

# **Trabajo de Final de Máster**

---

## ***ANÁLISIS BAJO CRITERIOS ENERGÉTICOS Y SOSTENIBLES DE UN CENTRO DOCENTE EN LAS FRANQUESES DEL VALLÈS.***

---

Apellidos: Cencerrado Sánchez

Nombre: Carlos

Titulación: Máster en Ciencia y Tecnología de la Sostenibilidad (U.P.C)

Director/a: Arcadio de Bobes

Fecha de lectura: 14/10/2015



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Institut Universitari de Recerca en Ciència  
i Tecnologies de la Sostenibilitat



El contenido de este documento está bajo la licencia de Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International. Todas las imágenes, figuras, diagramas y otros materiales gráficos del autor, a no ser que se indique lo contrario.

## ***Agradecimientos***

A todos los profesores y compañeros de la generación 2013 – 2015 del Màster Universitari en Ciència i Tecnologia de la Sostenibilitat

A mi tutor Arcadio de Bobes por todo su apoyo e recomendaciones durante la elaboración de este trabajo.

## Tabla de contenido

<b>A.</b>	<b>Listado de ilustraciones</b>	<b>5</b>
<b>B.</b>	<b>Listado de tablas</b>	<b>6</b>
<b>1.</b>	<b>Resumen</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Definición de objetivos</b>	<b>8</b>
<b>3.</b>	<b>Análisis de antecedentes y viabilidad</b>	<b>9</b>
<b>3.1.</b>	<b>Extracción intensiva e irracional de materias primas renovables y no renovables</b>	<b>10</b>
3.1.1.	La tierra	10
3.1.2.	La madera	10
3.1.3.	El hormigón	10
<b>3.2.</b>	<b>Generación de residuos de construcción y demolición</b>	<b>11</b>
<b>3.3.</b>	<b>Altos consumos energéticos en edificios</b>	<b>12</b>
<b>3.4.</b>	<b>Hacia el concepto de Construcción Sostenible</b>	<b>12</b>
<b>3.5.</b>	<b>Arquitectura bioclimática como eje de arquitectura sostenible</b>	<b>13</b>
<b>4.</b>	<b>Metodología</b>	<b>15</b>
<b>4.1.</b>	<b>Descripción del edificio</b>	<b>15</b>
<b>4.2.</b>	<b>Estudio de la localización</b>	<b>16</b>
4.2.1.	Estudio climático	17
4.2.2.	Estudio del entorno	17
<b>4.3.</b>	<b>Consideraciones previas</b>	<b>20</b>
4.3.1.	La luz	20
4.3.2.	Bases de cálculo lumínico	22
4.3.3.	Bases de cálculo térmico	24
4.3.4.	Creación y asignación de materiales en Ecotect	24
<b>5.</b>	<b>Desarrollo y análisis de resultados</b>	<b>26</b>
<b>5.1.</b>	<b>Diseño de protecciones solares</b>	<b>26</b>
5.1.1.	Cálculo del ángulo solar mínimo	26
5.1.2.	Cálculo de la variación mensual	27
5.1.3.	Cálculo de la energía producida:	27
<b>5.2.</b>	<b>Estado actual</b>	<b>29</b>
5.2.1.	Estudio lumínico	29
5.2.2.	Estudio térmico	32
<b>5.3.</b>	<b>Optimización energética</b>	<b>36</b>
5.3.1.	Optimización lumínica	36
5.3.2.	Optimización térmica	45

<b>6.</b>	<b><i>Discusión</i></b>	<b>54</b>
6.1.	<b>Factor humano, uso y mantenimiento</b>	<b>54</b>
6.2.	<b>Coste energético y huella de carbono</b>	<b>54</b>
6.3.	<b>Trabajos futuros</b>	<b>56</b>
<b>7.</b>	<b><i>Conclusión</i></b>	<b>57</b>
<b>8.</b>	<b><i>Bibliografía</i></b>	<b>58</b>
<b>9.</b>	<b><i>Anexos</i></b>	<b>60</b>
9.1.	<b>Fichas de estudio de iluminación natural</b>	<b>60</b>
9.1.1.	Edificio 5 (Planta 1): Fachada Norte Aulas	60
9.1.2.	Edificio 5 (Planta 2): Fachada Norte Aulas	62
9.1.3.	Edificio 5 (Planta 3): Fachada Norte Aulas	66
9.1.4.	Edificio 6 (Planta 2): Fachada Sur Aulas	70
9.1.5.	Edificio 6 (Planta 2): Fachada Norte Aulas	72
9.1.6.	Edificio 6 (Planta 3): Fachada Sur Aulas	75
9.1.7.	Edificio 6 (Planta 3): Fachada Norte Aulas	77
9.1.8.	Edificio 6 (Planta 4): Fachada Sur Aulas	80
9.1.9.	Edificio 6 (Planta 4): Fachada Norte Aulas	83
9.2.	<b>Fichas de estudio térmico</b>	<b>86</b>
9.2.1.	Edificio 5 (Planta 1): Fachada Norte Aulas	86
9.2.2.	Edificio 5 (Planta 2): Fachada Norte Aulas	87
9.2.3.	Edificio 5 (Planta 3): Fachada Norte Aulas	88
9.2.4.	Edificio 6 (Planta 2): Fachada Sur Aulas	89
9.2.5.	Edificio 6 (Planta 2): Fachada Norte Aulas	90
9.2.6.	Edificio 6 (Planta 3): Fachada Sur Aulas	91
9.2.7.	Edificio 6 (Planta 3): Fachada Norte Aulas	92
9.2.8.	Edificio 6 (Planta 4): Fachada Sur Aulas	93
9.2.9.	Edificio 6 (Planta 4): Fachada Norte Aulas	94
9.3.	<b>Programa operacional del instituto</b>	<b>95</b>
9.4.	<b>Tabla de zonificación y parámetros para el cálculo térmico</b>	<b>96</b>
9.5.	<b>Calendario lectivo</b>	<b>97</b>
9.6.	<b>Banco de materiales Ecotect (se indica entre paréntesis la nomenclatura en el programa)</b>	<b>98</b>
9.6.1.	Suelos	98
9.6.2.	Cubiertas	100
9.6.3.	Falsos techos	103
9.6.4.	Fachadas	105
9.6.5.	Ventanas	108

