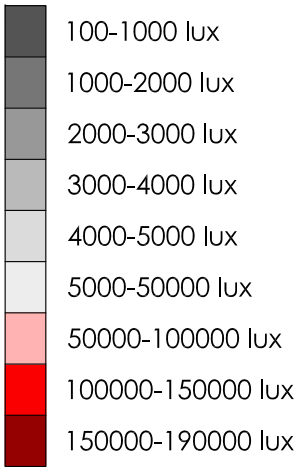
01 / abril / 2011 \_ 09:30 | 09:00 |



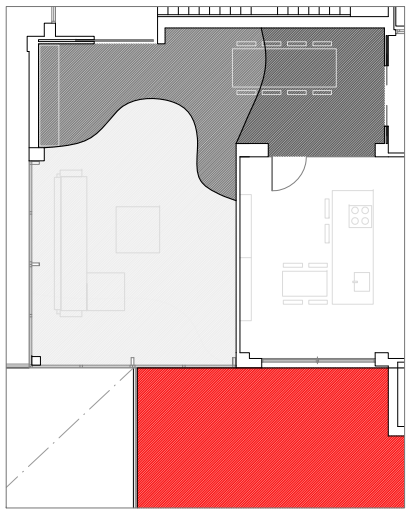
09 / dic / 2010 \_ 11:30 | 12:00 |



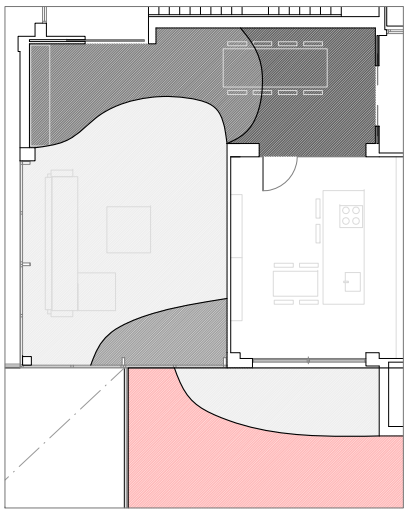
01 / abril / 2011 \_ 12:30 | 12:00 |



09 / dic / 2010 \_ 14:30 | 15:00 |



01 / abril / 2011 \_ 15:30 | 15:00 |



01 / abril / 2011 \_ 18:30 | 18:00 |





### 7.3 Mejoras



Figura 7. 21: Ejemplo de arbolado como protección solar.. Casa Rocafort. Ramon Esteve. Valencia



Figura 7. 22: Persiana. De la casa gradhermetic

Como se ha explicado en puntos anteriores, las causas principales de deslumbramiento son por un exceso de iluminancia, que puede ocurrir cuando se superan los 100.000 lux, y por un excesivo contraste entre luminancias dentro del campo visual que aparece cuando se sobrepasa entre la zona de trabajo y su inmediato entorno la relación 3:1.

En ningún punto interior de la zona estudiada se sobrepasan los 100.000 lux, con lo que podríamos afirmar que no existe deslumbramiento en el salón comedor. No obstante, en algunos puntos se sobrepasa la relación 1:3 recomendable para evitar la incomodidad visual, como es en la intersección entre salón y comedor cuando el primero recibe los rayos solares, o en el mismo salón, entre una zona soleada y otra en penumbra.

Como mejora para evitar esta situación y acercarnos al confort lumínico se propone, ya que ambas situaciones se dan por la entrada directa de luz solar, la colocación de un elemento de protección solar, y para ello recurrimos al punto 4.3 del presente trabajo.

A la hora de elegir un elemento de protección solar, hay que tener en cuenta que debe mantenerse la estética de la fachada, en este caso un muro cortina de seis metros de altura, por lo que sería deseable no colocar ningún elemento adosado a la misma, como podría ser un porche o colocar celosías en la fachada o incluso, un toldo.

Una de las soluciones que se barajan es ampliar el voladizo, con el que ya cuenta la vivienda en, por lo menos, un metro más. Con lo que se consigue que el Sol no entre en la vivienda en la misma profundidad que lo hacía antes, en los meses cercanos al solsticio de verano, pero seguiría entrando provocando los contrastes ya mencionados.

Otra opción barajada, y además agradable, es la plantación de vegetación de hoja caduca, apta para dejar pasar los rayos solares en invierno e impedir que estos penetren en verano. Que aunque el contraste se manifieste durante todo el año, es aconsejable dejar pasar la radiación directa en invierno, pues sirve como aporte de energía para calentar la estancia.

O bien, árboles de hoja perenne con la altura adecuada para dejar pasar la radiación que llega más rasante de los meses de invierno e impide la entrada de la misma en los meses más calurosos. La altura necesaria del árbol será considerable, ya que la altura libre en el interior del salón es de seis metros, por lo que el árbol debería ser de grandes dimensiones, y para el que debería tenerse en cuenta su peso, pues ha de apoyar sobre un forjado, y comprobar si éste está calculado para soportarlo. El tipo de arbolado habría que elegirlo acorde con las condiciones ambientales de esta localidad.

También podrían colocarse unas persianas interiores, con el fin de no perjudicar la estética exterior de la fachada, que fueran enrollables de forma que una vez recogidas se mantengan fuera del alcance de la vista. Y además sería aconsejable que fueran también orientables para controlar la penetración de la luz solar directa o incluso de la luz difusa. Como tal podría evaluarse el coste de las persianas de la casa *gradhermetic*. Dichas persianas están dotadas de un sistema automático para que el usuario las disponga según le convenga en cada situación diaria. Este tipo de protección solar es efectivo y flexible, sirve tanto para oscurecimiento de la estancia, regulación de la luz incluso protección de vistas sin dejar de permitir la entrada de luz. Su coste dependerá de los materiales utilizados y de las nuevas tecnologías incorporadas.

Teniendo en cuenta que los vidrios utilizados son bajo emisivos y reflectantes, podría valorarse su mejora con vidrios de un menor porcentaje de transmisión lumínica, de forma que se reduciría más todavía la iluminancia que llega al salón.

Si nos fijamos en las fotografías aportadas, la pared del fondo del comedor es gris oscura, lo que incrementa el contraste que se produce en esta zona. Para reducir el contraste se recomienda pintar la pared del comedor en blanco, pues aumentaría la reflexión de luz, reduciendo así el contraste mencionado que provoca incomodidad visual.

## 8. Estudio de las ganancias y pérdidas de energía en una vivienda unifamiliar

## 8.1 Cumplimiento del DB-HE1

### 8.1.1 Demanda energética

La demanda energética de los edificios se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican, según la zonificación climática establecida en el apartado 3.1.1, y de la carga interna en sus espacios según el apartado 3.1.2.

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno  
Transmitancia límite de suelos  
Transmitancia límite de cubiertas  
Factor solar modificado límite de lucernarios

$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $F_{Lim}: 0,30$

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos <sup>(1)</sup> $U_{Hlim} \text{ W/m}^2\text{K}$				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4 (5,7)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8 (4,7)	4,9 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3 (3,8)	4,3 (4,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0 (3,3)	4,0 (4,2)	5,6 (5,7)	5,6 (5,7)	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8 (3,0)	3,7 (3,9)	5,4 (5,5)	5,4 (5,5)	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7 (2,8)	3,6 (3,7)	5,2 (5,3)	5,2 (5,3)	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

Figura 8. 1: Tabla 2.2 del DB-HE1. Valores límite de los parámetros característicos medios.

Determinación de la zona climática a partir de valores tabulados.

La zona climática de cualquier localidad se obtiene de la tabla D.1 del Apéndice D del DB HE en función de la diferencia de altura que exista entre dicha localidad y la altura de referencia de la capital de su provincia.

La provincia del proyecto es Castellón, la altura de referencia es 18 y la localidad es Vall Uxó, con un desnivel entre la localidad del proyecto y la capital de 76 m.

La temperatura exterior de proyecto para la comprobación de condensaciones en el mes de Enero es de 10,1 °C  
La humedad relativa exterior de proyecto para la comprobación de condensaciones en el mes de Enero es de 68 %  
La zonificación climática resultante es **B3**.

### Clasificación de los espacios

Atendiendo a la clasificación de los puntos 1 y 2, apartado 3.2.1 de la sección 1 del DB HE. Existen en el proyecto, espacios interiores clasificados como “espacios habitables de baja carga térmica”.

Atendiendo a la clasificación del punto 3, apartado 3.2.1 de la sección 1 del DB HE. Existen en el proyecto espacios interiores clasificados como “espacios de clase de higrometría 3 o inferior”.

### Valores de transmitancia máximos de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica.

Los parámetros característicos que definen la *envolvente térmica* se agrupan en los siguientes tipos:

- a) transmitancia térmica de muros de fachada UM
- b) transmitancia térmica de cubiertas UC
- c) transmitancia térmica de suelos US
- d) transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno UT
- e) transmitancia térmica de huecos UH
- f) factor solar modificado de huecos FH
- g) factor solar modificado de lucernarios FL
- h) transmitancia térmica de medianerías UMD

Para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, cada uno de los *cerramientos y particiones interiores* de la *envolvente térmica* tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados en la tabla 2.1 de la sección 1 del DB HE en función de la zona climática en la que se ubique el edificio.

Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de <i>cerramientos y particiones interiores</i> de la envolvente térmica U en W/m²K					
<i>Cerramientos y particiones interiores</i>	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, <i>particiones interiores</i> en contacto con espacios <i>no habitables</i> , primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno <sup>(1)</sup> y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos <sup>(2)</sup>	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas <sup>(3)</sup>	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00
<sup>(1)</sup> Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m <sup>(2)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de cámaras sanitarias, se consideran como suelos <sup>(3)</sup> Las particiones interiores en contacto con espacios no habitables, como en el caso de desvanes no habitables, se consideran como cubiertas					

Figura 8. 2: Tabla 2.1 del DB-HE1. Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m²k

8.1.2 Verificación de la limitación de demanda energética.

Se opta por el procedimiento alternativo de comprobación “Opción simplificada”.

Esta opción está basada en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los *cerramientos* y *particiones interiores* que componen su envolvente térmica. La comprobación se realiza a través de la comparación de los valores obtenidos en el cálculo con los valores límite permitidos.

En esta opción se limita la presencia de condensaciones en la superficie y en el interior de los *cerramientos* y se limitan las pérdidas energéticas debidas a las infiltraciones de aire, para unas condiciones normales de utilización de los edificios.

Puede utilizarse la opción simplificada pues se cumplen simultáneamente las condiciones siguientes:

a) El porcentaje de huecos en cada fachada es inferior al 60% de su superficie; o bien, como excepción, se admiten porcentajes de huecos superiores al 60% en aquellas fachadas cuyas áreas supongan un porcentaje inferior al 10% del área total de las fachadas del edificio.

En el caso de que en una determinada fachada el porcentaje de huecos sea superior al 60% de su superficie y suponga un área inferior al 10% del área total de las fachadas del edificio, la transmitancia media de dicha fachada  $U_f$  (incluyendo parte opaca y huecos) será inferior a la transmitancia media que resultase si el porcentaje fuera del 60%.

b) El porcentaje de lucernarios es inferior al 5% de la superficie total de la cubierta.

No se trata de edificios cuyos cerramientos estén formados por soluciones constructivas no convencionales tales como *muros Trombe*, *muros parietodinámicos*, *invernaderos adosados*, etc.

Para justificar el cumplimiento de las condiciones que se establecen en la Sección 1 del DB HE se adjuntan fichas justificativas del cálculo de los parámetros característicos medios y los formularios de conformidad que figuran en el Apéndice H del DB HE.

Aplicabilidad del método

Fachadas						
	S. Muros	S. Huecos	S. Total	% huecos		
N	102	0	102	0%	≤	60%
E	72	6,8	78,8	9%	≤	
SE				0%	≤	
S	40	59,5	99,5	60%	≤	
SO				0%	≤	
O	36	42	78	54%	≤	
TOTAL	250	108,3	358,3	30%	≤	

Cubiertas

	S. cub.	S. Huecos	S. Total	% huecos		
C	185	6,4	191,4	3%	≤	5%

Es de aplicación el Método Simplificado

FICHA 1 Cálculo de los parámetros característicos medios

ZONA CLIMÁTICA	B3	Zona de baja carga interna
----------------	----	----------------------------

MUROS (U <sub>Mm</sub> ) y (U <sub>Tm</sub> )					
Tipos		A (m²)	U (W/m² °K)	A· U (W/°K)	Resultados
N	Muro en contacto con el aire	102,00	0,65	66,3	Σ A= 102,00
				0,00	Σ A· U= 66,3
				0,00	U <sub>Mm</sub> = Σ A· U / Σ A= <b>0,65</b>
E	Muro en contacto con el aire	72,00	0,65	46,80	Σ A= 78,80
	Pte. térmico hueco ventana	6,80	1,2	8,16	Σ A· U= 54,96
				0,00	U <sub>Mm</sub> = Σ A· U / Σ A= <b>0,69</b>
O	Muro en contacto con el aire	36	0,65	23,4	Σ A= 49,48
	Puente térmico _1_	3,72	0,63	2,34	Σ A· U= 35,43
	Puente térmico _2_	5,97	1,06	6,32	
	Puente térmico _3_	3,79	0,89	3,37	U <sub>Mm</sub> = Σ A· U / Σ A= <b>0,71</b>
S	Muro en contacto con el aire	40,00	0,65	26	Σ A= 53,48
	Puente térmico _1_	3,72	0,63	2,34	Σ A· U= 38,03
	Puente térmico _2_	5,97	1,06	6,32	
	Puente térmico _3_	3,79	0,89	3,37	U <sub>Mm</sub> = Σ A· U / Σ A= <b>0,71</b>

SUELOS (U <sub>sm</sub> )				
Tipos	A (m²)	U (W/m² °K)	A· U (W/°K)	Resultados
En contacto con el espacio exterior	194	0,39	75,66	Σ A= 194
			0,00	Σ A· U= 75,66
			0,00	U <sub>sm</sub> = Σ A· U / Σ A= <b>0,39</b>

CUBIERTAS Y LUCERNARIOS (U <sub>Cm</sub> , F <sub>Lm</sub> )				
Tipos	A (m²)	U (W/m² °K)	A· U (W/°K)	Resultados
En contacto con el aire	185,00	0,39	72,15	Σ A= 185,00
			0,00	Σ A· U= 72,15
			0,00	U <sub>Cm</sub> = Σ A· U / A= <b>0,39</b>

Tipos	A (m²)	F	A· F (m²)	Resultados
Lucernarios	6,4	0,29	1,82	Σ A= 6,40
			0,00	Σ A· F= 1,82
			0,00	F <sub>Lm</sub> = Σ A· F / Σ A= <b>0,29</b>

HUECOS (U <sub>Mm</sub> ,F <sub>Hm</sub> )							
Tipos		A (m²)	U (W/m²·°K)	A· U (W/°K)	Resultados		
N	Huecos			0,00	Σ A· U=		
	Huecos			0,00	U <sub>Mm</sub> = Σ A· U / Σ A=		
Tipos		A (m²)	U (W/m²·°K)	F	A· U(W/°K)	A· F (m²)	
E	Huecos	6,80	5,46	0,50	37,15	3,38	Σ A= 6,80
	Huecos				0,00	0,00	Σ A· U= 37,15
	Huecos				0,00	0,00	Σ A· F= 3,38
	Huecos				0,00	0,00	U <sub>Hm</sub> = Σ A· U / Σ A= 5,46
	Huecos				0,00	0,00	F <sub>Hm</sub> = Σ A· F / Σ A= 0,50
O	Huecos	33	1,40	0,54	46,20	17,82	Σ A= 42,00
	Huecos	9	5,39	0,50	48,51	4,50	Σ A· U= 94,71
	Huecos				0,00	0,00	Σ A· F= 22,32
	Huecos				0,00	0,00	U <sub>Hm</sub> = Σ A· U / Σ A= 2,22
	Huecos				0,00	0,00	F <sub>Hm</sub> = Σ A· F / Σ A= 0,53
S	Huecos	33	1,40	0,54	46,20	17,82	Σ A= 59,47
	Huecos	26,47	5,39	0,50	142,67	13,23	Σ A· U= 188,87
	Huecos				0,00	0,00	Σ A· F= 31,05
	Huecos				0,00	0,00	U <sub>Hm</sub> = Σ A· U / Σ A= 3,17
	Huecos				0,00	0,00	F <sub>Hm</sub> = Σ A· F / Σ A= 0,52

(1) U<sub>max(proyecto)</sub> corresponde al mayor valor de la transmitancia de los cerramientos o particiones interiores indicados en proyecto.

(2) U<sub>max</sub> corresponde a la transmitancia térmica máxima definida en la tabla 2.1 para cada tipo de cerramiento o partición interior.

(3) En edificios de viviendas, U<sub>max (proyecto)</sub> de particiones interiores que limiten unidades de uso con un sistema de calefacción previsto desde proyecto con las zonas comunes no calefactadas.

(4) Parámetros característicos medios obtenidos en la ficha 1.

(5) Valores límite de los parámetros característicos medios definidos en la tabla 2.2.

FICHA 2 CONFORMIDAD - Demanda energética

ZONA CLIMÁTICA B3	Zona de baja carga interna	
Cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica	U <sub>max</sub> (proyecto) <sup>(1)</sup>	U <sub>max</sub> <sup>(2)</sup>
Muros de fachada	0,65	1,07
Primer metro del perímetro de suelos apoyados y muros en contacto con el terreno		
Particiones interiores en contacto con espacios no habitables		
Suelos	0,39	0,68
Cubiertas	0,39	0,59
Vidrios y marcos de huecos y lucernarios	1,4	5,70
	5,39	
Medianerías		1,07
Particiones interiores (edificios de viviendas) <sup>(3)</sup>		≤ 1,2 W/m²K

MUROS DE FACHADA	
	U <sub>Mm</sub> <sup>(4)</sup> U <sub>Mlim</sub> <sup>(5)</sup>
N	0,65
E	0,69
O	0,71
S	0,71
SE	
SO	

HUECOS			
U <sub>Hm</sub> <sup>(4)</sup>	U <sub>Hlim</sub> <sup>(5)</sup>	F <sub>Hm</sub> <sup>(4)</sup>	F <sub>Hlim</sub> <sup>(5)</sup>
	≤		
5,46	≤	0,50	≤ 0,53
2,22	≤	0,53	≤ 0,53
3,17	≤	0,52	≤ 0,59
	≤		≤
	≤		≤

CERR.	SUELOS	CUBIERTAS	LUCERNARIOS
U <sub>Tm</sub> <sup>(4)</sup> U <sub>Mlim</sub> <sup>(5)</sup>	U <sub>Sm</sub> <sup>(4)</sup> U <sub>Slim</sub> <sup>(5)</sup>	U <sub>Cm</sub> <sup>(4)</sup> U <sub>Clim</sub> <sup>(5)</sup>	F <sub>Lm</sub> F <sub>Llim</sub>
≤ 0,82	≤ 0,52	0,39 ≤ 0,45	≤ 0,3



### 8.1.3 Condensaciones

Las condensaciones superficiales en los *cerramientos* y *particiones interiores* que componen la *envolvente térmica* del edificio, se limitarán de forma que se evite la formación de mohos en su superficie interior. Para ello, en aquellas superficies interiores de los cerramientos que puedan absorber agua o susceptibles de degradarse y especialmente en los puentes térmicos de los mismos, la humedad relativa media mensual en dicha superficie será inferior al 80%.

Las condensaciones intersticiales que se produzcan en los *cerramientos* y *particiones interiores* que componen la *envolvente térmica* del edificio serán tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil. Además, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual no será superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo.

Para el estudio de los puentes térmicos y las condensaciones superficiales se ha utilizado el programa *Therm*, del cual se han obtenido unas gráficas y resultados que se muestran más adelante. En primer lugar, se muestran los puentes térmicos estudiados en la vivienda objeto de estudio.