<b>9.7.</b>	<b>Tabla de emisiones de los materiales en Kg de CO2</b>	<b>109</b>
<b>9.8.</b>	<b>Reportaje fotográfico</b>	<b>110</b>

## **A. Listado de ilustraciones**

<i>Ilustración 1. Imagen satélite donde se muestran las calles alrededor del instituto. Fuente: Google Maps.</i>	16
<i>Ilustración 2. Render 3D donde se muestra la nomenclatura de los edificios. Software: Sketchup.</i>	16
<i>Ilustración 3. Sombras arrojadas sobre la localidad en el solsticio de verano a las 9 h. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	18
<i>Ilustración 4. Corte topográfico. Software: AutoCAD 2013.</i>	18
<i>Ilustración 5. Skyline con corte en sección de los elementos adyacentes al instituto. Cabe destacar que no existen elementos de gran altitud y realmente la única afectación real viene dada por la vegetación de hoja caduca a los alrededores. Software: AutoCAD 2013.</i>	19
<i>Ilustración 6. Captura del modelado 3D desde el ángulo noroeste. Se pueden apreciar los árboles y edificaciones colindantes. Software: Sketchup.</i>	19
<i>Ilustración 7. Plano de planta del proyecto original donde aparecen los puntos de luz en un laboratorio. Sirve como base lumínica para el resto de zonas de análisis. Destacar las tres zonas lumínicas indicadas. Fuente: Planos memoria proyecto.</i>	22
<i>Ilustración 8. Gráfico que muestra el ángulo solar y como se relaciona con las lamas.</i>	27
<i>Ilustración 9. Ficha del fabricante de la lama orientable fotovoltaica escogida.</i>	28
<i>Ilustración 10. Sección del edificio 6 donde se muestran las lamas con la inclinación estándar considerada de 41,56º y la radiación directa en los equinoccios. Nótese en la imagen que no penetra radiación directa y que las lamas están perpendiculares al rayo incidente.</i>	28
<i>Ilustración 11. Planta del aula E.S.O. 5. Fachada norte. Fuente: Planos memoria proyecto.</i>	30
<i>Ilustración 12. Planta del aula de tecnología. Fuente: Planos memoria proyecto.</i>	31
<i>Ilustración 13. Planta del aula de dibujo. Fuente: Planos memoria proyecto.</i>	32
<i>Ilustración 14. Gráfico “breakdown” de ganancias y pérdida de energía por Wh/m<sup>2</sup> del aula Aula de Bachillerato 1. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	33
<i>Ilustración 15. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de bachillerato 1. 69.3 % de horas en confort.</i>	33
<i>Ilustración 16. Gráfico “breakdown” de ganancias y pérdida de energía por Wh/m<sup>2</sup> del aula de Dibujo-Taller. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	34
<i>Ilustración 17. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de Dibujo-Taller. 64.50% de horas en confort.</i>	34
<i>Ilustración 18. Ilustración 13. Gráfico “breakdown” de ganancias y pérdida de energía por Wh/m<sup>2</sup> del laboratorio de Ciencias. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	35
<i>Ilustración 19. Gráfico de distribución de temperatura en el laboratorio de Ciencias. 67.5 % de horas en confort.</i>	35
<i>Ilustración 20. Captura de la solución planteada para el aula E.S.O. 5. Fachada norte. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	36
<i>Ilustración 21. Comparativa entre FLD original y modificado. En la parte izquierda se muestra el FLD original. En la parte derecha se muestra el FLD una vez aplicadas las modificaciones. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	36
<i>Ilustración 22. Comparativa entre la autonomía modificada y original. En la parte izquierda se muestra la solución original. En la parte derecha se muestra la solución planteada. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	37
<i>Ilustración 23. Captura de la solución planteada para el aula de tecnología. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	38
<i>Ilustración 24. Comparativa entre FLD original y modificado. En la parte superior se muestra el FLD original. En la parte inferior se muestra el FLD una vez aplicadas las modificaciones. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	38
<i>Ilustración 25. Comparativa entre la autonomía modificada y original. En la parte superior se muestra la solución original. En la parte inferior se muestra la solución planteada. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	39
<i>Ilustración 26. Malla de cálculo de FLD de las aberturas planteadas con lamas. Nótese la baja afectación de las lamas en la distribución general del FLD. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	40
<i>Ilustración 27. Captura de la solución planteada para el aula de dibujo. Software: Ecotect Analysis 2011.</i>	41

<i>Ilustración 28. Comparativa entre FLD original y modificado. En la parte superior se muestra el FLD original. En la parte inferior se muestra el FLD una vez aplicadas las modificaciones. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 29. Comparativa entre la autonomía modificada y original. En la parte superior se muestra la solución original. En la parte inferior se muestra la solución planteada. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 30. Malla de cálculo de FLD de las aberturas planteadas con lamas. Nótese la baja afectación de las lamas en la distribución general del FLD. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 31. Diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano. Software: Climate Consultant.....</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 32. Diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano, con el valor de la repercusión de la ventilación natural, un 13,90 %. Software: Climate Consultant. ....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 33. Sistemas de aireación natural, imagen izquierda con aireador de ventana, imagen derecha con reja de ventilación con mosquitera. Fuente: Página web de Renson.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 34. Corte sección de carpintería hoja oculta de calidad con aluminio con rotura de puente térmico de 36 mm con cámaras intermedias <math>U = 1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^\circ</math>. Fuente: página web de K-line. ....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 35. Características del nuevo material de fachada. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 36. Gráfico de ganancias por conducción y solar indirecta de la envolvente. Se puede apreciar que en los meses calurosos se produce un retraso térmico en la ganancia, lo que conlleva a una reducción de la ganancia general durante las horas de uso. Software: Ecotect Analysis 2011. ....</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 37. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de bachillerato 1. Curva original verde, 69.30 % de horas en confort. Curva optimizado rojo, 80.20 % de horas en confort. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 38. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de Dibujo-Taller. Curva original verde, 64.50 % de horas en confort. Curva optimizado rojo, 72.50 % de horas en confort. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 39. Gráfico de temperatura para el día 22 de junio. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011. ....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 40. Gráfico de temperatura para el día 21 de diciembre. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 41. Gráfico de distribución de temperatura en el laboratorio de Ciencias. Curva original verde, 67.50 % de horas en confort. Curva optimizado rojo, 80.50 % de horas en confort. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 42. Gráfico de temperatura para el día 22 de junio. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011. ....</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 43. Gráfico de temperatura para el día 21 de diciembre. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011.....</i>	<i>52</i>