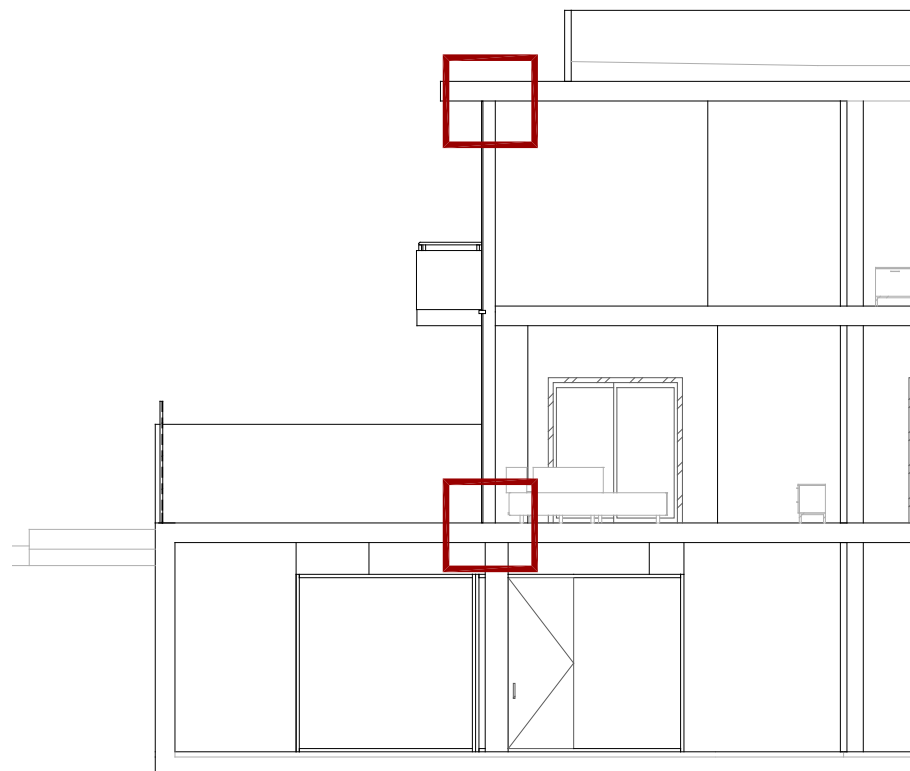


Figura 8. 1: Puentes térmicos estudiados en sección.

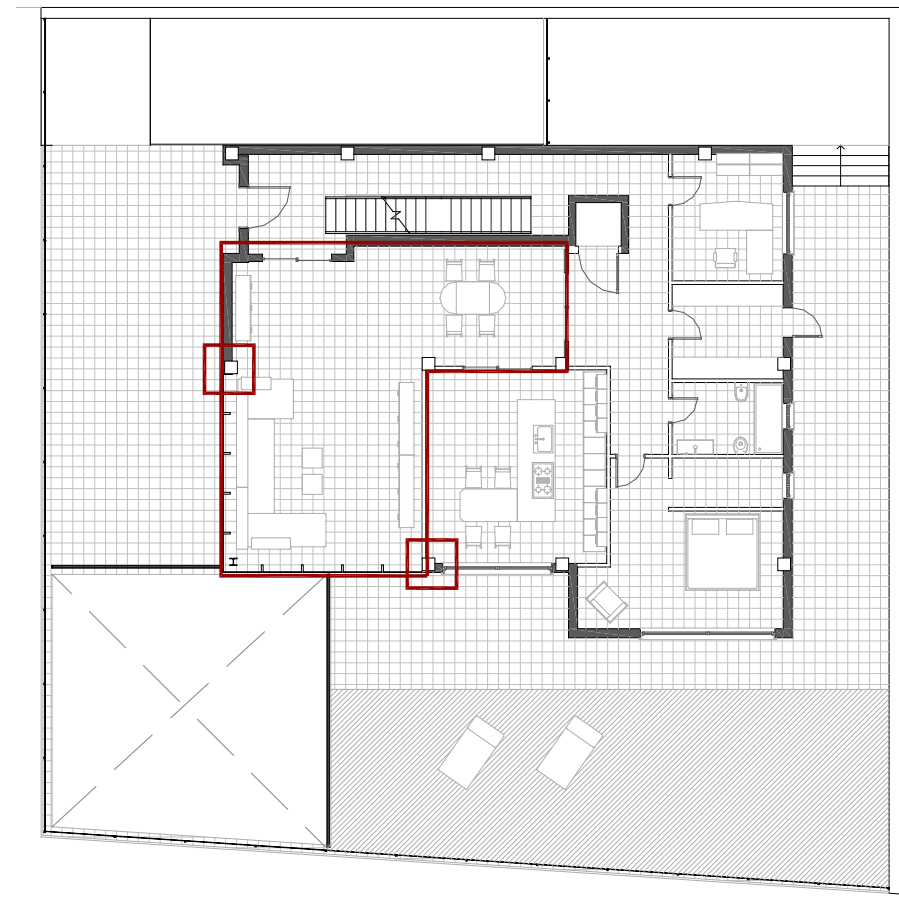


Figura 8. 2: Puentes térmicos estudiados en planta



Categoría del espacio	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Clase de higrometría 5	0.80	0.80	0.80	0.90	0.90
Clase de higrometría 4	0.66	0.66	0.69	0.75	0.78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0.50	0.52	0.56	0.61	0.64

Figura 8. 3: Tabla 3.2 del DB-HE1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo  $f_{Rsi,min}$

Para cada uno de los puentes térmicos estudiados, se comprobará que no existan condensaciones superficiales, dicha comprobación se basa en la comparación del factor de temperatura de la superficie interior  $f_{Rsi}$  y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo  $f_{Rsi,min}$  para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero, es decir, una temperatura de 10,1°C y una humedad relativa del 68%.

Debe cumplirse que:

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$$

$f_{Rsi,min}$  se obtiene de la tabla 3.2 del DB-HE 1 del Código Técnico, en función del tipo de espacio y la zona climática donde se encuentre el edificio. En nuestro caso, nos encontramos en la zona climática B3 con un espacio de clase de higrometría menor a 3. Por lo tanto:

$$f_{Rsi,min} = 0,52$$

El factor de temperatura de la superficie interior  $f_{Rsi}$ , para cada puente térmico integrados en los cerramientos, se calculará a partir de su transmitancia térmica:

$$f_{Rsi} = 1 - (U \times 0,25)$$

El factor de temperatura de la superficie interior mínimo aceptable  $f_{Rsi,min}$  de un puente térmico, se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min} - \theta_e) / (20 - \theta_e)$$

siendo

$\theta_e$ : la temperatura exterior de la localidad en el mes de enero, en nuestro caso 10,1°C

$\theta_{si,min}$ : la temperatura superficial interior mínima aceptable, obtenida del programa *Therm*

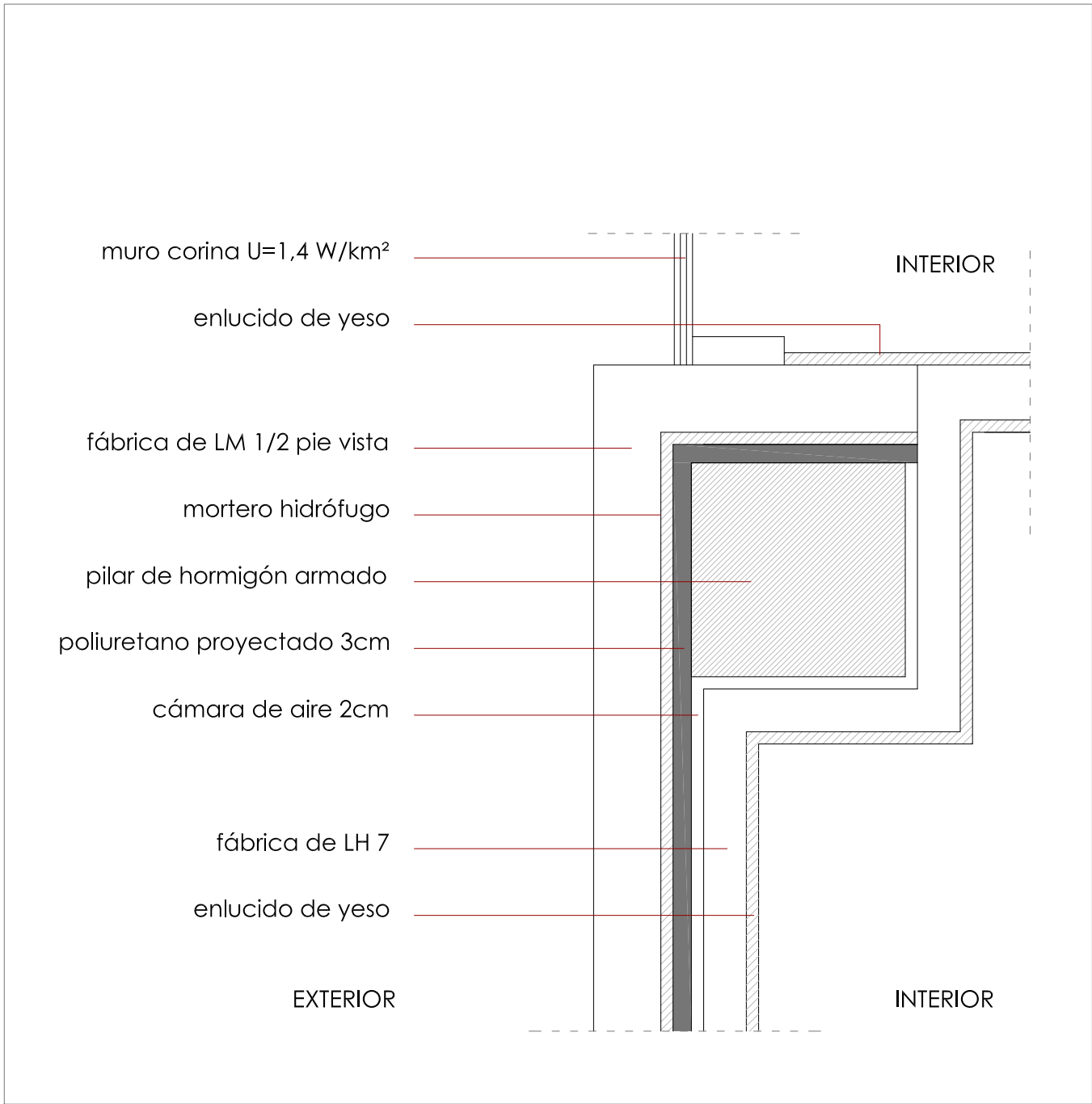


Figura 8.6: detalle puente térmico pilar en fachada \_1\_

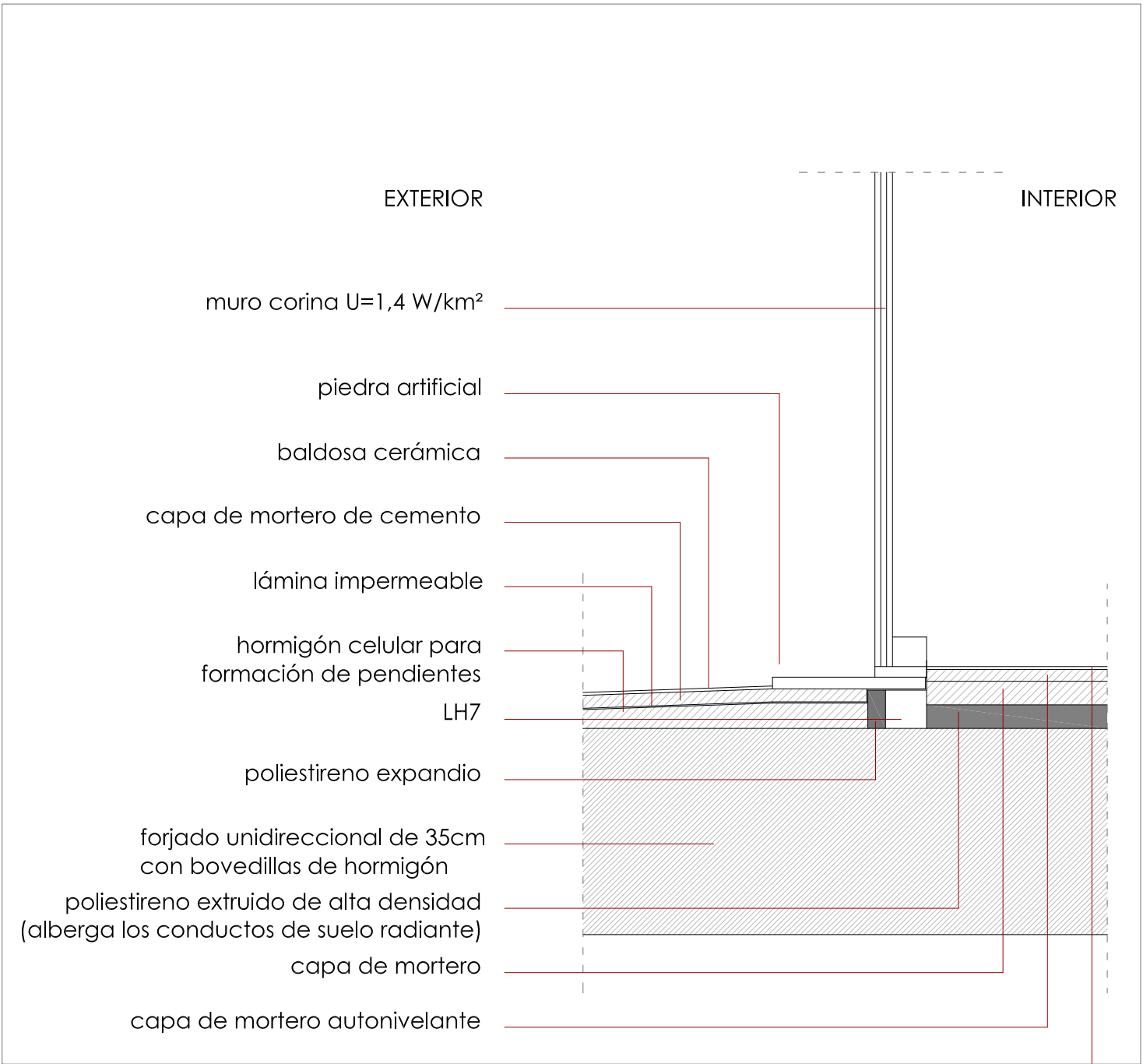


Figura 8.7: detalle puente térmico muro cortina-suelo de terraza \_2\_

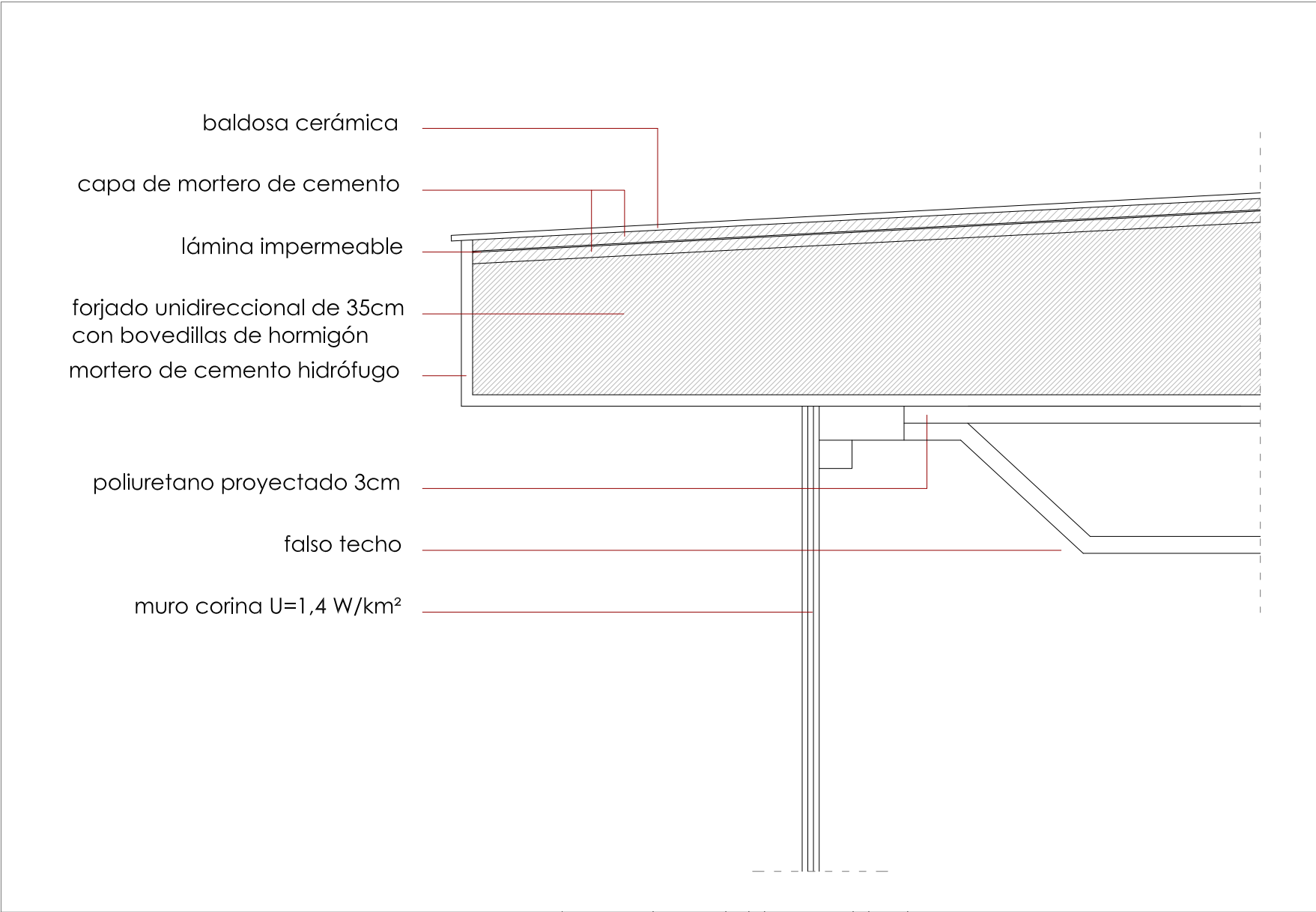


Figura 8.8: detalle puente térmico muro cortina-cubierta \_3\_

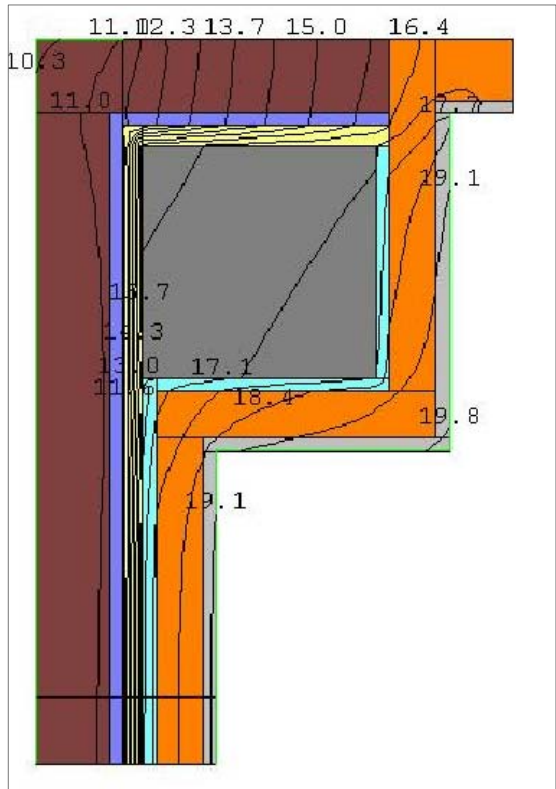


Figura 8.9: distribución de temperaturas

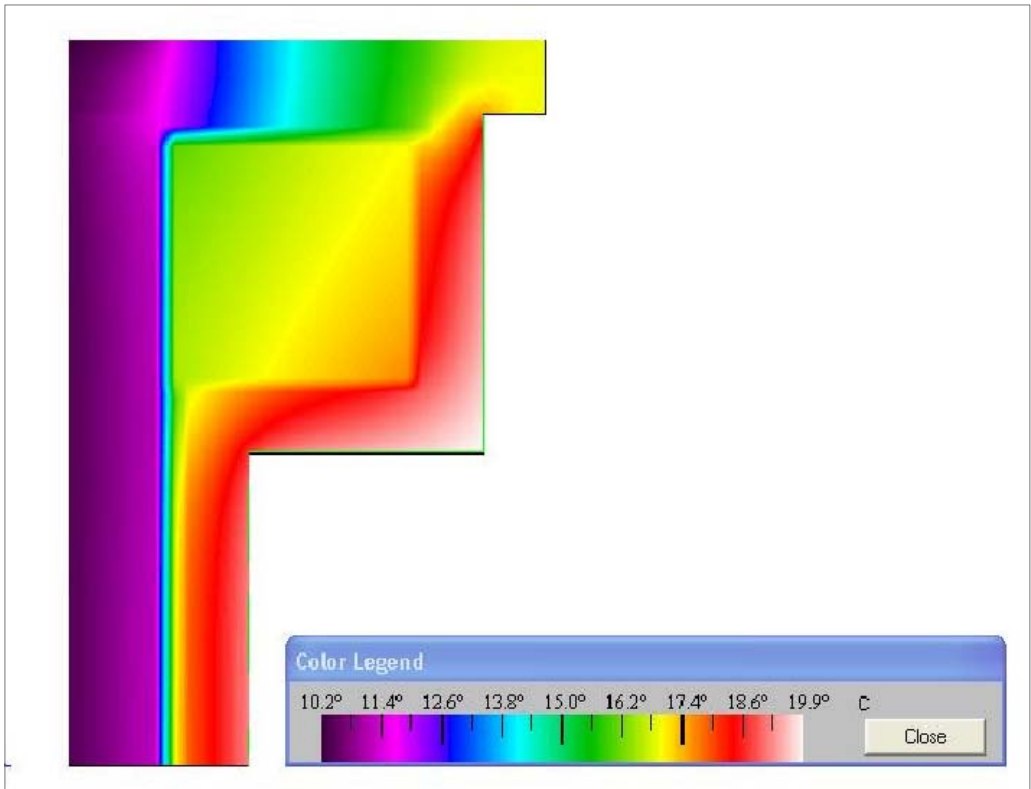


Figura 8.10: distribución de temperaturas por contornos

Se obtienen los siguientes los siguientes resultados en el programa Therm:

Puente térmico _1_ pilar en fachada		
	U (W/km²)	L(m)
U total	0,572	1,22
U cerramiento	0,65	0,47
U pte térmico	<b>0,63</b>	0,62

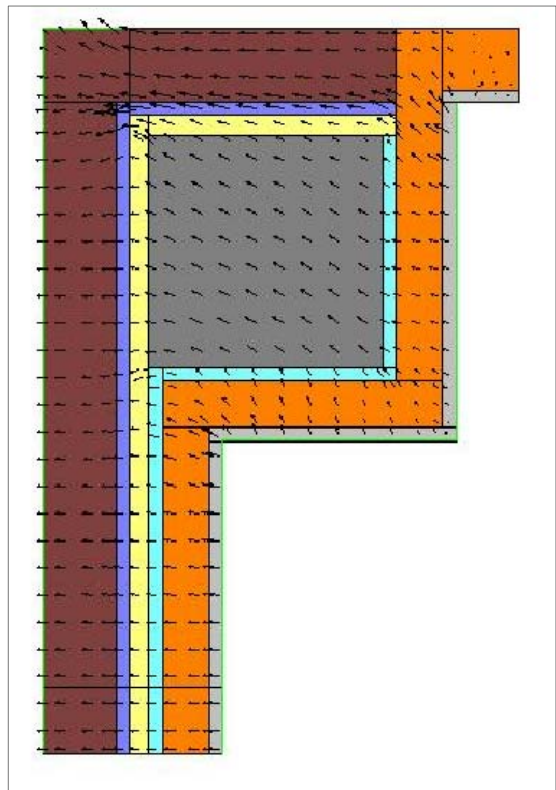


Figura 8.11: flujos de calor

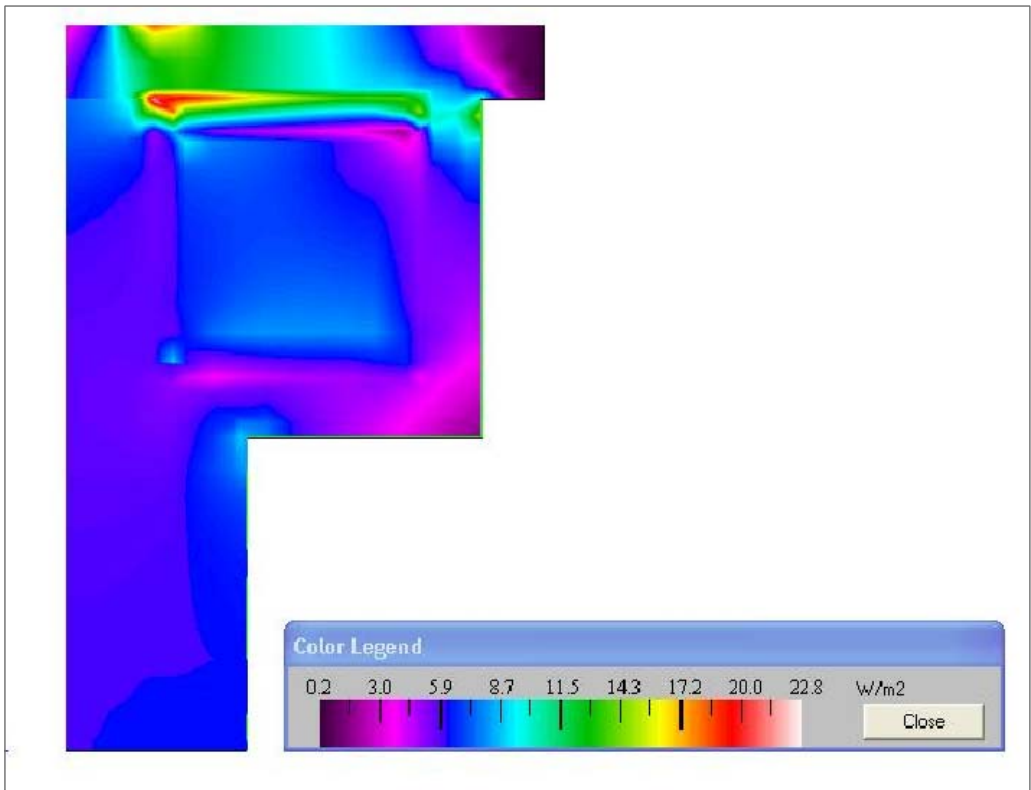


Figura 8.12: distribución flujos de calor por contornos

Para que no existan condensaciones superficiales debe cumplirse:

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

$f_{Rsi,min} = 0,52$  (tabla 3.2 DB-HE1)

$f_{Rsi} = 1-(U \times 0,25) = 1-(0,63 \times 0,25)= 0,842$

$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min}-\theta_e)/(20-\theta_e) = (10,18-10,1)/(20-10,1)= 0,008$

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$  **SE CUMPLE. NO HAY CONDENSACIONES SUPERFICIALES**

Se obtienen los siguientes los siguientes resultados en el programa Therm:

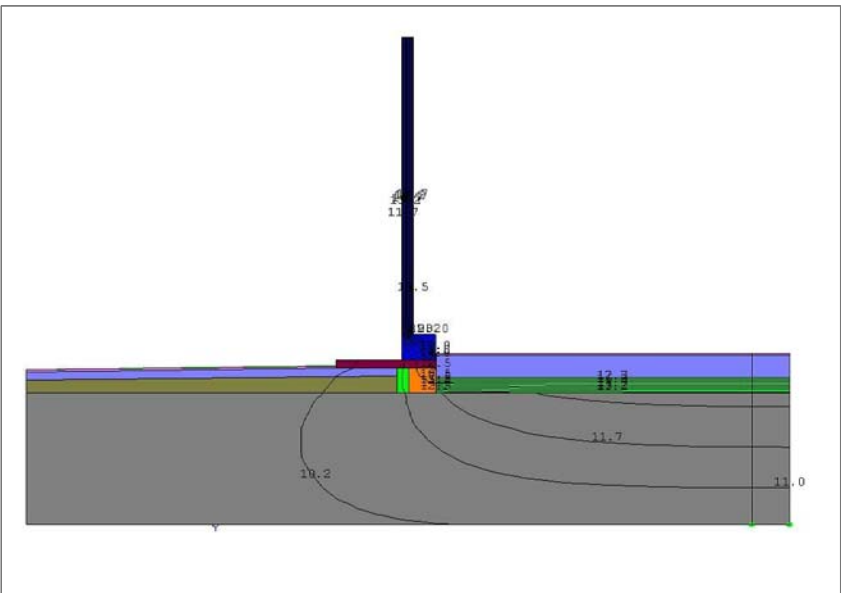


Figura 8.13: distribución de temperaturas

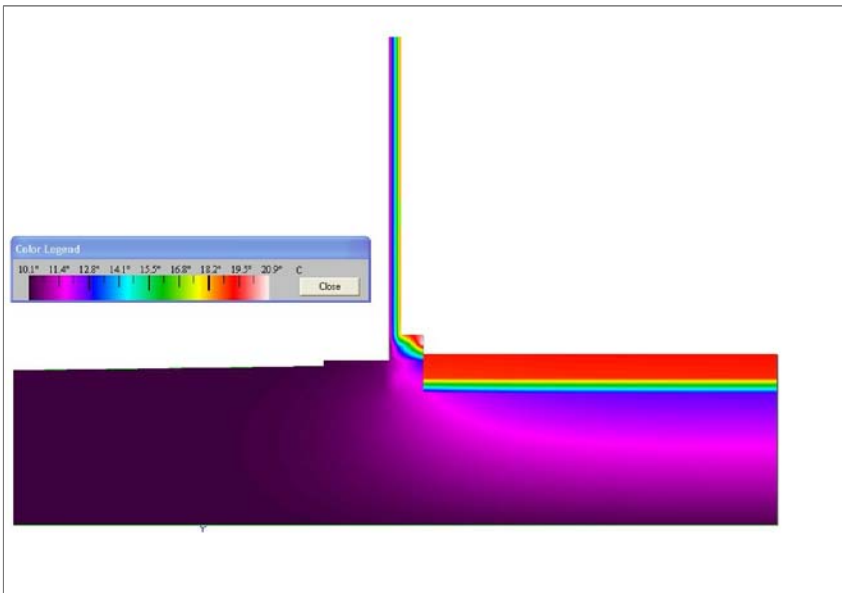


Figura 8.14: distribución de temperaturas por contornos

Puente térmico _2_ muro cortina con suelo exterior		
	U (W/km²)	L(m)
U total	0,835	1,75
U cerramiento	0,31	1
U pte térmico	<b>1,06</b>	1,087

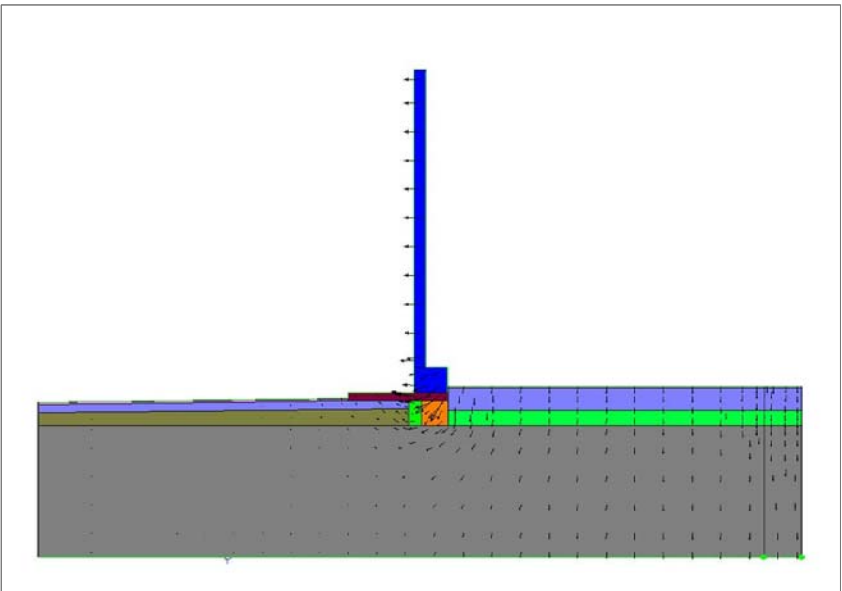


Figura 8.15: flujos de calor

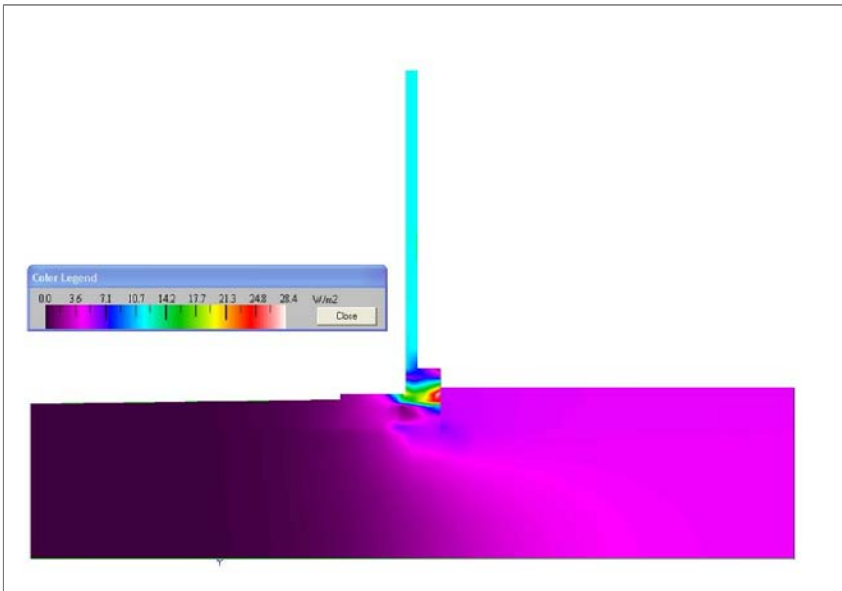


Figura 8.16: distribución flujos de calor por contornos

Para que no existan condensaciones superficiales debe cumplirse:

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

$f_{Rsi,min} = 0,52$  (tabla 3.2 DB-HE1)

$f_{Rsi} = 1-(U \times 0,25) = 1-(1,06 \times 0,25)= 0,735$

$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min}-\theta_e)/(20-\theta_e) = (10,1-10,1)/(20-10,1)= 0$

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$     **SE CUMPLE. NO HAY CONDENSACIONES SUPERFICIALES**

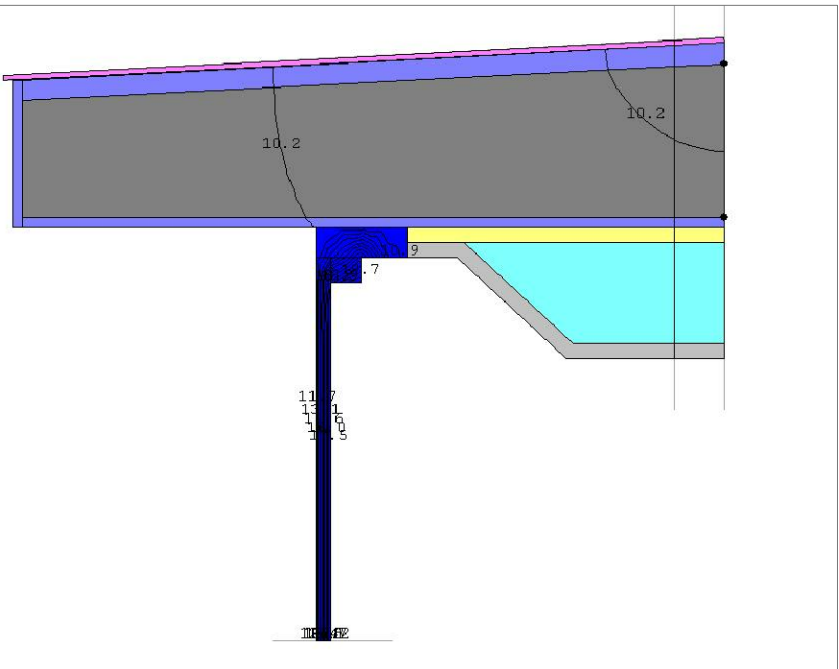


Figura 8.17: distribución de temperaturas

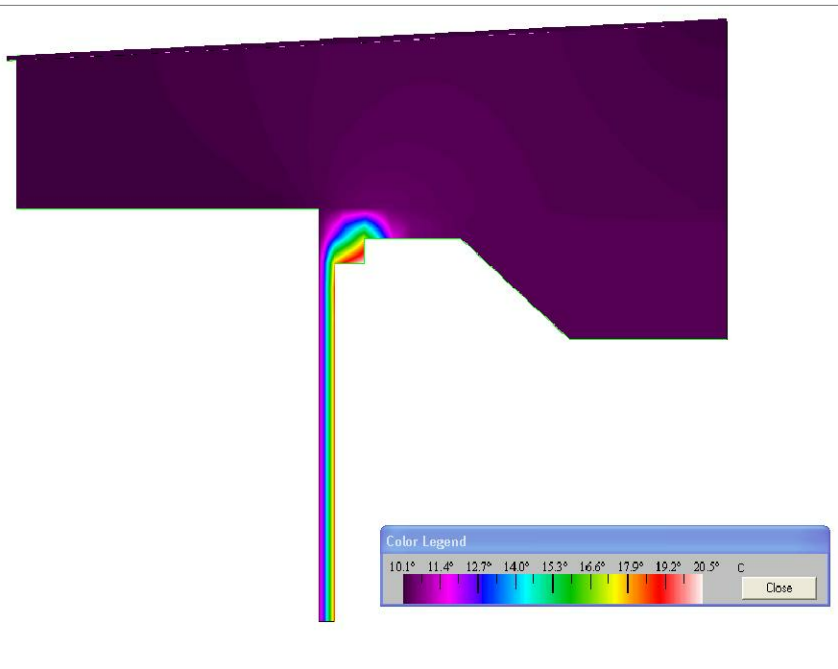


Figura 8.18: distribución de temperaturas por contornos

Se obtienen los siguientes los siguientes resultados en el programa Therm:

Puente térmico _3_ muro cortina con cubierta		
	U (W/km²)	L(m)
U total	0,604	1,518
U cerramiento	0,39	0,78
U pte térmico	<b>0,89</b>	0,687

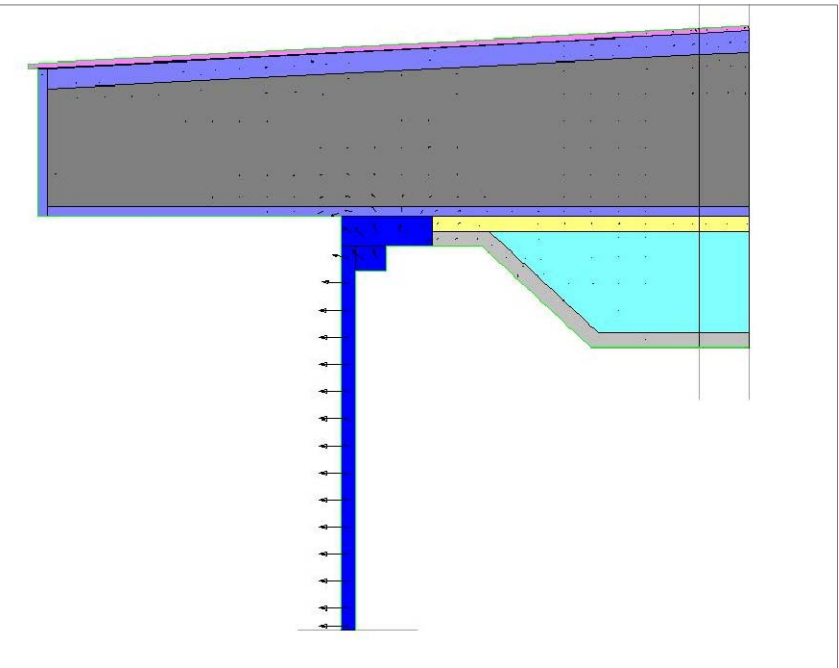


Figura 8.19: flujos de calor

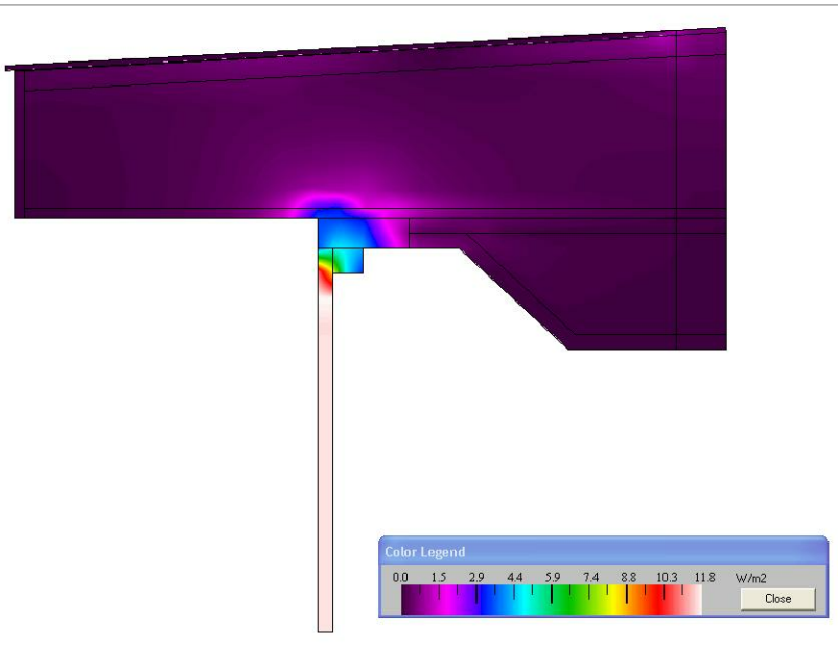


Figura 8.20: distribución flujos de calor por contornos

Para que no existan condensaciones superficiales debe cumplirse:

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

$f_{Rsi,min} = 0,52$  (tabla 3.2 DB-HE1)

$f_{Rsi} = 1-(U \times 0,25) = 1-(0,89 \times 0,25)= 0,778$

$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min}-\theta_e)/(20-\theta_e) = (10,09-10,1)/(20-10,1)= 0,001$

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$  **SE CUMPLE. NO HAY CONDENSACIONES SUPERFICIALES**



En cuanto al procedimiento para la comprobación las condensaciones intersticiales según el Código Técnico, se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio de un cerramiento formado por diferentes capas, para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero. Para comprobar que no se produzcan condensaciones intersticiales se debe verificar que la presión de vapor en la superficie de cada capa es inferior a la presión de vapor de saturación. Para dicha comprobación, se ha utilizado el programa *econdensa*, del cual se han extraído las tablas y gráficos siguientes:

Fachada de ladrillo cara vista

Capital de provincia: Castellón  
Condiciones exteriores para el mes de enero: T = 10,1 °C, HR = 68 %  
Condiciones interiores: T = 20 °C, HR = 55 %

Leyenda

- e: espesor de la capa en cm
- λ : conductividad térmica en W/mk
- μ: resistencia a la difusividad del vapor
- R: resistencia térmica de la capa en m²k/W
- U: transmitancia de la capa en W/m²k
- Pvap : presión de vapor en Pa
- Psat: presión de saturación en Pa)

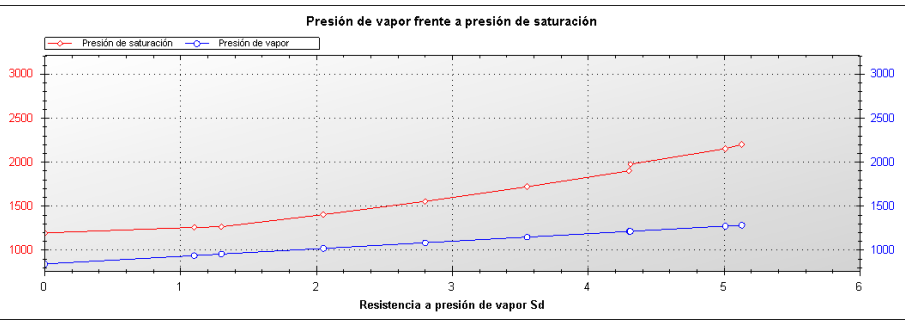


Figura 8. 21: Resistencia de presión de vapor de la fachada.

CERRAMIENTOS, PARTICIONES INTERIORES, PUENTES TÉRMICOS								
Tipos	C. superficiales							
	fRsi>=fRsmin		Pn<=Psat,n	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Capa 5
	fRsi	0,829	Psat,n	1260,517	1267,338	1901,904	1977,884	2154,133
	fRsimin	0,445	Pn	939,68	956,833	1214,136	1214,994	1275,031

Nombre	e (cm)	λ (W/mk)	μ	R (m²k/W)	U (W/m²k)	Pvap (Pa)	Psat (Pa)	Cond.Acum.
1/2 pie LM métrico o catalán	11	1,0417	10	0,1056	9,4697	939,68	1260,517	0
Mortero hidrófugo	2	1,8	10	0,0111	90	956,833	1267,338	0
PUR Proyección con CO2 celda cerrada [ 0.035 W/[mK]]	3	0,035	100	0,8571	1,1667	1214,136	1901,904	0
Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm	2	0,1176	1	0,085	11,7647	1214,994	1977,884	0
Tabicón de LH doble	7	0,375	10	0,1867	5,3571	1275,031	2154,133	0
Enlucido de yeso d < 1000	2	0,4	6	0,05	20	1285,323	2203,615	0
TOTALES	26			1,466	0,682			

CUMPLE

Leyenda

- e: espesor de la capa en cm
- λ : conductividad térmica en W/mk
- μ: resistencia a la difusividad del vapor
- R: resistencia térmica de la capa en m²k/W
- U: transmitancia de la capa en W/m²k
- Pvap : presión de vapor en Pa
- Psat: presión de saturación en Pa)

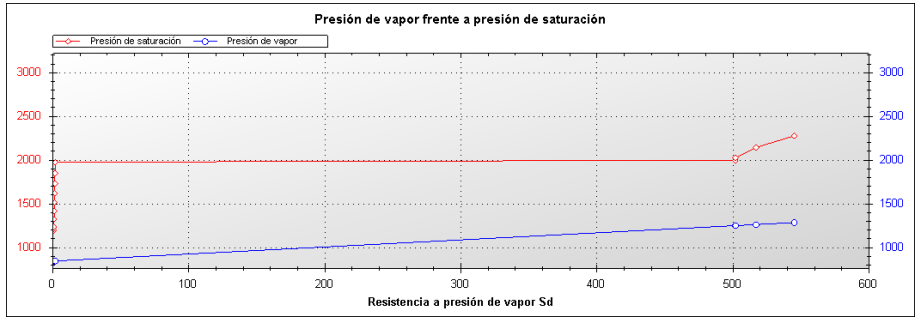


Figura 8. 22: Resistencia de presión de vapor de la cubierta.

Cubierta transitable

CERRAMIENTOS, PARTICIONES INTERIORES, PUENTES TÉRMICOS												
Tipos	C. superficiales											
	fRsi>=fRsmin		Pn<=Psat,n	Capa 1	Capa 2	Capa 3	Capa 4	Capa 5	Capa 6	Capa 7	Capa 8	Capa 9
	fRsi	0,902	Psat,n	1190,722	1213,239	1236,129	1976,156	1976,167	1999,002	2025,545	2144,571	2277,121
	fRsimin	0,445	Pn	845,577	845,739	845,9	846,708	846,708	1250,444	1250,605	1262,716	1285,323

Nombre	e (cm)	λ (W/mk)	μ	R (m²k/W)	U (W/m²k)	Pvap (Pa)	Psat (Pa)	Cond. Acum.
Plaqueta o baldosa cerámica	1	1	30	0,01	100	845,577	1190,722	0
Mortero de cemento para agarre de pavimento	2	0,3	10	0,0667	15	845,739	1213,239	0
Capa de mortero de cemento	2	0,3	10	0,0667	15	845,9	1236,129	0
EPS Poliestireno Expandido [ 0.029 W/[mK]]	5	0,029	20	1,7241	0,58	846,708	1976,156	0
Geotextil separador	0,0001	0,05	15	0	50000	846,708	1976,167	0
Doble lámina impermeable	1,0001	0,23	50000	0,0435	22,9977	1250,444	1999,002	0
Capa de regularización con mortero de cemento	2	0,4	10	0,05	20	1250,605	2025,545	0
Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800	25	1,15	60	0,2174	4,6	1262,716	2144,571	0
FU entrevigado de hormigón -Canto 350 mm	35	1,5217	80	0,23	4,3478	1285,323	2277,121	0
TOTALES	73			2,548	0,392			

CUMPLE

En ambos casos estudiados no se producen condensaciones intersticiales.

#### 8.1.4 Permeabilidad al aire

Es la propiedad de una ventana o puerta de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso del aire, expresada en  $\text{m}^3/\text{h}$ , en función de la diferencia de presiones.

Las carpinterías de los huecos (ventanas y puertas) y lucernarios de los *cerramientos* se caracterizan por su permeabilidad al aire.

La permeabilidad de las carpinterías de los huecos y lucernarios de los *cerramientos* que limitan los *espacios habitables* de los edificios con el ambiente exterior se limita en función del clima de la localidad en la que se ubican, según la zonificación climática establecida en el apartado 3.1.1. del DB HE del CTE.

Tal y como se recoge en la sección 1 del DB HE (apartado 2.3.3): La permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, tendrá un valor inferior a  $50 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ .

8.2 Balance térmico

Se calcula el balance térmico para la vivienda unifamiliar estudiada, igualando la media de pérdidas a la media de ganancias, de la siguiente forma:

Cálculo de balance térmico

Pérdidas=ganancias

Se va a calcular para el mes de Enero y Julio, que son los más desfavorables, de la siguiente forma:

$$\Delta T \times G = I + D$$

$$T_i = T_e + (I + D)/G$$

Donde

- ΔT = Temperatura media interior – Temperatura media exterior en Vall Uxó
- T<sub>i</sub> = Temperatura media interior, en °C. Consideramos para el cálculo 20°C
- T<sub>e</sub> = Temperatura media exterior, en °C. Para Vall Uxó, según DB HE del CTE, son 10,1 °C para enero, y 24,1 °C en julio.
- G = Pérdidas por grado y m³ de volumen habitable, en W/(°C m³)
- I = Ganancias por radiación solar, en W/m³ de volumen habitable
- D = Ganancias internas por m³ de volumen habitable, se mide en W/m³

De esta expresión nos interesa calcular D:

$$D= (\Delta T \times G) - I$$

siendo

$$I = S_{fs} \times R_v \times \varepsilon$$

donde

- R<sub>v</sub> = Radiación media en un plano vertical orientado a sur, en W/ m²  
Para Vall Uxo en enero tenemos 3290 W/ m² al día, y para julio 2510 W/ m² al día. Dividido entre 24 horas: 137,08 W/ m² por hora en enero y 104,58 W/ m² por hora en julio.
- ε = emisividad del acristalamiento. Disponemos de acristalamientos de baja emisividad, de 0,22.
- S<sub>fs</sub> = Superficie equivalente de ventana orientada al sur, en m²/m³  
$$S_{fs} = \sum (S_i \gamma_i CR_i)/V_h$$

CR <sub>i</sub>	sur	este/oeste	norte	cubierta
Enero	1	0,4	0	0,6
Julio	1	1,8	0,6	2,2

Donde

S<sub>i</sub> = Superficies captoras, en m<sup>2</sup>  
γ<sub>i</sub> = Coeficiente ce captación (0,4-0,7)  
CR<sub>i</sub> = coeficiente según la orientación y las obstrucciones  
V<sub>h</sub> = Volumen habitable en m<sup>3</sup>. Para la casa objeto de estudio, 923,44 m<sup>3</sup>

Calculamos I:

$$I = S_{fs} \times R_v \times \epsilon$$

Las superficies captoras (S<sub>i</sub>) son:

S<sub>norte</sub>= 6,4 m<sup>2</sup>  
S<sub>este</sub> = 6,80 m<sup>2</sup>  
S<sub>oeste</sub>= 42 m<sup>2</sup>  
S<sub>sur</sub> = 59,47 m<sup>2</sup>

Por la ubicación del lucernario, lo consideramos colocado en fachada norte.

$$S_{fs \text{ enero}} = \sum (S_i \gamma_i CR_i) / V_h = [(6,4 \times 0,4 \times 0) + (6,80 \times 0,4 \times 0,4) + (42 \times 0,4 \times 0,4) + (59,47 \times 0,7 \times 1)] / 923,44 = 0,053 \text{ m}^2/\text{m}^3$$
  
$$S_{fs \text{ julio}} = \sum (S_i \gamma_i CR_i) / V_h = [(6,4 \times 0,4 \times 0,6) + (6,80 \times 0,4 \times 1,8) + (42 \times 0,4 \times 1,8) + (59,47 \times 0,7 \times 1)] / 923,44 = 0,085 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$I_{\text{enero}} = S_{fs} \times R_v \times \epsilon = 0,053 \times 137,08 \times 0,22 = 1,59 \text{ W}/\text{m}^3$$

$$I_{\text{julio}} = S_{fs} \times R_v \times \epsilon = 0,085 \times 104,58 \times 0,22 = 1,95 \text{ W}/\text{m}^3$$

De la ecuación anterior, G es:

$$G = G_t + G_v$$

Donde

G = Pérdidas por grado y m<sup>3</sup> de volumen habitable, en W/°Cm<sup>3</sup>  
G<sub>t</sub> = Pérdidas por transmisión, por grado y m<sup>3</sup> de volumen habitable  
G<sub>v</sub> = Pérdidas por ventilación, por grado y m<sup>3</sup> de volumen habitable

$$G_t = \sum (S_i U_i \alpha_i) / V_h$$

Donde

α	sur	este/oeste	norte	cubierta	tierra	local	patio
Enero	0,9	1	1,1	1,2	0,4	0,5	0,8
Julio	1	1,1	0,8	1,2	0	0,6	0,9

S<sub>i</sub> = Superficie de la piel, en m<sup>2</sup>  
U<sub>i</sub> = Coeficiente de transmisión del calor, en W/°C m<sup>2</sup>  
α<sub>i</sub> = Coeficiente de situación de la superficie



$G_v = 0,33 \text{ rh}$

0,33 = capacidad calorífica del aire por m³

rh= renovaciones por hora del volumen interior

Valores típicos:

- enero 0,5-2,5
- julio 6-12

Superficie de piel (S <sub>i</sub> )	Fachada y cubierta	Acristalamiento
Norte	102 m²	6,4 m²
Este	72 m²	6,80 m²
Oeste	36 m²	42 m²
Sur	40 m²	59,47 m²
Cubierta	185 m²	-

Calculamos G:

$G = G_t + G_v$

$G_t = \sum (S_i U_i \alpha_i) / V_h$

Los coeficientes de transmisión del calor (U<sub>i</sub>) son:

- U<sub>fachadas</sub>= 0,68 W/°Cm²
- U<sub>cubierta</sub>= 0,39 W/°Cm²
- U<sub>acrist</sub> = 1,4 W/°Cm²

$G_{t \text{ enero}} = [(102 \times 0,68 \times 1,1) + (72 \times 0,68 \times 1) + (36 \times 0,68 \times 1) + (40 \times 0,68 \times 0,9) + (185 \times 0,39 \times 1,2) + (6,4 \times 1,4 \times 1,1) + (6,8 \times 1,4 \times 1) + (42 \times 1,4 \times 1) + (59,47 \times 1,4 \times 0,9)] / 923,44 = \mathbf{0,42 \text{ W/°Cm}^3}$

$G_{t \text{ julio}} = [(102 \times 0,68 \times 0,8) + (72 \times 0,68 \times 1,1) + (36 \times 0,68 \times 1,1) + (40 \times 0,68 \times 1) + (185 \times 0,39 \times 1,2) + (6,4 \times 1,4 \times 0,8) + (6,8 \times 1,4 \times 1,1) + (42 \times 1,4 \times 1,1) + (59,47 \times 1,4 \times 1)] / 923,44 = \mathbf{0,45 \text{ W/°Cm}^3}$

$G_{v \text{ enero}} = 0,33 \text{ rh} = 0,33 \times 2,5 = 0,825 \text{ W/°Cm}^3$

$G_{v \text{ julio}} = 0,33 \text{ rh} = 0,33 \times 10 = 3,3 \text{ W/°Cm}^3$

Por lo tanto:

- G<sub>enero</sub> = G<sub>t</sub> + G<sub>v</sub> = 0,42 + 0,825 = 1,24 W/°Cm³
- G<sub>julio</sub> = G<sub>t</sub> + G<sub>v</sub> = 0,45+ 3,3 = 3,75 W/°Cm³

Despejamos D y sustituimos los valores hallados:

$$D_{\text{enero}} = (\Delta T \times G) - I = [(20-10,1) \times 1,24] - 1,59 = 12,27 - 1,59 = 10,68 \text{ W/m}^3$$

$$D_{\text{julio}} = (\Delta T \times G) - I = [(20-24,1) \times 3,75] - 1,95 = -15,37 - 1,95 = -17,32 \text{ W/m}^3$$

D = Ganancias internas por m³ de volumen habitable, se mide en W/m³

Obtenemos en enero un valor positivo, por lo que será necesario un aporte de calor. Y en julio obtenemos un valor negativo por lo que necesitará refrigeración. También debemos tener en cuenta que los valores obtenidos se han calculado para temperaturas medias de 10,1°C en enero y 24,1°C en julio, pudiendo alcanzar temperaturas inferiores a la media de enero y superiores a la media de julio, con el consecuente incremento en las necesidades de aporte de calor o de refrigeración respectivamente.

Masa térmica unitaria

$$M = \sum (V_i \rho_i c_e C_t) / V_h$$

- Vi=volumen de los materiales interiores
- Pi = densidad, kg/m³
- ce= calor especifico, en J/°C kg
- Ct= factor de tiempo. Ciclo día-noche=0,6, ciclo secuencial=0,7
- Vh=volumen habitable

Consideramos

- Vh=volumen habitable= 923,44 m³
- Vi=volumen de los materiales interiores, se considera un 10% ocupado por muebles, 92,34 m³, y estos se consideran de madera
- Pi = densidad, kg/m³, de la madera 900 kg/ m³, y del aire 1,2 kg/ m³
- ce= calor especifico, en J/°Ckg, de la madera 1760 J/°Ckg, y del aire 1010 J/°Ckg

$$M = [(92,34 \times 900 \times 1760 \times 0,6) + (831,09 \times 1,2 \times 1010 \times 0,6)] / 923,44 = 749,51$$

## Variabilidad

$$\Delta T_i = [\Delta T_e + (I + D)/G - (I' + D')/G'] (1 - e^{-tG'/M})$$

$\Delta T_e$  = oscilación efectiva de temperatura exterior

$$\Delta T_e = T_{\max} - T_{\min} / 4$$

$$\text{Enero } 24,2 - (-4) / 4 = 7,05$$

$$\text{Julio } 30 - 18,2 / 4 = 2,95$$

$t$  = tiempo que dura la variación, segundos.

$I$  = ganancias medias por radiación solar, en W/m<sup>3</sup> de volumen habitable

$I'$  = ganancias medias por radiación solar extremas. Por lo que la radiación en el plano vertical orientado a sur,  $R'_v$ , tendrá un valor máximo y otro mínimo para los meses estudiados, enero y julio. A partir del cual se obtendrá la ganancia media por radiación solar,  $I'$ .

$R'_v$  = Radiación en un plano vertical orientado a sur, en W/ m<sup>2</sup>

$$\text{Para Vall Uxó: } R'_{v \text{ máx enero}} = 230 \text{ W/ m}^2$$

$$R'_{v \text{ máx julio}} = 117 \text{ W/ m}^2$$

$$I'_{\max \text{ enero}} = S_{fs} \times R_v \times \varepsilon = 0,053 \times 230 \times 0,22 = 2,68 \text{ W/m}^3$$

$$I'_{\max \text{ julio}} = S_{fs} \times R_v \times \varepsilon = 0,085 \times 117 \times 0,22 = 2,18 \text{ W/m}^3$$

Una vez obtenida  $I'$ , se calculan los valores máximos y mínimos para  $D'$ .

$$D'_{\max \text{ enero}} = (\Delta T' \times G') - I' = [(20 - 24,2) \times 1,24] - 2,68 = -7,88 \text{ W/m}^3$$

$$D'_{\max \text{ julio}} = (\Delta T' \times G') - I' = [(20 - 30) \times 3,75] - 2,18 = -39,68 \text{ W/m}^3$$

$G' = G$ , puesto que depende de los factores geométricos de la vivienda

$$\Delta T_i = [\Delta T_e + (I + D)/G - (I' + D')/G'] (1 - e^{-tG'/M})$$

$$\Delta T_{i \text{ máx enero}} = [7,05 + (1,59 + 10,68) / 1,24 - (2,68 + (-7,88)) / 1,24] (1 - e^{-86400 \times 1,24 / 749,51}) = 19,77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{i \text{ máx julio}} = [2,95 + (1,95 + (-45,37)) / 3,75 - (2,18 + (-39,68)) / 3,75] (1 - e^{-86400 \times 3,75 / 749,51}) = 0,79 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se ha despreciado el valor de  $(1 - e^{-86400 \times 3,75 / 749,51})$  porque es prácticamente 1

### 8.3 Limitación de la demanda energética.

Se ha utilizado el programa LIDER, reconocido por el Código Técnico, para la obtención de la certificación energética.