## **B. Listado de tablas**

<i>Tabla 1. Tabla de zonas e iluminancias mínimas. Elaboración propia. ....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2. Tabla del desarrollo mensual del ángulo solar. ....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Balance final de consumo Kw·h en referencia a la autonomía calculada del proyecto original frente al optimizado. Ahorro del 18 %. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4. Cantidad en % de tiempo en confort en horas de uso. “Original” indica el valor sin optimización. “Ventilación” indica el valor con la propuesta de ventilación. “Ventanas” indica el valor con la propuesta de optimización de ventanas. “Aislamiento” indica el valor con la propuesta de optimización del sistema de aislamiento de los cerramientos. Incremento total de horas en confort en 12.57%. Elaboración propia. ....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 5. Demanda anual en Kw·h de sistemas de calefacción y refrigeración del proyecto original y optimizado. Ahorro total del 31 %, 4286,99 Kw·h. Rango de confort entre 18 – 26 grados celsius Elaboración propia. ....</i>	<i>53</i>



## **1. Resumen**

El presente documento contiene un análisis y optimización bajo criterios energéticos y sostenibles de un instituto en Corró d'Avall (Les Franqueses del Vallès), que cuenta con una superficie construida de 4.232 m<sup>2</sup>, repartida en seis edificios de diferente configuración y uso. Para el modelado digital en 3D del instituto se ha utilizado la aplicación Google SketchUp 2015 y Autodesk Revit, para el análisis y planteamiento de mejoras en la iluminación natural y comportamiento térmico se ha utilizado Autodesk Ecotect 2011.

En primer lugar, se ha realizado un estudio de la localización del instituto, que comprende la climatología y el entorno cercano e inmediato del mismo, se ha comprobado que la localización del instituto no repercute negativamente sobre el mismo.

A continuación, se ha analizado el uso de la iluminación natural y el comportamiento térmico de todas las aulas y laboratorios del instituto, sin tener en cuenta ningún tipo de climatización artificial. Con los datos obtenidos del análisis de la iluminación se han planteado una serie de modificaciones en las aberturas originales para incrementar el FLD (Factor luz diurna) incrementando la calidad y cantidad de luz natural en los diferentes espacios. Con el objetivo de optimizar el comportamiento térmico sin usar equipos de climatización artificial, se han propuesto una serie de modificaciones, enfocadas principalmente hacia los programas de ventilación de los espacios, materiales y color de acabado de la envolvente, prestando atención a la inercia térmica de las soluciones y tratándola como una herramienta para favorecer la climatización. Gracias a las modificaciones se ha conseguido reducir aproximadamente un 18% la demanda energética de iluminación, incrementando a su vez la calidad de la iluminación, y un 31% la demanda energética para climatización.

Para evaluar el impacto energético de la construcción de este instituto se ha llevado a cabo un presupuesto energético, en megajulios y kilogramos de CO<sub>2</sub>, a través de las partidas del presupuesto original. Además, se ha calculado la repercusión en estas mismas unidades del ahorro energético producido por la optimización lumínica, térmica y la implementación de lamas fotovoltaicas.

## **2. Definición de objetivos**

El objetivo fundamental del proyecto es reducir en todo lo posible la demanda energética del edificio sin perder el confort actual, e incluso si es posible, mejorarlo. Para ello se ha hecho uso de la arquitectura bioclimática, es decir, el diseño de edificaciones a razón de las condiciones climáticas de la zona, teniendo en cuenta la orografía y características del entorno, gestionando y tratando adecuadamente los recursos que ofrece la naturaleza (Luz natural, radiación solar, vientos, precipitaciones, etc), integrando energéticamente el edificio en la naturaleza. Así se consigue reducir la demanda energética, lo que comporta una disminución del impacto ambiental del edificio.

Objetivos alternativos:

- Evaluar las características constructivas de un edificio de carácter público, en términos de sostenibilidad y eficiencia energética.
- Calcular la demanda energética del edificio.
- Proponer soluciones de optimización del edificio.
- Analizar desde un punto de vista holístico de la sostenibilidad el edificio original frente al propuesto.
- Valorar la afectación de las propuestas en el ámbito catalán/español.

### **3. Análisis de antecedentes y viabilidad**

Científicos como Rudolf Clausius, hace más de 150 años, predijeron la crisis medioambiental que hoy afronta el mundo entero. Con el descubrimiento de la segunda ley de la termodinámica, la energía dejó de valorarse únicamente solo por su cantidad, sino también por su calidad. Por lo cual ésta, al igual que la materia, experimenta un proceso inevitable de degradación. Este concepto cambió totalmente el paradigma de uso de los recursos, ya hasta 1851 se creían inacabables como los combustibles, el agua y los materiales para la construcción, entre otros, y se mostraron al mundo susceptibles de ser finitos en un periodo corto para las expectativas de la población mundial y colocando en jaque a la economía y la población mundial.

Con la crisis energética que se produjo en el año 1973, los precios del petróleo aumentaron drásticamente creando una amenaza sobre las economías mundiales más pesadas, basadas en este tipo de combustible. Esto, que en ese periodo ya se había previsto 122 años antes, advirtió al mundo sobre la fragilidad de los recursos del planeta, pero también, sobre la necesidad de desarrollar energías alternativas renovables y no contaminantes.

Uno de los recursos más importantes que posee nuestro planeta es el agua, cobijada por el proceso continuo de degradación. La explotación intensiva con fines energéticos y la contaminación por la inadecuada disposición de recursos –sobre todo industriales– en las fuentes de agua, aparecen como causas muy significativas de deterioro ambiental del mismo. El agua no cambia de cantidad en el planeta, ya que pertenece a un sistema semi-cerrado en cuanto a energía y materiales se refiere, pero lo que sí se va deteriorando es su calidad (Odum, 1981). El uso de químicos tóxicos, desechos industriales y residuos sólidos provenientes de viviendas, disminuye drásticamente la cantidad de agua potable año tras año debido al hecho de ser contaminada y, por lo tanto, no quedan aptas para un consumo posterior de los seres vivos.

Por lo que respecta a los materiales de la construcción y a su vez esta actividad –la construcción– es una de las más devastadoras y contaminantes de todas las desarrolladas por la humanidad. En su desarrollo se presentan dos graves problemas como son:

- La explotación intensiva e irracional de recursos naturales no renovables.
- La generación de residuos de construcción y demolición, con su inadecuada disposición y casi nula gestión integral de éstos. (Salazar, 1972, 1998; Bedoya, 1998, 2003).

Además de estos dos problemas, la construcción se presenta al mundo como una de las actividades más antiguas del ser humano, apareciendo ésta casi paralelamente con la técnica, la cual a su vez nace desde el momento en que al hombre se le reconoce como tal. (Ortega y Gasset; 1989, *Anthropos*). La necesidad de buscarse el resguardo ante las inclemencias del clima y de las fieras, hizo que el *Homo sapiens* manipulara materiales para elaborar sus primeros lugares de resguardo, diferenciándose de los animales, en que su actividad trascendió al mero instinto, en tanto el hombre no se adaptó a las condiciones de su entorno, sino que, por el contrario, adaptó el entorno a sus necesidades. Actualmente, este sigue siendo el pilar fundamental de la construcción.

Como se ha comentado anteriormente, la construcción es algo totalmente ligado a la forma de vivir del ser humano, siendo característica del hombre adaptar el medio a sus propósitos, se presenta a través de la construcción una alteración significativa y a veces dramática del paisaje natural. Este hecho es mucho más visible en los dos últimos siglos, debido a la aparición de nuevos materiales que cambiaron completamente el diseño arquitectónico y estructural, además de las técnicas y procesos constructivos. Antes de descubrirse el cemento, y consecutivo a este el hormigón, la tierra y la madera eran los materiales más populares para la construcción en el mundo. Actualmente más del 70 % de los edificios construidos existentes en el planeta, están edificadas con tierra, en sus diferentes vertientes constructivas (Ramírez, 2005). Sin embargo, con el descubrimiento del acero y del hormigón como materiales estructurales, sumado esto a la explosión de megaciudades en todos los continentes y la necesidad de construir cada vez más alto, se dejaron totalmente de lado los materiales de bajo consumo energético y fácilmente renovables, dando paso a otros que requieren de altas cantidades de energía para su extracción y que presentan

un panorama a medio plazo muy alarmante, en la medida en que éstos no son renovables o reciclables.

La construcción actualmente es imprescindible, dado el aumento constante de la población mundial y las necesidades de confort, pero para que todos los seres humanos podamos vivir y mantener la forma de vivir actual, o al menos de hace unos cuantos años, debe desarrollarse con el concepto sostenibilidad implícito, haciendo más armónica la actividad edificatoria con el medio, utilizando al máximo de materiales reciclados, reutilizados y de carácter renovable, como también de diseños arquitectónicos que contemplen la utilización de energías alternativas y sistemas de bioclimatismo.

### **3.1.Extracción intensiva e irracional de materias primas renovables y no renovables**

Los materiales más empleados en la industria de la construcción históricamente han sido: la tierra, la madera, el hormigón, el acero y el vidrio. A excepción de la tierra y de la madera, los demás son materiales compuestos que se fabrican con materias primas no renovables. Son también los materiales predominantes en los últimos cien años en ciudades, pueblos y, desafortunadamente, hasta en los campos. Las más recientes soluciones de vivienda para campesinos e indígenas del departamento de Antioquia, están siendo construidas en bloques de hormigón, ladrillos y tejas de asbesto hormigón.

#### **3.1.1. La tierra**

La tierra existe como material de construcción desde hace milenios, remontándose las primeras construcciones de este tipo, a 5 000 a.C (Martínez, 2003). Compactada, en adobe o como sistema tendinoso, ha sido empleada en todo el mundo. Este material es muy interesante desde un punto de vista de la construcción sostenible ya que posee una serie ventajas medioambientales, como pueden ser la disponibilidad en el lugar de uso, baja energía en su elaboración e instalación, poca transferencia de calor, gran inercia térmica y fácilmente reutilizable o reciclable. Otro factor importante es su reducido coste económico, asequible para cualquier comunidad.

#### **3.1.2. La madera**

La madera ha demostrado ser otro excelente material de construcción para proyectos de arquitectura e ingeniería. Finlandia y Chile han hecho de la madera uno de sus principales recursos para la construcción de edificios y puentes, implementando programas de reforestación y tala controlada para que la velocidad del consumo no exceda la capacidad de regeneración, haciendo este trabajo sostenible. El problema se presenta en la tala indiscriminada que se da en ciertos países sobre los bosques maderables, cuya velocidad de consumo excede con creces a la velocidad de regeneración. Con madera se han realizado imponentes construcciones en China que tienen más de 400 años y aún siguen en pie. Por lo tanto, el problema real radica en su extracción intensiva y no controlada.