**Proyecto:** casa debon  
**Localidad:** Vall Uxo  
**Comunidad:** Castellon

 HE-1 Opción General	Proyecto	
	casa debon	
	Localidad	Comunidad
	Vall Uxo	Castellon

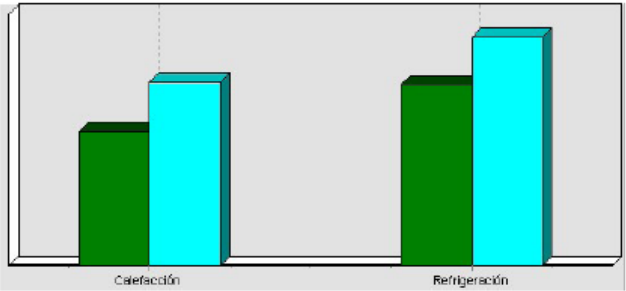
1. DATOS GENERALES

Nombre del Proyecto	
casa debon	
Localidad	Comunidad Autónoma
Vall Uxo	Castellon
Dirección del Proyecto	
Autor del Proyecto	
victoria fuster	
Autor de la Calificación	
UPV_ETSIE	
E-mail de contacto	Teléfono de contacto
	(null)
Tipo de edificio	
Unifamiliar	

2. CONFORMIDAD CON LA REGLAMENTACIÓN

El edificio descrito en este informe CUMPLE con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su documento básico HE1.

	Calefacción	Refrigeración
% de la demanda de Referencia	73,0	79,1
Proporción relativa calefacción refrigeración	42,7	57,3



En el caso de edificios de viviendas el cumplimiento indicado anteriormente no incluye la comprobación de la transmitancia límite de 1,2 W/m²K establecida para las particiones interiores que separan las unidades de uso con sistema de calefacción previsto en el proyecto, con las zonas comunes del edificio no calefactadas.

 HE-1 Opción General	Proyecto	
	casa debon	
	Localidad	Comunidad
	Vall Uxo	Castellon

3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA


3.1. Espacios

Nombre	Planta	Uso	Clase higrometria	Área (m²)	Altura (m)
P01_E01	P01	Residencial	3	178,52	3,00
P02_E01	P02	Residencial	3	178,52	3,00

3.2. Cerramientos opacos

3.2.1 Materiales


Nombre	K (W/mK)	e (kg/m³)	Cp (J/kgK)	R (m²K/W)	Z (m²sPa/kg)	Just.
1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm< G < 50	0,991	2170,00	1000,00	-	10	--
Mortero de cemento o cal para albañilería y	1,800	2100,00	1000,00	-	10	--
PUR Proyección con CO2 celda cerrada [ 0.	0,035	50,00	1000,00	-	100	SI
Cámara de aire sin ventilar horizontal 2 cm	-	-	-	0,16	-	--
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,432	930,00	1000,00	-	10	--
Enlucido de yeso d < 1000	0,400	900,00	1000,00	-	6	--
Plaqueta o baldosa cerámica	1,000	2000,00	800,00	-	30	--
Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,300	625,00	1000,00	-	10	--
EPS Poliestireno Expandido [ 0.029 W/[mK]]	0,029	30,00	1000,00	-	20	SI
Subcapa fieltro	0,050	120,00	1300,00	-	15	--
Betún fieltro o lámina	0,230	1100,00	1000,00	-	50000	--
Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,400	875,00	1000,00	-	10	--
Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800	1,150	1700,00	1000,00	-	60	--

	HE-1 Opción General	Proyecto	
		casa debon	
		Localidad	Comunidad
		Vall Uxo	Castellon

Nombre	K (W/mK)	e (kg/m³)	Cp (J/kgK)	R (m²K/W)	Z (m²sPa/kg)	Just.
FU Entrevigado de hormigón -Canto 350 mm	1,528	1180,00	1000,00	-	80	--
Mortero de cemento o cal para albañilería y	0,700	1350,00	1000,00	-	10	--
Hormigón armado d > 2500	2,500	2600,00	1000,00	-	80	--

### 3.2.2 Composición de Cerramientos

Nombre	U (W/m²K)	Material	Espesor (m)
Cerramiento	0,65	1/2 pie LM métrico o catalán 40 mm< G < 50 mm	0,115
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,025
		PUR Proyección con CO2 celda cerrada [ 0.035	0,030
		Cámara de aire sin ventilar horizontal 2 cm	0,000
		Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070
		Enlucido de yeso d < 1000	0,020
cubierta debon	0,39	Plaqueta o baldosa cerámica	0,010
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		EPS Poliestireno Expandido [ 0.029 W/[mK]]	0,050
		Subcapa fieltro	0,001
		Betún fieltro o lámina	0,010
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,020
		Hormigón con áridos ligeros 1600 < d < 1800	0,250
forjado debon	0,31	FU Entrevigado de hormigón -Canto 350 mm	0,350
		Plaqueta o baldosa cerámica	0,010
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,050

	HE-1 Opción General	Proyecto	
		casa debon	
		Localidad	Comunidad
		Vall Uxo	Castellon

Nombre	U (W/m²K)	Material	Espesor (m)
forjado debon	0,31	EPS Poliestireno Expandido [ 0.029 W/[mK]]	0,080
		FU Entrevigado de hormigón -Canto 350 mm	0,350
solera	0,75	Plaqueta o baldosa cerámica	0,010
		Mortero de cemento o cal para albañilería y para	0,030
		EPS Poliestireno Expandido [ 0.029 W/[mK]]	0,030
		Hormigón armado d > 2500	0,250

### 3.3. Cerramientos semitransparentes

#### 3.3.1 Vidrios

Nombre	U (W/m²K)	Factor solar	Just.
VER_DB1_4-9-661a	2,20	0,53	SI


#### 3.3.2 Marcos

Nombre	U (W/m²K)	Just.
VER_Con rotura de puente térmico mayor de 12 mm	3,20	--

#### 3.3.3 Huecos

Nombre	Hueco
Acristalamiento	VER_DB1_4-9-661a
Marco	VER_Con rotura de puente térmico mayor de 12 mm
% Hueco	6,50




 HE-1 Opción General	Proyecto casa debon	
	Localidad Vall Uxo	Comunidad Castellon

Permeabilidad m²/hm² a 100Pa	50,00
U (W/m²K)	2,27
Factor solar	0,50
Justificación	SI

3.4. Puentes Térmicos

En el cálculo de la demanda energética, se han utilizado los siguientes valores de transmitancias térmicas lineales y factores de temperatura superficial de los puentes térmicos.

	Y W/(mK)	FRSI
Encuentro forjado-fachada	0,42	0,72
Encuentro suelo exterior-fachada	0,43	0,71
Encuentro cubierta-fachada	0,43	0,71
Esquina saliente	0,15	0,78
Hueco ventana	0,24	0,63
Esquina entrante	-0,13	0,80
Pilar	0,84	0,59
Unión solera pared exterior	0,13	0,73

 HE-1 Opción General	Proyecto casa debon	
	Localidad Vall Uxo	Comunidad Castellon

4. Resultados

4.1. Resultados por espacios

Espacios	Área (m²)	Nº espacios iguales	Calefacción % de max	Calefacción % de ref	Refrigeración % de max	Refrigeración % de ref
P01_E01	178,5	1	20,7	34,6	100,0	78,7
P02_E01	178,5	1	100,0	94,7	45,8	80,1

 CTE CONSEJO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN	HE-1 Opción General	Proyecto casa debon	
		Localidad Vall Uxo	Comunidad Castellon

5. Lista de comprobación

Los parámetros característicos de los siguientes elementos del edificio deben acreditarse en el proyecto

Tipo	Nombre
Material	PUR Proyección con CO2 celda cerrada [ 0.035 W/[mK]]
	EPS Poliestireno Expandido [ 0.029 W/[mK]]
Acristalamiento	VER_DB1_4-9-661a

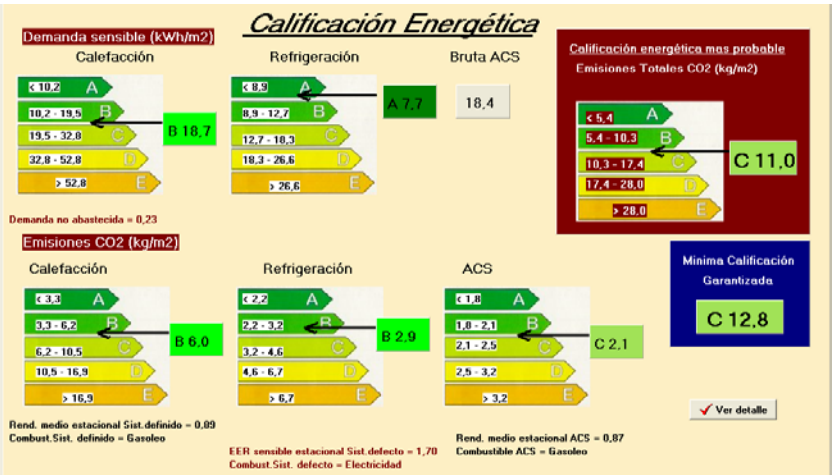


Figura 8. 23: Calificación energética de la vivienda objeto de estudio

8.4 Calificación energética

Como se ha comentado se utiliza el programa *Cerma*, por su facilidad para proponer mejoras y obtener una mejor certificación energética. Con los datos de la vivienda sita en Vall Uxó se obtiene una calificación energética C. A continuación se proponen mejoras teniendo en cuenta lo que nos ofrece este programa.

8.5 mejoras

El programa *Cerma* propone entre otras cosas aumentar el aislamiento en 2 cm, con lo que obtendría las siguientes transmitancias de la envolvente:

	U inicial	U tras aumentar 2cm AT
Cubierta	0.392	0.302
Forjado	0.312	0.254
Muro sótano	0.598	0.419
Suelo sótano	0.751	0.495
Fachada LCV	0.645	0.471

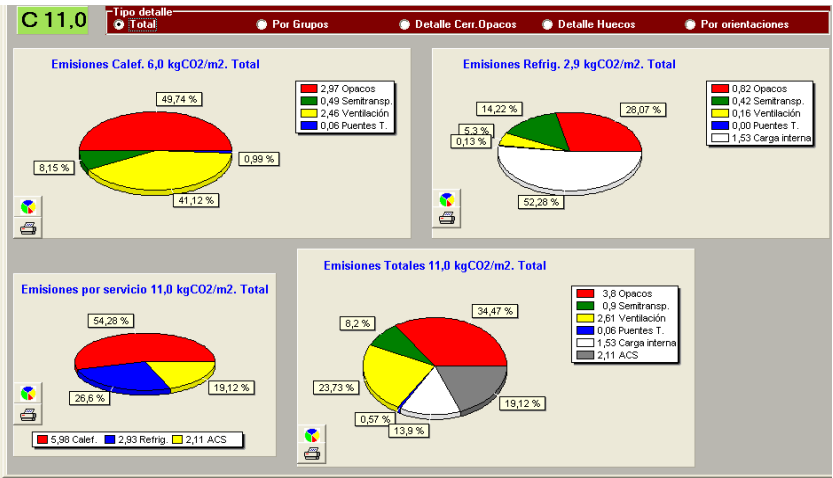


Figura 8. 24: Emisiones de CO<sub>2</sub>

En cuanto a los puentes térmicos estudiados, se propone, un aumento de 2 cm en el aislamiento de la fachada, un refuerzo de aislamiento en el encuentro del suelo interior y exterior, y una prolongación en cubierta sobre el alero, de forma que se obtienen los siguientes resultados y diagramas.