#### **3.1.3. El hormigón**

El siglo XX bien podría ser definido por la edad del hormigón. Este material compuesto cada día crece más en popularidad, basta con observar los proyectos de vivienda masiva que se desarrollan en todo el mundo, para concluir que los sistemas constructivos basados en muros macizos de hormigón son representativos.

A la utilización de este material en viviendas y edificios del tipo comercial e institucional, debe sumársele su empleo en las grandes obras de ingeniería como puentes, intercambios viales, centrales hidroeléctricas y aeropuertos. También se emplea a gran escala en mobiliario urbano, andenes y placas polideportivas.

Su uso tan generalizado, se debe a las muy óptimas propiedades físicas y mecánicas que el hormigón ofrece. Además de brindar estabilidad en el tiempo y una fuente de formas arquitectónicas, su producción puede hacerse insitu o prefabricarse previamente. Pese a estos grandes puntos positivos, desafortunadamente se les presentan unas debilidades que, desde el punto de vista ambiental, son críticas. Éstas son:

- Para la confección del hormigón se requieren materias primas no renovables, principalmente áridos. Estos ocupan más del 70 % del total de la masa.
- La extracción de materias primas se da, normalmente, en minas a cielo abierto, siendo este un factor de enorme deterioro ambiental ya que desplaza la flora y la fauna de estos lugares, altera el paisaje con daños casi irreversibles en la mayoría de las veces y puede dejar estériles los suelos.
- La producción de estos agregados no solo afecta el área que rodea la mina, sino que, a través de las corrientes de viento, el material particulado se transporta por varios kilómetros contaminando el aire y causando infecciones de respiración aguda.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

Por todo lo comentado anteriormente, es necesaria la investigación de nuevos materiales constructivos además de sus procesos, tanto de instalación como de extracción, para facilitar su posterior reutilización.

### **3.2. Generación de residuos de construcción y demolición**

Las ciudades del mundo experimentan dos problemas que, además de crecientes, ocasionan impactos ambientales muy importantes. Ellos son: la contaminación del aire por el transporte urbano y la generación de residuos a todo nivel. Dentro del segundo aspecto, la generación de residuos a todo nivel, se encuentran cobijadas las actividades de la construcción y de demolición.

Al construir un puente, una vía o un edificio, se llevan a cabo actividades de movimiento de tierra y excavaciones. En estas actividades se generan los primeros residuos de la obra. Luego se producen otro tipo de residuos que son catalogados como inertes y pétreos, identificándose las siguientes tipologías:

- Restos de hormigón.
- Restos de ladrillo y mortero de pega.
- Restos de material cerámico.
- Restos de tuberías plásticas.
- Madera.
- Empaques de materiales.

En la demolición de obras antiguas o que han sufrido daños irreparables por causas externas, se generan obviamente cantidades de residuos que suelen ser más variados, como por ejemplo restos de manto asfáltico, tejas de arcilla cocida, fibro-cemento, morteros de revoque y aluminio. Estos residuos son más difíciles de tratar que los producidos en la construcción nueva, porque al no contar con programas de recuperación de escombros, no se demuele selectivamente, sino que se vierten en el mismo lugar, contaminando los que puede llegar a ser aprovechados parcial o totalmente y, por lo tanto, disminuyendo así la posibilidad de su reciclaje o reutilización.

### 3.3. Altos consumos energéticos en edificios

Después de la crisis energética de 1973, quedó claro, como ya se enunció en páginas anteriores, que no es positiva la dependencia excesiva de los procesos industriales y del desarrollo económico, hacia las fuentes energéticas no renovables, tales como los combustibles fósiles. Como tampoco, hacia la energía eléctrica generada a través de centrales movidas con agua. En tal sentido el ejercicio de la construcción no escapa a dicho enunciado, pues las obras, sobre todo los edificios, no solo son la interacción de los materiales y los sistemas constructivos, sino que además son los espacios donde se desarrollan actividades que requieren de determinadas condiciones de temperatura, humedad e iluminación. Estas condiciones desafortunadamente se logran merced a la implementación de costosas instalaciones de acondicionamiento climático y de iluminación artificial, representando un sostenimiento costoso durante su vida útil, pero sobre todo un uso irracional y desmedido de los recursos naturales.

Según estudios realizados por el científico francés Francis Allard, de la Universidad de La Rochelle, se ha podido confirmar que más del 50 % de la energía producida en el mundo está destinada a la climatización de edificios.

El diseño arquitectónico juega un papel muy importante en el consumo energético de un edificio, pues de una buena combinación de sistemas constructivos, materiales y diseño, dependerá la baja o nula dependencia de una obra hacia sistemas de acondicionamiento térmico costosos. Es en este punto, donde se integra al principio de la construcción sostenible, el diseño bioclimático, el cual pretende lograr que las condiciones al interior de los edificios, estén dentro de las líneas de confort respectivas (éstas varían según la región geográfica), usando al máximo recursos renovables, como la energía solar térmica y eólica, entre las principales.

### 3.4. Hacia el concepto de Construcción Sostenible

Primeramente, se ha de definir el concepto de sostenibilidad, el cual se entiende como la dinámica que permite que los modos productivos se mantengan en tiempos y espacios determinados bajo las acciones y políticas que establecen sus actores, es decir, la sociedad y el individuo en un entorno determinado; y para describir una arquitectura sensible se refiere en términos como “ecológico” o “verdes” (Bedoya, 2010).

Sin duda el mundo ha venido experimentando importantes transformaciones a lo largo de su historia, la aparición del ser humano, el descubrimiento de América, el desarrollo de la máquina de vapor y la Internet, son algunos ejemplos; los momentos obviamente han ido mostrando la relación de las distintas sociedades con su medio, pues a cada momento van ligados los espacios, las herramientas y la connotación intrínseca de ellas, lo que a su vez nos lleva a caracterizar una época por la moda, la música o los materiales sobresalientes de ésta. De lo anterior se derivan entonces distinciones para ciertos períodos de tiempo como edad de piedra, edad de bronce o la era de la revolución industrial, entre otros. Esta última, que abarca un período comprendido entre los siglos XVIII y XX, es la etapa en la que la tierra ha vivido las más drásticas transformaciones, sobre todo en lo que tiene que ver con su entorno físico. Nos referimos a los cambios climáticos, a la contaminación del aire por parte de las emisiones resultantes de los procesos de producción industrial, al agotamiento rápido de los recursos no renovables y a los problemas cada vez más críticos ocasionados por los residuos líquidos y sólidos provenientes de las actividades diarias de producción, alimentación, construcción y consumo.

A continuación, se citan algunas de las definiciones realizadas por diferentes autores:

La Construcción Sostenible, que debería ser la construcción del futuro, se puede definir como aquella que, con especial respeto y compromiso con el Medio Ambiente, implica el uso sostenible de la energía. Cabe destacar la importancia del estudio de la aplicación de las energías renovables en la construcción de los edificios, así como una especial atención al impacto

ambiental que ocasiona la aplicación de determinados materiales de construcción y la minimización del consumo de energía que implica la utilización de los edificios. [Casado, 1996].

La Construcción Sostenible se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales causados por los procesos de construcción, uso y derribo de los edificios y por el ambiente urbanizado. [Lanting, 1996].

El término de Construcción Sostenible abarca, no sólo los edificios propiamente dichos, sino que también debe tener en cuenta su entorno y la manera cómo se comportan para formar las ciudades. El desarrollo urbano sostenible deberá tener la intención de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, con recursos, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética, sino también en su función, como un lugar para vivir. [WWF, 1993].

La Construcción Sostenible deberá entenderse como el desarrollo de la Construcción tradicional, pero con una responsabilidad considerable con el Medio Ambiente por todas las partes y participantes. Lo que implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o los prejuicios, y proporcionar un ambiente saludable, tanto en el interior de los edificios como en su entorno. [Kibert, 1994].

Con todas las definiciones anunciadas se puede comprobar que existen diferentes forma de valorar y definir este amplio concepto desde varios matices diferentes, aunque bajo mi punto de vista, ninguna de ellas recoge tan bien y de una forma clara el concepto como la siguiente definición:

- La construcción sostenible es aquella que permite construir y alterar el medio satisfaciendo nuestras necesidades presentes, pero cerrando el ciclo de los recursos con el fin de no desgastarlos y poder ser usados en el futuro de forma reiterativa.

### **3.5.Arquitectura bioclimática como eje de arquitectura sostenible**

La bioclimática es un área de conocimiento de la arquitectura que busca desarrollar estrategias para dar solución a los problemas de comodidad y habitabilidad en la edificación relacionados principalmente con el acondicionamiento climático. En tanto que disciplina, la bioclimática tiene su origen en los estudios sobre las respuestas del metabolismo humano y su percepción frente a factores climáticos como son la temperatura y la humedad, desarrollados en los años 30.

En la década de los 50 los arquitectos Victor y Aladar Olgyay retoman estos estudios para aplicarlos a la arquitectura construyendo un cuerpo metodológico para evaluar el confort en las edificaciones que denominan Arquitectura Bioclimática. Simultáneamente el Arquitecto Baruch Givoni, apoyado en las investigaciones de Olgyay, realiza numerosos estudios en diferentes partes del mundo, principalmente en las zonas tropicales para determinar parámetros de confort térmico en relación con los diferentes elementos de la edificación, como muros, cubierta, ventanas, pisos, sótanos y materiales constructivos.

Posteriormente con la crisis energética y la toma de conciencia en pro de la protección del medio ambiente, la bioclimática adquiere especial relevancia ya que ofrece estrategias de climatización pasiva para aumentar la eficiencia en el manejo del consumo energético de las edificaciones.

En su evolución, la bioclimática ha incorporado otras variables que tienen que ver con el bienestar y la salud del individuo en la edificación, como lo son la iluminación natural, el manejo del ruido y el uso de tecnologías alternativas para la obtención de energía y el manejo de recursos como el agua.

Arquitectura verde, eco-arquitectura y hoy arquitectura ambientalmente consciente, buscan aplicar el aprovechamiento de los recursos naturales, buscando minimizar el impacto ambiental producto de la implantación de los nuevos edificios sobre el medio ambiente y sus pobladores (Díaz, 2009). Es importante reconocer que la arquitectura bioclimática como una vía de alternativa dentro de esquemas para el desarrollo sustentable.

La arquitectura bioclimática va muy arraigada de la sostenibilidad, porque ella buscará según Olgay (1998) minimizar los efectos negativos del clima en el hombre.

Moreno (1991) nos enfoca a tres elementos bases para la arquitectura bioclimática: arquitectura, hombre y clima. La arquitectura que aprovecha la energía del sol, el humano como un organismo que reacciona a las condiciones climáticas y por último el clima como las condiciones atmosféricas y geográficas de un lugar.

La bioclimática determinada por dos variables, el hombre y el clima; el hombre quien busca su propio habitat en busca de su confort, creando una arquitectura inyectando un valor cultural y el clima definidos por una serie de propiedades geográficas y ambientales que están en constante cambio.

Estas condiciones, geográficas y ambientales según Rodríguez, (2002) permite acercarnos a las condiciones particulares de los edificios y verificar si son consecuentes con las necesidades del usuario, aun mas sabiendo que estas condiciones no son homogéneas porque existen diferentes climas: fríos, templados, cálidos y un numeroso de combinaciones, pero que en la actualidad están siendo vulnerables gracias al cambio climático.

Para entender esta vulnerabilidad es necesario hablar de la variabilidad climática que difiere de lo que se conoce como clima. Según el IDEAM (2010), la primera “depende de condiciones atmosféricas extremas que exceden con mucho de lo que conocemos un clima normal”. A su vez no se puede establecer una frontera con el cambio climático ya que están relacionados. “La variabilidad climática natural hoy en día suscita enormes riesgos a los sectores sociales y económicos, debido a la intensidad de los eventos que se han presentado en los últimos años”.