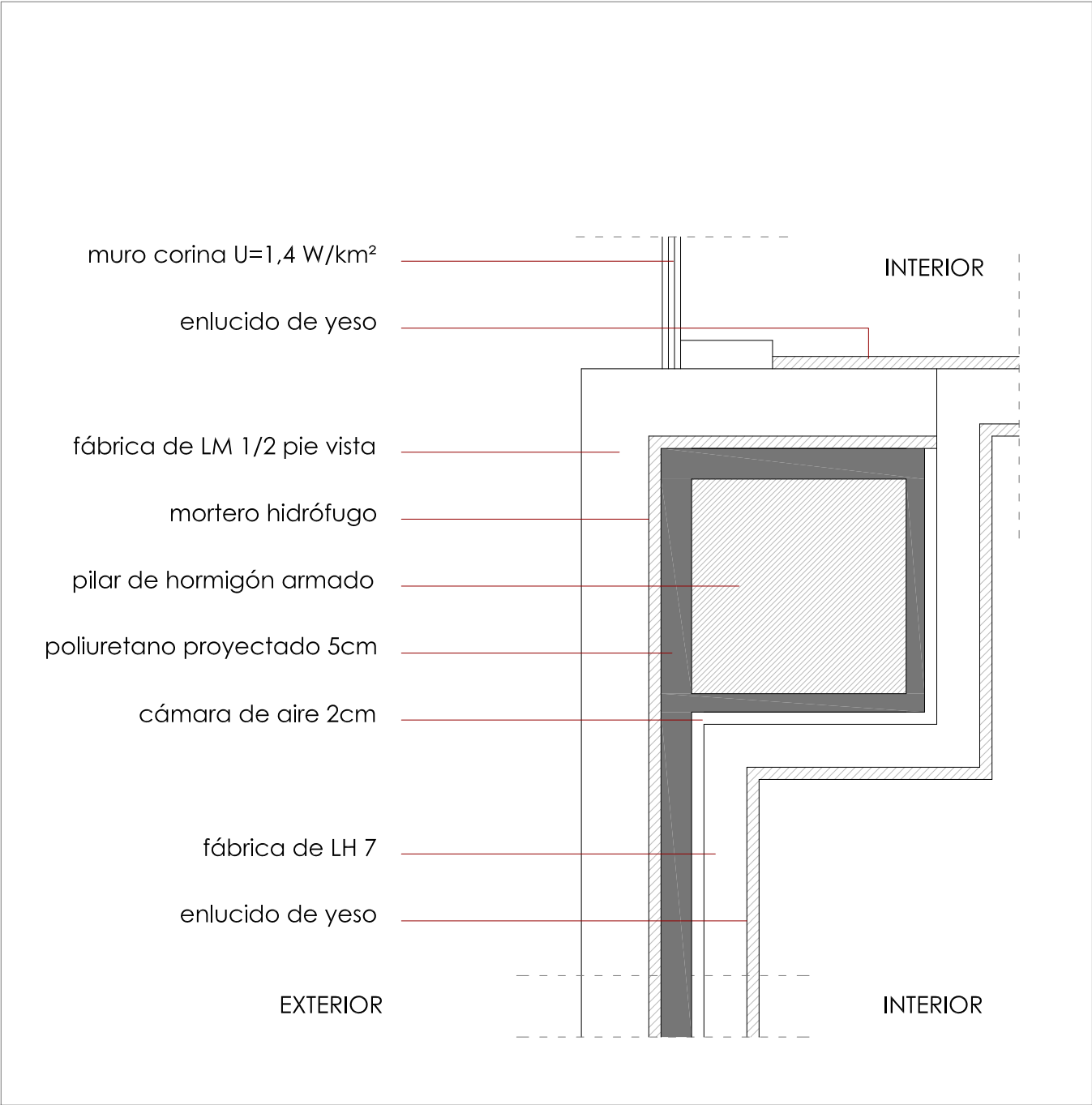


Figura 8.25: detalle puente térmico pilar en fachada \_1\_mejora

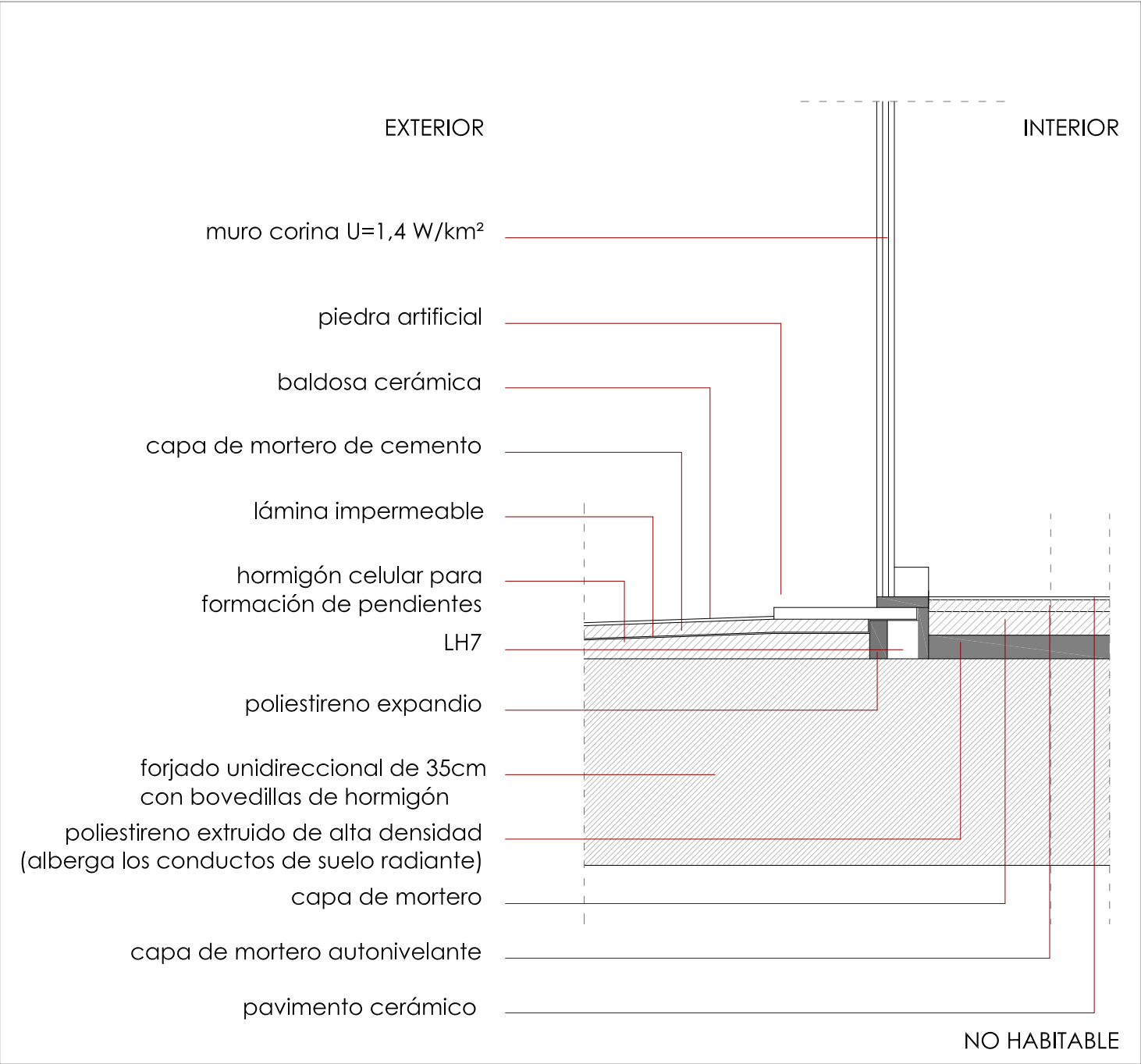


Figura 8.26: detalle puente térmico muro cortina-suelo de terraza \_2\_mejora

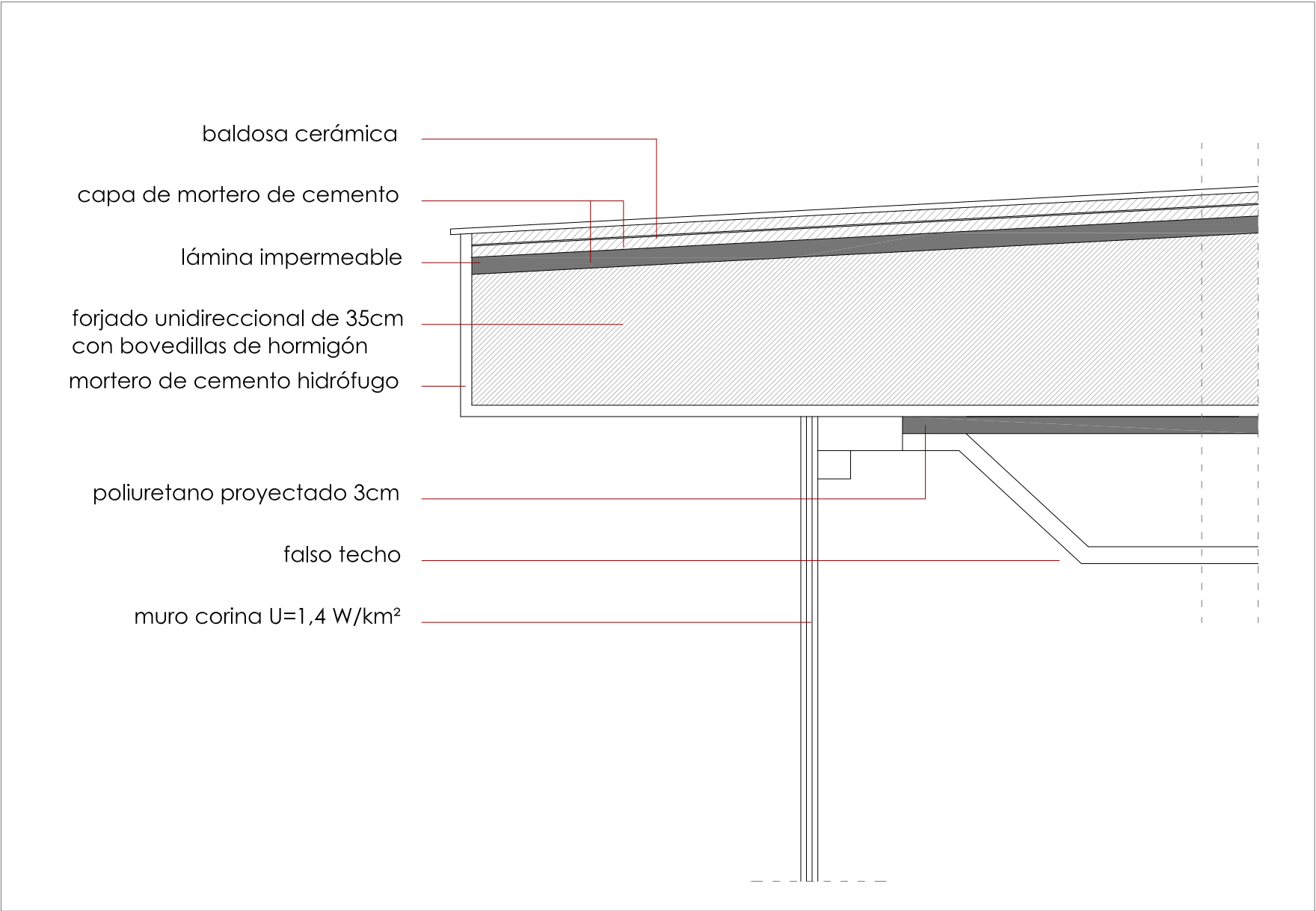


Figura 8.27: detalle puente térmico muro cortina-cubierta \_3\_mejora

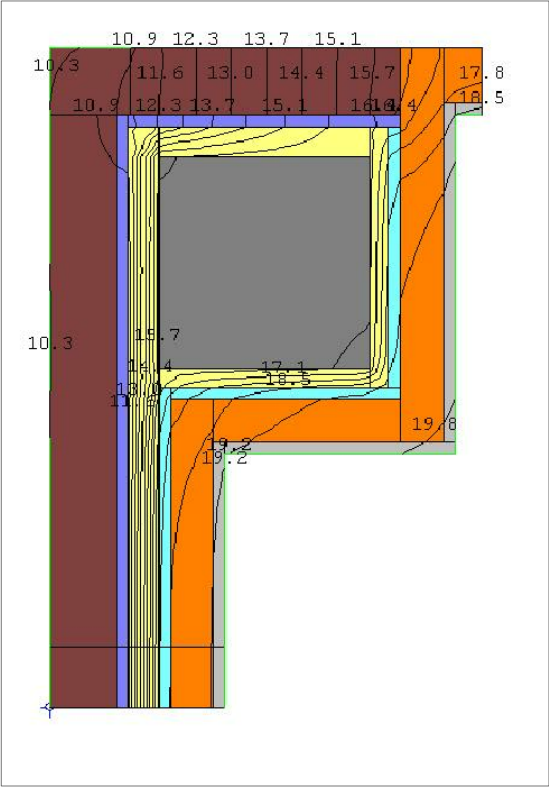


Figura 8.28: distribución de temperaturas

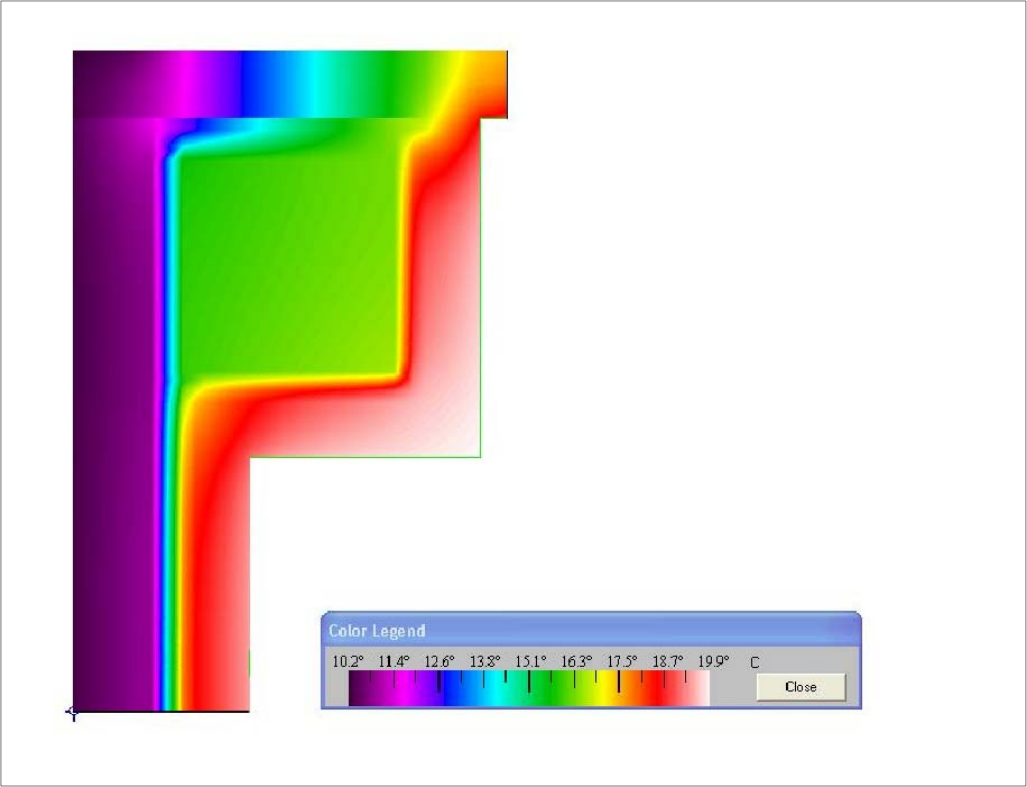


Figura 8.29: distribución de temperaturas por contornos

Se obtienen los siguientes los siguientes resultados en el programa Therm:

Puente térmico _1_ pilar en fachada		
	U (W/km²)	L(m)
U total	0,38	1,22
U cerramiento	0,47	0,47
U pte térmico	<b>0,387</b>	0,62

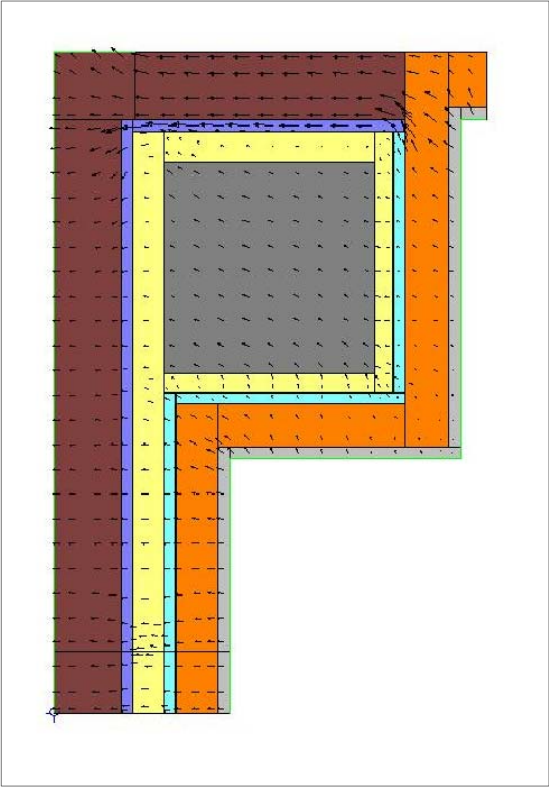


Figura 8.30: flujos de calor

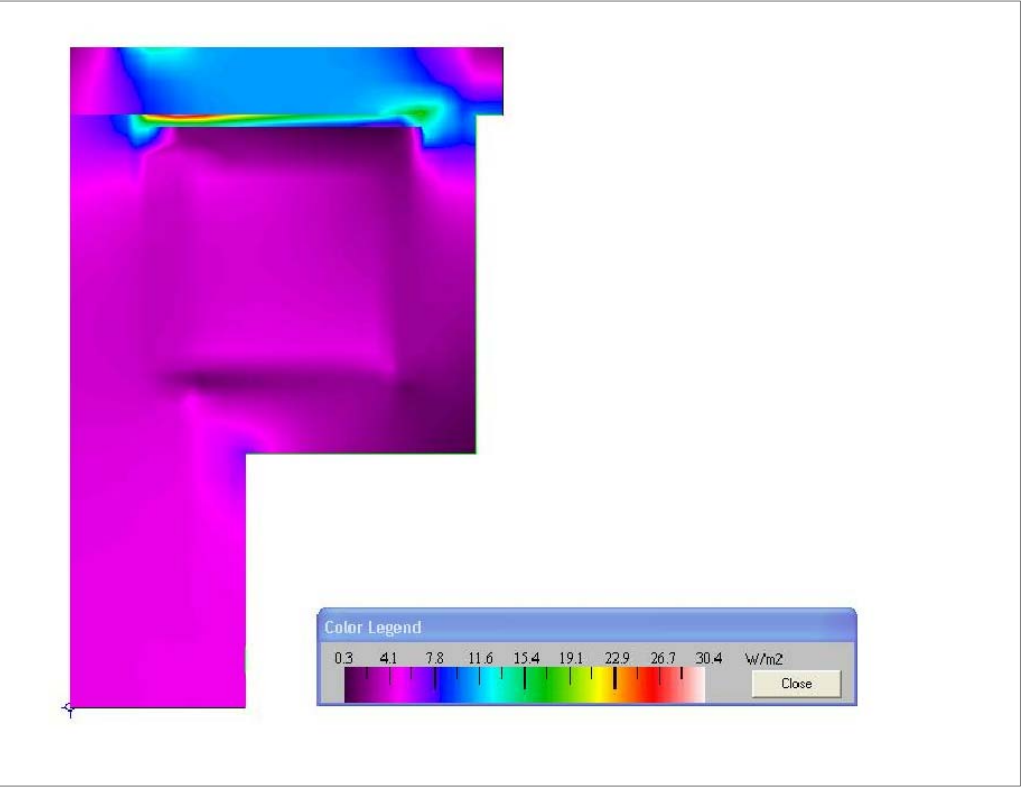


Figura 8.31: distribución flujos de calor por contornos

Para que no existan condensaciones superficiales debe cumplirse:

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

$f_{Rsi,min} = 0,52$  (tabla 3.2 DB-HE1)

$f_{Rsi} = 1-(U \times 0,25) = 1-(0,387 \times 0,25)= 0,904$

$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min}-\theta_e)/(20-\theta_e) = (10,16-10,1)/(20-10,1)= 0,006$

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$  **SE CUMPLE. NO HAY CONDENSACIONES SUPERFICIALES**



Se obtienen los siguientes los siguientes resultados en el programa Therm:

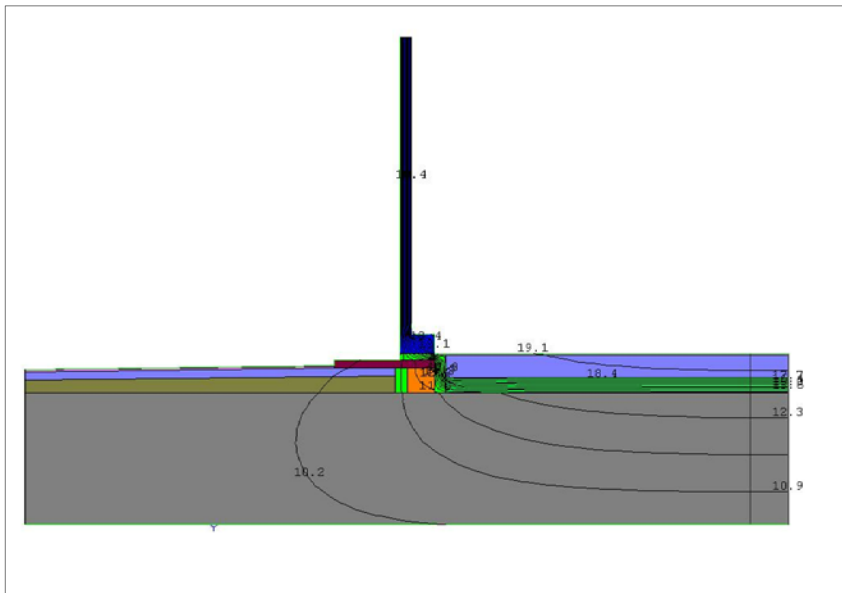


Figura 8.32: distribución de temperaturas

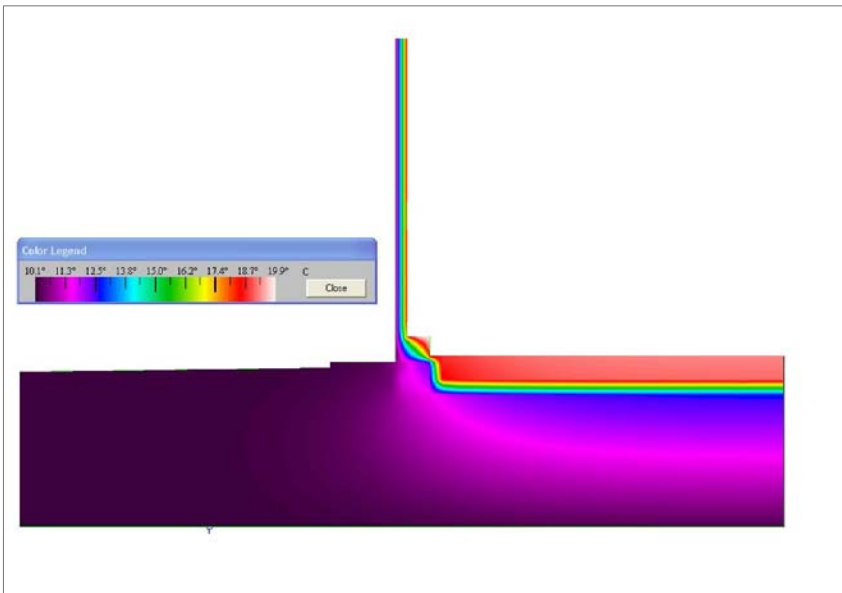


Figura 8.33: distribución de temperaturas por contornos

Puente térmico _2_ muro cortina con suelo exterior		
	U (W/km²)	L(m)
U total	0,82	1,75
U cerramiento	0,25	1
U pte térmico	<b>1,09</b>	1,087

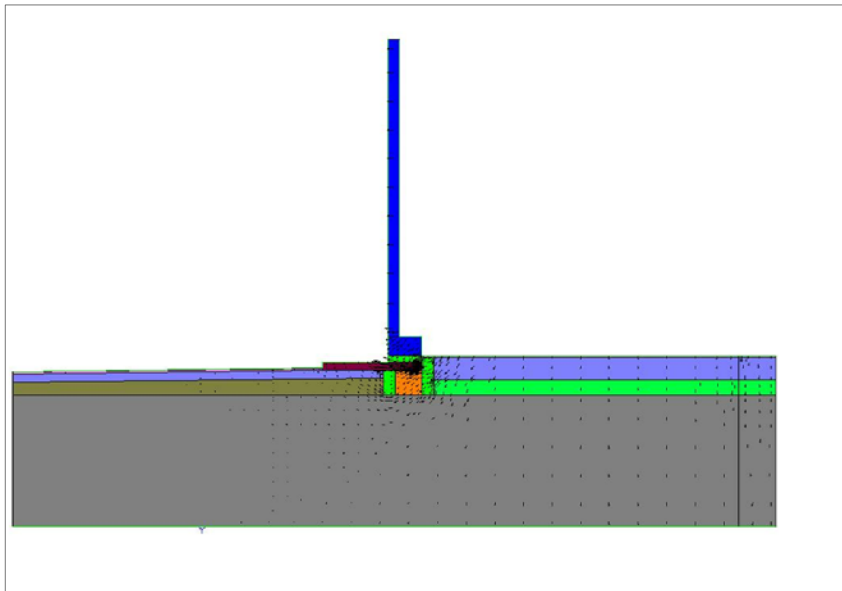


Figura 8.34: flujos de calor

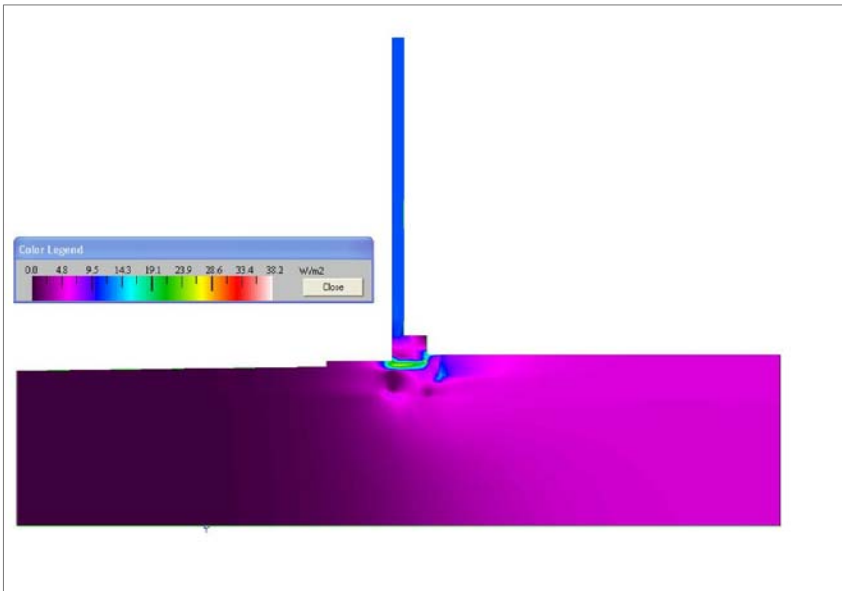


Figura 8.35: distribución flujos de calor por contornos

Para que no existan condensaciones superficiales debe cumplirse:

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

$f_{Rsi,min} = 0,52 \text{ (tabla 3.2 DB-HE1)}$

$f_{Rsi} = 1-(U \times 0,25) = 1-(1,09 \times 0,25)= 0,728$

$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min}-\theta_e)/(20-\theta_e) = (10,1-10,1)/(20-10,1)= 0$

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$  **SE CUMPLE. NO HAY CONDENSACIONES SUPERFICIALES**

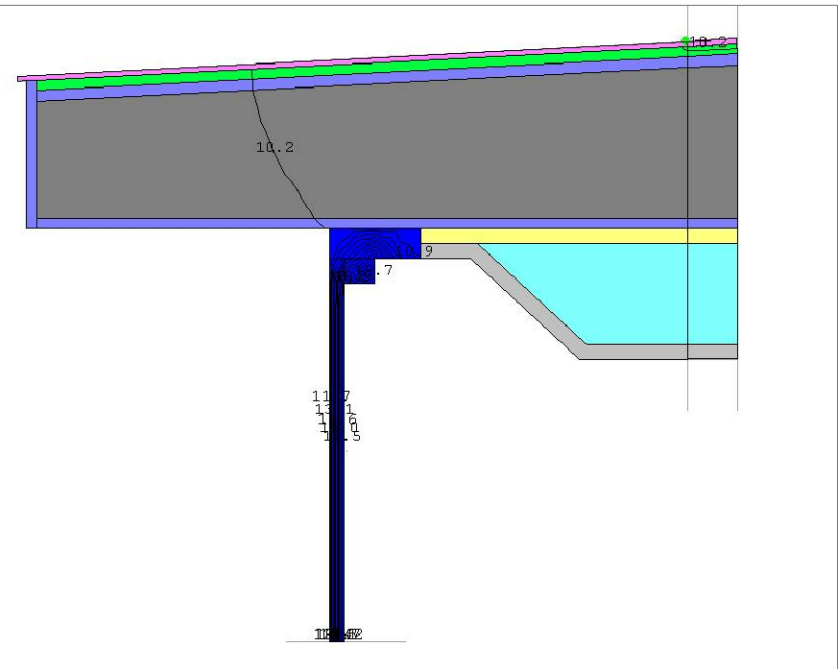


Figura 8.36: distribución de temperaturas

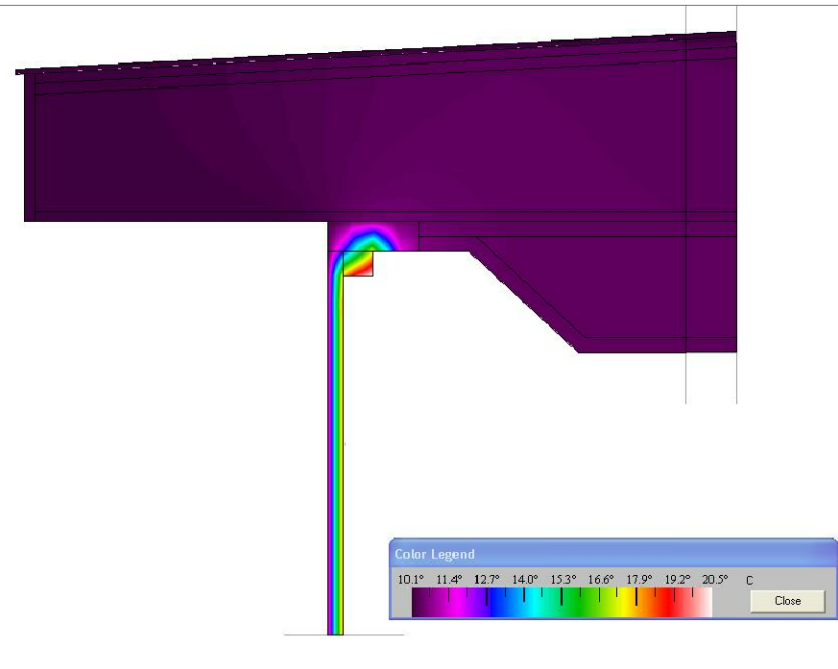


Figura 8.37 distribución de temperaturas por contornos

Se obtienen los siguientes los siguientes resultados en el programa Therm:

Puente térmico _3_ muro cortina con cubierta		
	U (W/km²)	L(m)
U total	0,603	1,518
U cerramiento	0,30	0,78
U pte térmico	<b>0,99</b>	0,687

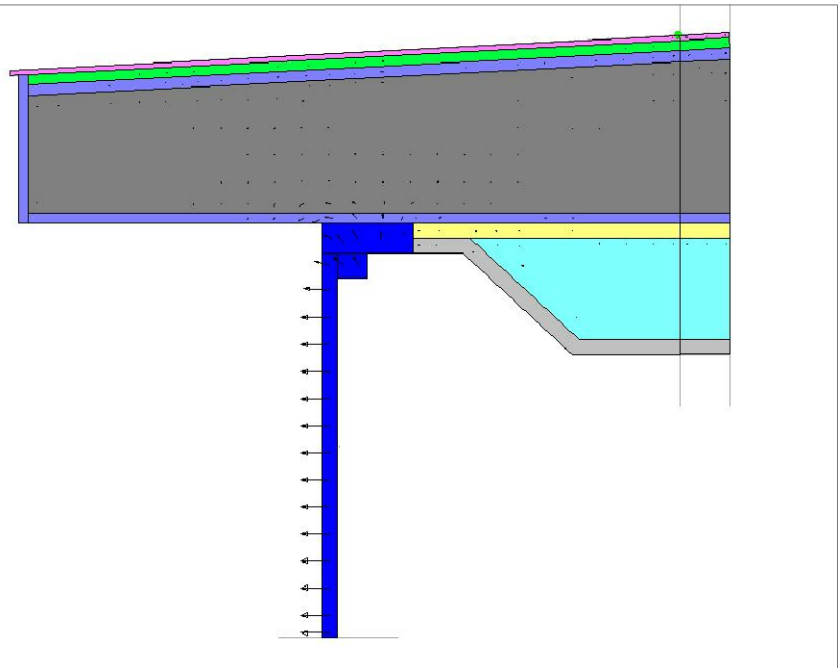


Figura 8.38: flujos de calor

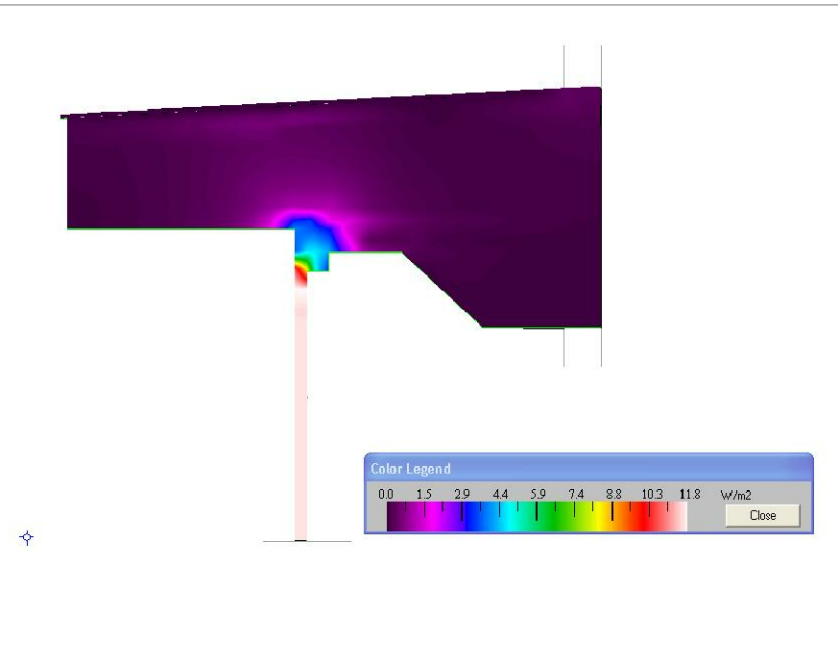


Figura 8.39: distribución flujos de calor por contornos

Para que no existan condensaciones superficiales debe cumplirse:

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$

$f_{Rsi,min} = 0,52$  (tabla 3.2 DB-HE1)

$f_{Rsi} = 1 - (U \times 0,25) = 1 - (0,99 \times 0,25) = 0,76$

$f_{Rsi,min} = (\theta_{si,min} - \theta_e) / (20 - \theta_e) = (10,09 - 10,1) / (20 - 10,1) = 0,001$

$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$  **SE CUMPLE. NO HAY CONDENSACIONES SUPERFICIALES**

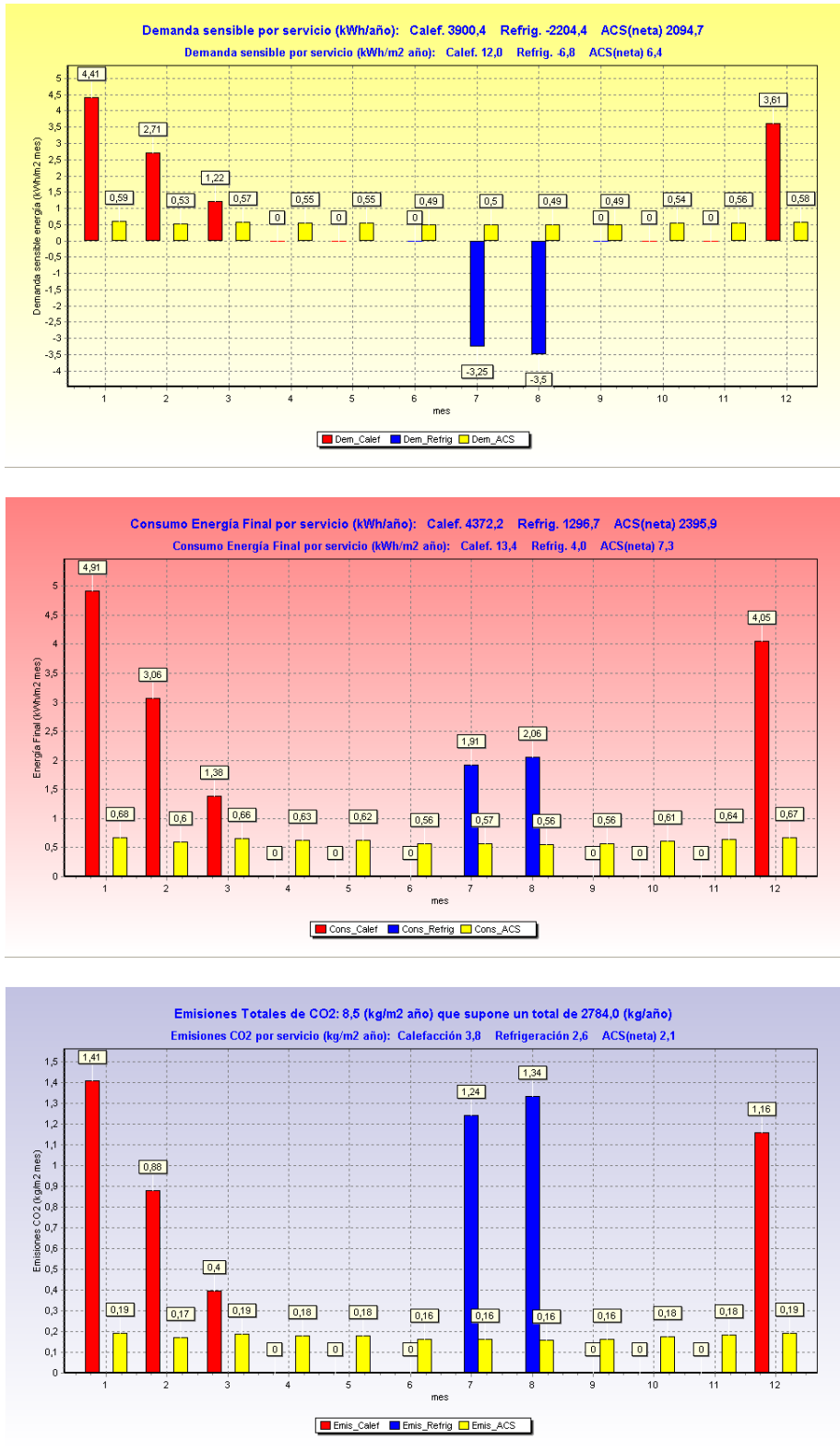


Figura 8. 40: Diagramas de demanda, consumo y emisiones con la mejora de incrementar 2cm el aislamiento.

Como resultado de incrementar el aislamiento térmico en dos centímetros, se obtiene una calificación energética B. Con los diagramas que se muestran a la izquierda de demanda, consumo y emisiones.

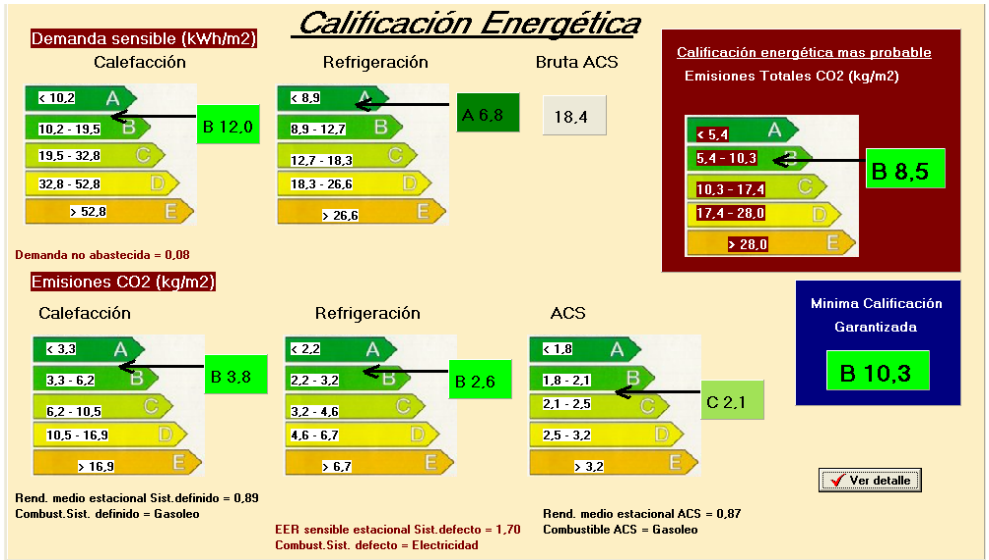


Figura 8. 41: Calificación energética con la mejora de incrementar 2cm el aislamiento

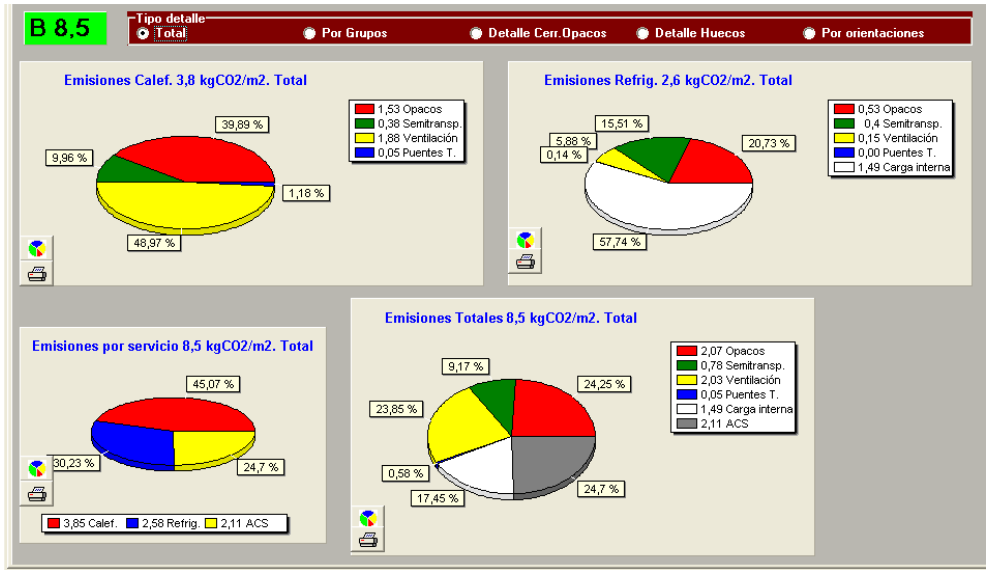


Figura 8. 42: Emisiones de CO2 con la mejora de incrementar 2cm el aislamiento

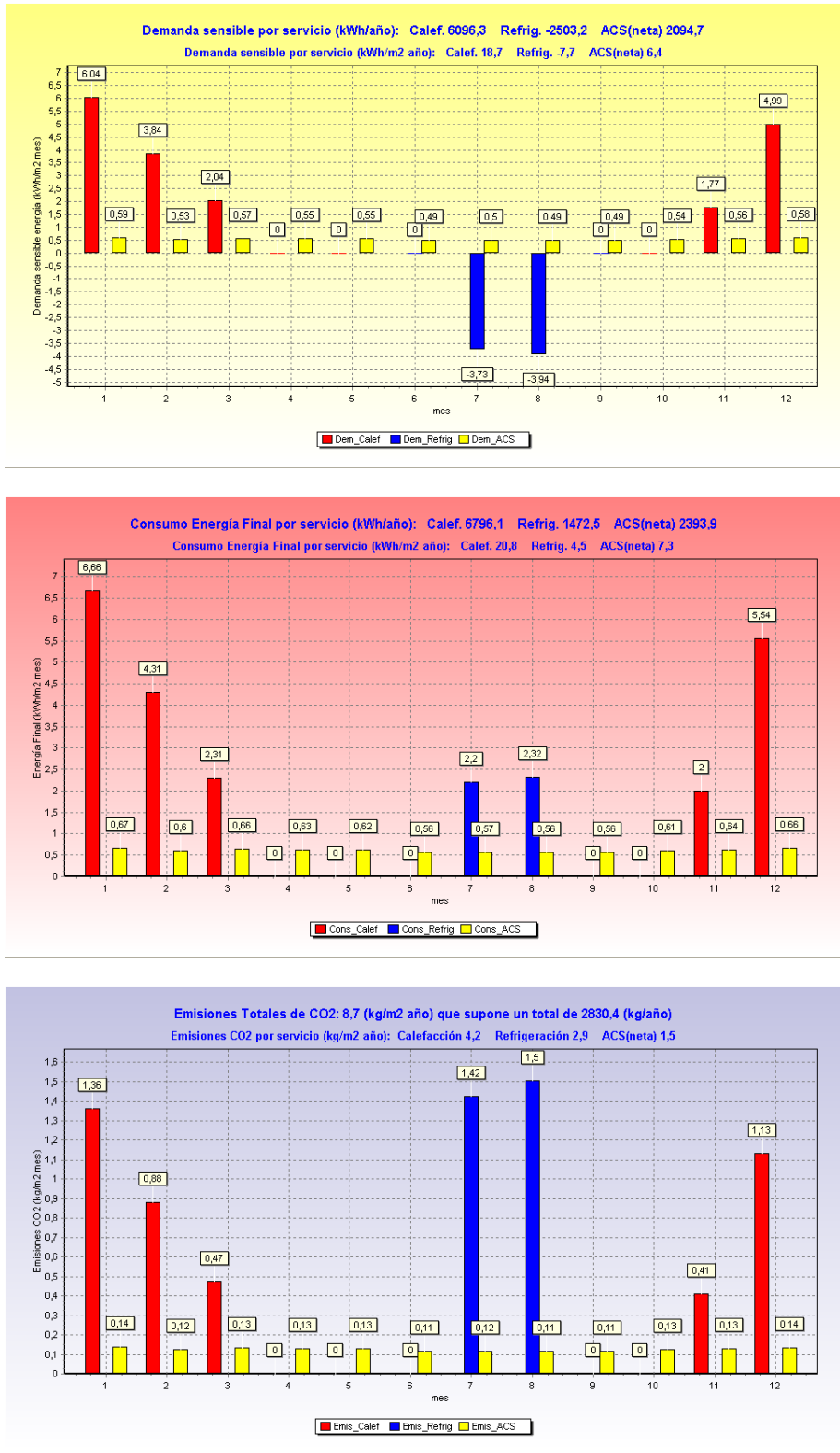


Figura 8. 43: Diagramas de demanda, consumo y emisiones con la mejora de cambio de combustible.

Si en lugar de aumentar el aislante, mejoramos el sistema cambiando el combustible de gasóleo por gas natural, conseguiríamos también una calificación energética B:

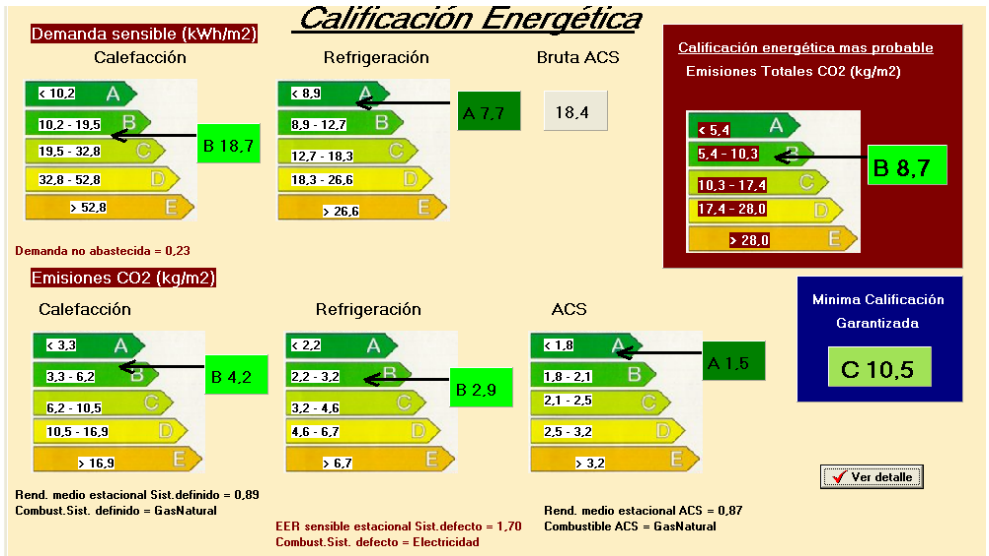


Figura 8. 44: Calificación energética con la mejora de cambio de combustible.