La bioclimática está compuesta por unas bases teóricas deseable para trabajar con y no contra las fuerzas naturales y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida. Por lo tanto, para Olgay el procedimiento de construcción de una casa climáticamente balanceada se divide en cuatro pasos, de los cuales el último es la expresión arquitectónica. La expresión debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas.



## 4. Metodología

### 4.1. Descripción del edificio

El solar se encuentra en el término municipal de les Franqueses del Vallès, el núcleo de población del Corró d'Avall, una zona residencial próxima al ayuntamiento. La parcela tiene forma trapezoidal y una superficie de 5.621,47 m<sup>2</sup>, y linda al norte con la calle Joan Maragall, al este con la calle Sant Joaquim, al oeste con la Carretera de Ribes (Antigua carretera de Barcelona) y al sur otras parcelas ocupadas por viviendas plurifamiliares y una guardería.

El uso del edificio es educativo, se trata de un instituto de 3 líneas de E.S.O. y 2 de bachillerato. El instituto está compuesto por dos volúmenes principales de P.B + 2 P.P escalados para adaptarse a la rasante de la calle, contienen la totalidad de las aulas, secretaría y departamentos. Además, hay cuatro edificios de planta baja que contienen los espacios auxiliares: el gimnasio-sala polivalente, los vestuarios, el comedor-cocina y la biblioteca. La totalidad de techo edificado es de 4.232,10 m<sup>2</sup>. Descripción básica de los subsistemas que componen el edificio:

- Estructura: La estructura está formada por paneles prefabricados autoportantes de hormigón armado, dichos paneles disponen de una ménsula para soportar las placas alveolares del forjado. En los dos edificios principales se combina una estructura metálica con los paneles prefabricados autoportantes.
- Forjados: Placas alveolares de entre 25 y 30 cm. de canto. Se colocará un falso techo fonoabsorbente en las aulas y uno de placas de cartón yeso con acabado vinílico en el resto de espacios.
- Cubiertas: Todas las cubiertas son invertidas no transitables. Están compuestas por una capa de hormigón celular de formación de pendientes de 12'5 cm. de grueso medio, capa de nivelación de mortero, barrera de vapor, lámina impermeable, placa aislante de poliestireno de 6 cm. y enchado de grava de 5 cm de grueso medio.
- Fachadas: El panel prefabricado de 12 cm cumple también la función de cerramiento exterior, se revestirá con una capa de poliuretano proyectado de 5 cm. El revestimiento interior se realizará con dos placas de cartón yeso de 1'25 cm cada una sujeta a una perfilera metálica de 5 cm.
- Separaciones interiores: Doble placa de cartón yeso de 1'25 cm. por cada lado, sujetas a una perfilera metálica de 5 cm. En las zonas húmedas las placas de cartón yeso son hidrófugas.
- Revestimientos interiores: En las aulas arrimadero de tablero DM de 1,3 cm. de espesor hasta una altura de 2,10 m. En los despachos y departamentos la altura máxima es 1 m. Por encima del arrimadero es el cartón yeso pintado. Las zonas húmedas están revestidas con un alicatado de gres.
- Pavimentos: Pavimento continuo autonivelante a base de resinas de 5 cm. En las zonas húmedas como la cocina, vestuarios o baños se colocará un pavimento de gres.



*Ilustración 1. Imagen satélite donde se muestran las calles alrededor del instituto. Fuente: Google Maps.*

Gracias a la vista aérea es posible hacerse una primera idea del emplazamiento y los edificios circundantes. Como dato destacable es la baja altitud de los edificios adyacentes y, que por lo tanto, la repercusión sobre el instituto será mínima, aunque no del todo despreciable. En futuros renders y diseños del diseño 3D realizado para el presente estudio se definirán los elementos que han sido planteados como objeto de análisis.



*Ilustración 2. Render 3D donde se muestra la nomenclatura de los edificios. Software: Sketchup.*

En la *ilustración 2* se puede visualizar la nomenclatura utilizada para el nombramiento y clasificación de todos los distintos edificios del instituto. Cabe destacar, que en el presente documento solo se analizarán los edificios 5 y 6, dado que es donde están situados la totalidad de las aulas y laboratorios.

## 4.2. Estudio de la localización

El primer paso para el posterior análisis y planteamiento de modificaciones, tanto lumínicas como térmicas, es comprender el entorno del edificio y los aspectos climatológicos singulares de la zona. Este primer estudio es de vital importancia, ya que cualquier factor externo a la edificación a analizar puede condicionarla completamente en múltiples aspectos.

#### **4.2.1. Estudio climático**

Dado que no hay estaciones meteorológicas en la urbanización del Corró d'Avall, ni tampoco en el municipio de les Franqueses del Vallès, que se encuentra en las inmediaciones de la urbanización objeto de estudio, se han tomado los datos de la estación meteorológica más cercana, la de Parets del Vallès, que se encuentra a 20 km. Los últimos anuarios meteorológicos publicados por el servicio de información meteorológica de Cataluña son del 2009, así que se tomarán estos para el estudio.

Para transportar la climatología de Parets del Vallès al municipio del estudio se ha consultado el boletín meteorológico del Vallès Oriental del período entre los años 1971 y 2000. Según los datos acumulados en esos años se pueden distinguir tres pequeñas zonas climáticas dentro del Vallès Oriental:

- Llano del Vallès: Clima mediterráneo pre litoral central.
- Macizo del Montseny: Clima mediterráneo pre litoral norte.
- Sur del altiplano del Moianès: Clima mediterráneo continental.