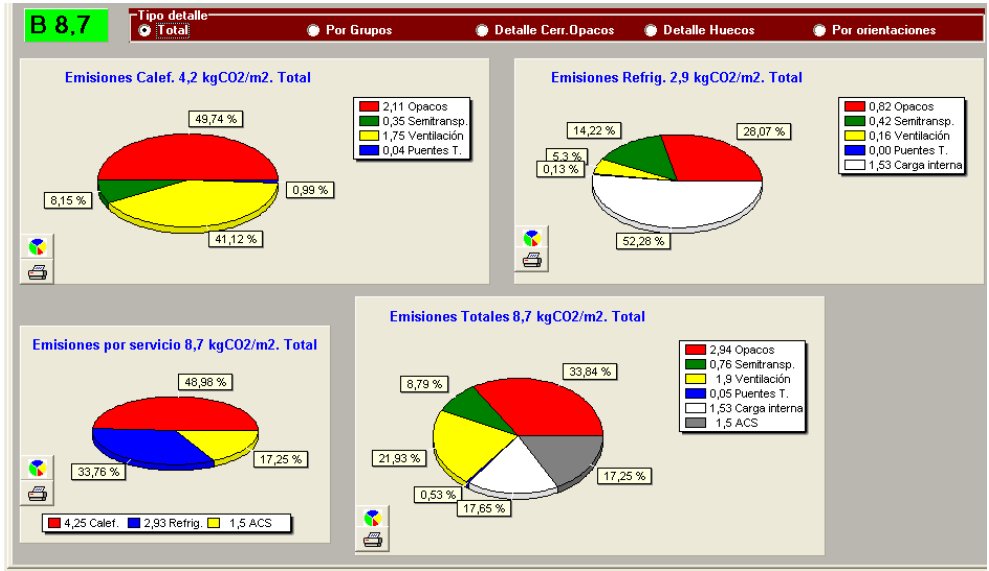
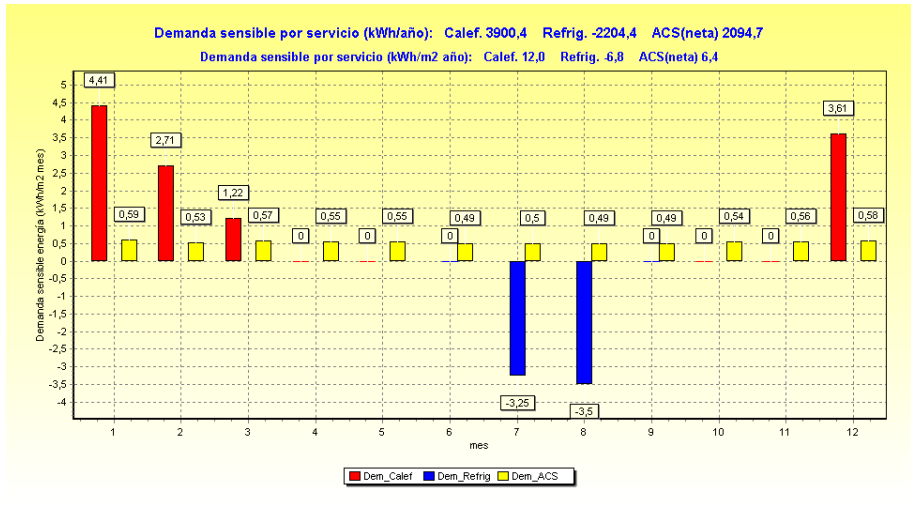


Figura 8. 45: Emisiones de CO2 con la mejora de cambio de combustible.



Si combinamos ambos cambios:

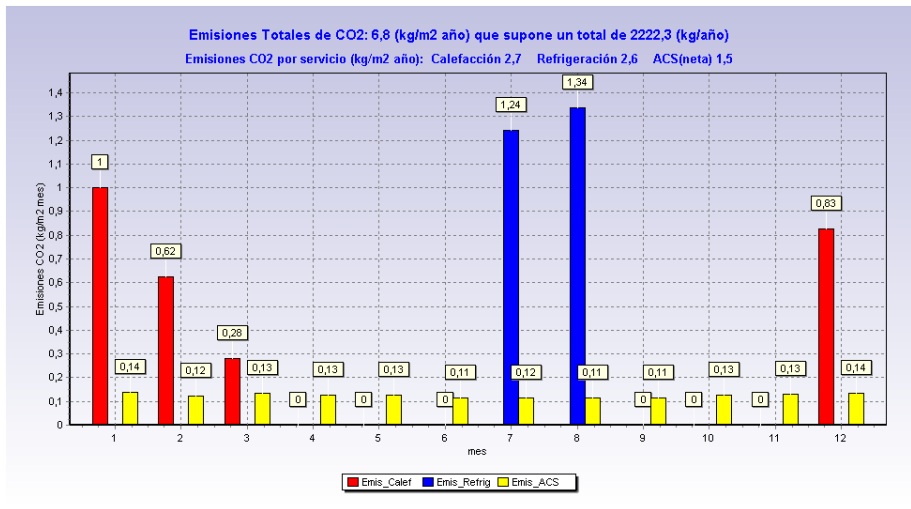
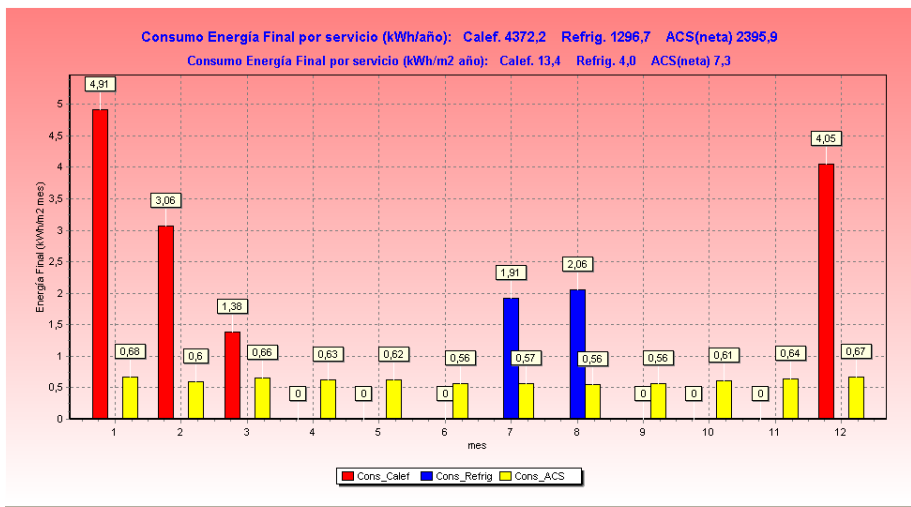


Figura 8. 46: Diagramas de demanda, consumo y emisiones con la combinación de ambas mejoras.

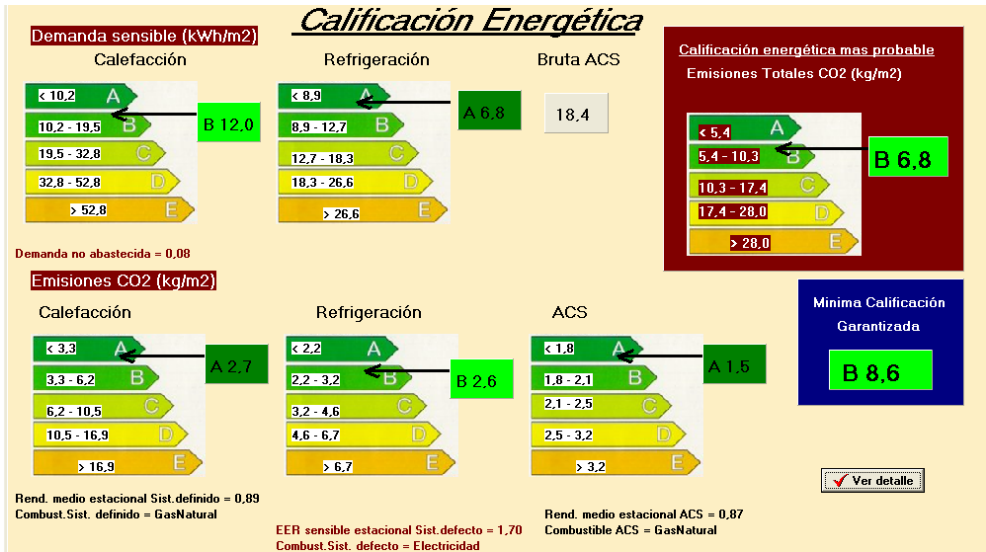


Figura 8. 47: Calificación energética con la combinación de ambas mejoras.

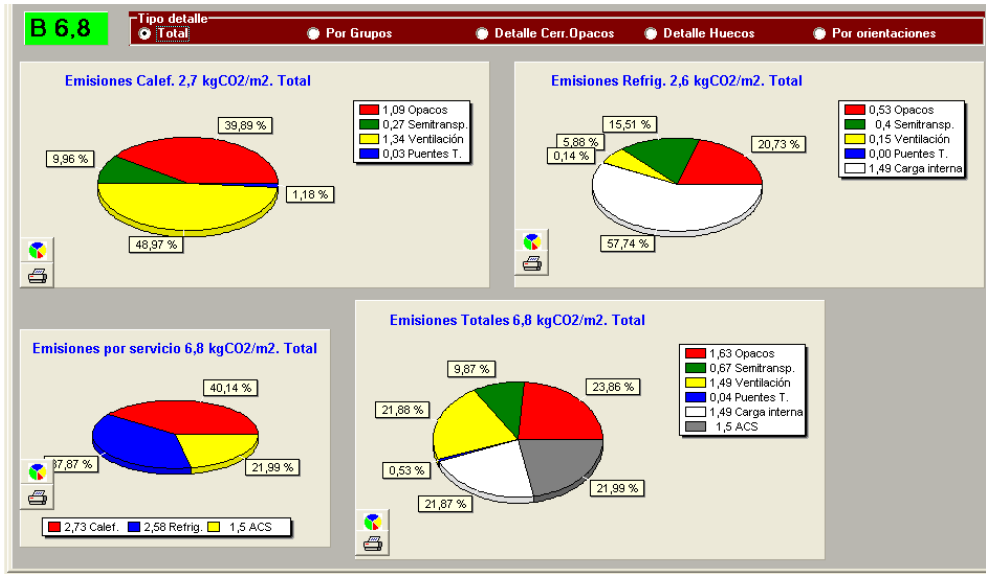


Figura 8. 48: Emisiones de CO2 con la combinación de ambas mejoras.

## 9. Conclusiones



### Conclusiones sobre la iluminación natural

Tras los datos recogidos y los diagramas y gráficos realizados se puede concluir que en términos generales la zona de la vivienda estudiada está bien iluminada de forma natural, pues se alcanzan los niveles óptimos de iluminación de 200 lux en todos los puntos del salón.

Si retomamos las gráficas podemos decir que la iluminación natural proveniente del Sol atraviesa el muro cortina en un determinado porcentaje, normalmente entre un 80 y un 90%, iluminando el espacio interior de forma gradual desde este muro cortina hasta el fondo del salón, y de esta forma es también una fuente de iluminación tanto directa como por reflexión para la zona del comedor, a la que también le llega iluminación natural desde otros puntos como ya se ha comentado en el análisis.

Si observamos los diagramas, se ve claramente el freno que supone el vidrio, que es bajo emisivo y reflectante, para la transmisión de la luz natural al interior de la estancia, sobre todo en las mediciones realizadas a partir del mediodía, donde existe un claro corte y diferencia de color entre el interior, gris, y el exterior, rojo. Apreciamos también la degradación de iluminación natural desde el frente del muro cortina hasta la zona del comedor que registra los niveles más bajos, pero siempre superiores al nivel recomendable para esta zona, 200 lux.

En ningún punto interior se sobrepasa los 100.000 lux, con lo que podríamos afirmar que no existe deslumbramiento en el salón comedor. No obstante, en algunos puntos sí que se sobrepasa la relación 1:3 recomendable para evitar la incomodidad visual. Esta situación se da por la entrada directa de luz solar, para la que se han propuesto algunas mejoras vinculadas a elementos de protección solar, siempre teniendo en cuenta la estética de la fachada.

Se llega a las siguientes conclusiones:

- o Los mayores niveles de iluminancia se producen en las proximidades del muro cortina, y por lo general, disminuyen progresivamente según nos alejamos de esta fuente de luz.
- o De entre las mediciones hechas a lo largo del día, la que menor nivel de iluminancia registra ha sido la de la mañana, a las 9:00h.
- o A mayor altura en ausencia de rayos solares, mayores niveles de iluminancia. Esta afirmación es cierta cuando los rayos solares inciden de forma rasante, en los meses invernales.
- o El color de las paredes y pavimentos influyen significativamente en un aumento de iluminancia por reflexión, constatando un incremento entre 200 y 300 lux, con paredes blancas y suelos claros.
- o Se puede producir incomodidad visual si se alcanzan relaciones superiores a 1:3 entre espacios contiguos, esta situación se da cuando entran los rayos solares, sobre todo a las 12:00 y a las 15:00 horas.
- o En ausencia de los rayos solares, la iluminancia registrada en diciembre es mayor que la registrada en abril, del orden de cuatro veces mayor en el punto más cercano al muro cortina, luego esta relación va disminuyendo. Esto es debido a que la iluminación procede de un ángulo más rasante en diciembre.
- o En presencia de rayos solares, ocurre lo contrario, la iluminancia en el mes de abril es superior a la de diciembre. Esto ya se dejaba ver en los gráficos obtenidos de pvgis, figuras 7.5 y 7.6, donde la irradiancia sobre un plano horizontal era mayor en abril

### Conclusiones sobre las pérdidas y ganancias de energía

Como se ha visto en el punto 8.1, y en el 8.3 con la aplicación del programa *Lider*, la vivienda objeto de estudio cumple con el apartado 1 del documento básico de Ahorro Energético del Código Técnico de la Edificación, que tiene por objeto limitar la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico. Es decir, teniendo en cuenta la localidad en la que está construida (Vall Uxó) la vivienda presenta unas transmitancias en sus cerramientos inferior a las máximas que recoge el CTE; asimismo hemos comprobado que no existen condensaciones intersticiales ni superficiales, y la permeabilidad al aire de la carpintería está dentro de los límites exigidos.

Si retomamos en balance energético calculado en el apartado 8.2 del presente trabajo, para temperaturas y ganancias por radiación solar medias de los meses más desfavorables, comprobamos cómo, efectivamente, la vivienda necesita un sistema de calefacción en invierno que aporte 10,68 W/m<sup>3</sup>, y un sistema de refrigeración para verano que aporte 17,32 W/m<sup>3</sup>.

Hemos visto que la vivienda obtiene una calificación energética C (11), dicha calificación cumple con la demanda y ahorro energético pero como se ha visto, es mejorable, pudiendo llegar a una calificación B (6,8) si aumentamos el aislante térmico en 2 cm, con lo que disminuimos la transmitancia de la envolvente, y además cambiamos el combustible a gas natural. Estos cambios son aconsejables tenerlos en cuenta y valorarlos en la fase de proyecto, ya que *a posteriori* supondrían un mayor esfuerzo económico.

En resumen la vivienda está bien acondicionada térmicamente. Los materiales tienen unas transmitancias adecuadas para la localización de la vivienda, sobre todo el muro cortina, que es el elemento que más podría preocupar, con una  $U=1,4$  W/m<sup>2</sup>k. Se trata de un vidrio bajo emisivo y además reflectante, consiguiendo que las temperaturas internas no sean demasiado elevadas comparadas con las que tendría con un vidrio simple.

Aún así la vivienda cuenta con un extractor adicional en el salón, en la doble altura, de forma que cuando la casa no está habitada y no está conectado el sistema de climatización, dicho extractor se pondrá en funcionamiento cuando se llegue a una determinada temperatura interior, para evitar el deterioro de los materiales que hay en el salón.

A las mejoras propuestas, como incrementar el aislamiento térmico, se le puede añadir mejorar el vidrio que forma el muro cortina, como por ejemplo, contener en su interior, en lugar de aire seco, argón, con lo que se conseguiría una transmitancia térmica de 0,85 W/m<sup>2</sup>k.

### Como conclusión final

La tradición arquitectónica de un clima mediterráneo como el nuestro se ha protegido siempre de los excesos de asoleamiento. En nuestra latitud es importante ejercer un control adecuado sobre la radiación solar, pues ésta es la responsable de llegar a obtener un confort visual y térmico aceptables en el interior de locales habitables. Desde el punto de vista de la iluminación natural, deberemos tener especial cuidado que no se produzcan deslumbramientos, así como de garantizar una buena iluminación interior, la cual deberá poder ser regulada según la tarea a desempeñar. Mientras que desde el punto de vista térmico deberemos protegernos del sol en verano para evitar un sobrecalentamiento de las estancias, y dejar que éste entre en invierno para calentarlas, aprovechando de este modo su energía. Ambos análisis, el lumínico y el térmico, van ligados.

Para el desarrollo de la vida cotidiana, son más saludables las condiciones variables de luz, asimismo la luz natural es la mejor fuente de energía de iluminación, su intensidad y calidad son mucho mayores que la que proporciona la artificial, y con ella distinguimos mejor los colores del espectro visible. Por lo tanto es importante permitir la entrada de luz natural en el interior de las estancias, y para esto debe considerarse la orientación del edificio, las sombras que éste recibe y su situación geográfica. Además, respecto a la eficiencia energética desde el punto de vista lumínico, debemos permitir esta entrada de luz diurna para evitar el gasto innecesario de luz artificial.

Sin embargo todo aporte de energía lumínica implica un aporte de energía térmica. Así pues, la llegada a través de los acristalamientos y cerramientos de radiación directa solar conllevará a un sobrecalentamiento del interior de la estancia. Ahora bien, en nuestro clima mediterráneo, aprovecharemos dicha radiación térmica en invierno (eficiencia energética), pero debemos protegernos de ella en verano con los sistemas de protección solar que se han definido en el punto 4.3 del presente trabajo, con el objetivo de evitar un gasto innecesario de energía para refrigerar. Estos sistemas también sirven, como se ha comentado anteriormente, para evitar el deslumbramiento. El sistema utilizado en la vivienda objeto de estudio ha sido el tipo de acristalamiento elegido, se ha colocado un vidrio de baja emisividad y reflectante, con lo que se consigue unos niveles de confort térmico y lumínico óptimos en el interior del espacio estudiado.

Además de los elementos para el control de la radiación directa debemos tener en cuenta otros aspectos como:

- o Localización del edificio
- o La orientación del edificio.
- o La geometría
- o El tamaño y posición de los huecos en la fachada. Este aspecto determina la mayor parte del potencial para utilizar la luz natural.
- o Tamaño y distribución de los locales interiores
- o Posibles elementos externos capaces de obstruir la iluminación natural directa
- o La materialidad, el color y las texturas
- o Tipo de acristalamiento

Atendiendo a todo lo expuesto, concluimos que tenemos la obligación de concienciarnos del ahorro energético que se debe y puede conseguir a la hora de diseñar y construir cualquier tipo de edificio.



# 10. Bibliografía

APARICIO FERNANDEZ, Carolina Sabina, *Revestimientos ventilados en la arquitectura contemporánea. Influencia del diseño constructivo y su entorno en el comportamiento térmico*. Tesis doctoral dirigida por José Luis Vivancos Bono, Departamento de Proyectos de Ingeniería, , inédito, Valencia, 2010.

BRANDI, Ulrike, “Sistemas para el control de la luz natural”, *Detail*, 4-2004.

CALDUCH CERVERA, Juan, *Luz, sombra, color, contorno*, Alicante, Club Universitario, 2001.

CAÑADA RIBERA, Javier y SALVADOR GARCÍA, Daniel, *Radiación Solar, Tablas de datos medidos en Valencia 1989-1995*, Departamento de Termodinámica Aplicada, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Valencia.

CASTRO MARTIN, Carlos, *Aislamiento térmico en edificación*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Ed. Fundación Escuela de la Edificación, 2008.

HIGÓN CALVET, José Luis, *Contribuciones al estudio del asoleo geométrico. Procedimientos para el cálculo del factor de obstrucción solar. Aplicaciones*. Tesis doctoral dirigida por Juan José Ferrer Gila, ETS de Arquitectura, inédito, Valencia, 2003

HIGÓN CALVET, José Luis, DE VICENTE VALIENTE, Vicente, *El cálculo del vector solar para su uso en edificación. Cartas solares para Valencia*, Valencia, Ed. VJ, 2004.

IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, *Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios; guía técnica*. Madrid. Instituto para la diversificación de la Energía, 2005.

NEILA GONZÁLEZ, F. Javier, *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*, Madrid, Munilla Leria, 2004

SCHITTICH, Christian, *Arquitectura solar; estrategias, visiones y conceptos*, Basilea, Munich, Birkhäuser, Detail, 2003.

SERRA FLORENSA, Rafael, *Arquitectura y climas*, Barcelona, Gustavo Gili, 2004.

SOTO CAMINO, Juan, *Apuntes del Área de Intensificación de Eficiencia Energética*, ETSIE, 2011.

VALERO RAMOS, Elisa, *La materia intangible: reflexiones sobre la luz en el proyecto de arquitectura*, Valencia, Ediciones Generales de la Construcción, 2004.

YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *Arquitectura solar e iluminación natural; conceptos, métodos y ejemplos*, Madrid, Munilla Leria, 2008

YAÑEZ PARAREDA, Guillermo, *La energía solar en la edificación*, Madrid, Ministerio de la Vivienda, 1976

VVAA, *Ampliación de física. Térmica. Iluminación*, Valencia, Editorial UPV, 2008.

Bibliografía complementaria

CEI, Comité Español de Iluminación

PVGIS , Photovoltaic Geographical Information System

Código Técnico de la Edificación