Tanto la urbanización del Corró d'Avall como Parets del Vallès se encuentran en el llano del Vallès, por lo que se pueden aceptar los datos climatológicos de Parets para el municipio estudiado. La zona climática mediterránea pre-litoral central se caracteriza por sus veranos calurosos e inviernos moderados, con una inversión térmica entre el día y la noche importante que se manifiesta en una amplitud térmica importante, especialmente en invierno en el llano del Vallès. Las precipitaciones tienden a ser bajas e irregulares.

Finalmente, desde un punto de vista de arquitectura bioclimática, se puede afirmar que la zona climática es adecuada para la ubicación de este instituto por los siguientes motivos:

- En los meses de verano cuando la temperatura tiende a ser elevada, el interior del centro educativo permanece prácticamente cerrado (vacaciones del alumnado).
- En primavera y otoño, donde se acumula gran parte de los meses lectivos, las temperaturas son suaves.
- La inversión térmica nocturna no es un problema, ya que el edificio es de uso exclusivamente diurno.
- El bajo nivel de precipitaciones permite que el patio se use prácticamente todos los días lectivos.

#### **4.2.2. Estudio del entorno**

El estudio del entorno debe comprender desde las inmediaciones próximas a la edificación hasta un nivel donde se estudie la orografía del terreno de la localidad. Para llevar a cabo este estudio, se definen tres niveles de actuación, que se deben realizar en el siguiente orden:

- I. Estudio de la orografía del municipio y sus alrededores. Tiene como objetivo comprobar que no haya ningún accidente geográfico, río, o elementos que puedan afectar al instituto estudiado.
- II. Estudio del entorno cercano, trata de verificar la localización de algún posible edificio singular en el entorno que pueda afectar al comportamiento térmico o lumínico del instituto.
- III. Estudio del entorno inmediato, esto implica el modelado en 3D de los edificios colindantes y analizar las sombras que arrojan sobre el instituto.

## I. Estudio de la orografía

Para el estudio de las sombras arrojadas por la orografía se ha utilizado el programa Ecotect. A través del Institut Cartogràfic de Catalunya se obtuvo un plano topográfico de la zona a escala 1:5.000. Con las curvas altimétricas se procesó una malla con GoogleSketchUp, esta malla es la que se introduce en el programa Ecotect. Ecotect trabaja triangulando todas las superficies importadas que no son planas, debido a que nuestra malla no es plana, se producen esas incómodas triangulaciones, pero son implícitas del problema, y no se pueden evitar.

En este modelado 3D no se representan ni edificaciones, ríos, carreteras, etc. ya que la escala no lo permite. La ubicación del instituto ha sido localizada con un prisma de color rojo. Se comprobarán las sombras para el solsticio de verano e invierno y para los equinoccios, por ser estas las fechas más representativas. Aun así, se han estudiado episodios intermedios para comprobar realmente la afectación real en todo el año.

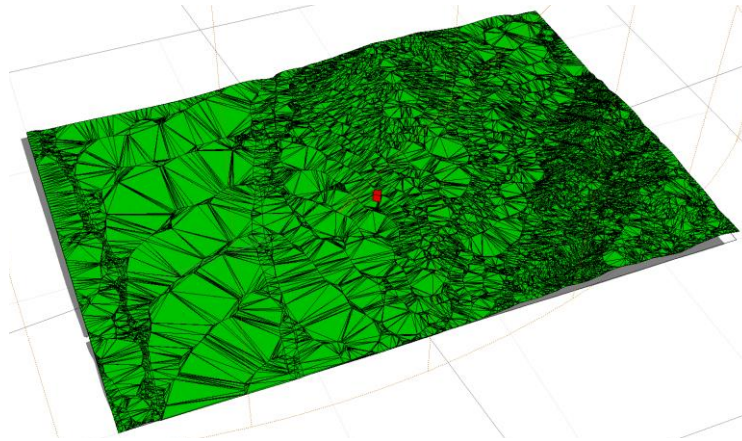


Ilustración 3. Sombras arrojadas sobre la localidad en el solsticio de verano a las 9 h. Software: Ecotect Analysis 2011.

Las sombras arrojadas por la orografía sobre la localidad son nulas desde que amanece hasta que anochece, dado que el único accidente cercano es un pequeño macizo que se encuentra al sudeste, y no tiene la suficiente altitud para arrojar la sombra hasta la localidad en ningún día del año. Al oeste encontramos un llano, por lo que no hay ningún accidente geográfico capaz de arrojar sombra sobre la urbanización.

El relieve suave se puede apreciar mejor en el corte topográfico realizado a partir del plano topográfico.

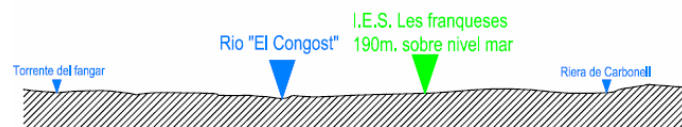


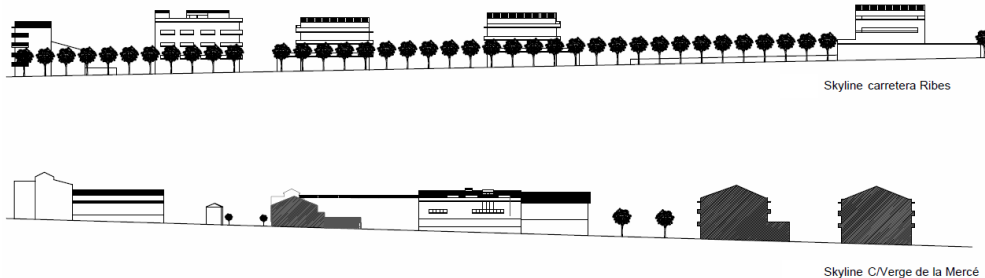
Ilustración 4. Corte topográfico. Software: AutoCAD 2013.

Sobre ríos o grandes masas de agua que puedan afectar al estado climático del entorno se puede afirmar que no hay ninguno, ya que el único cauce de agua es un pequeño río llamado “El Congost” situado al oeste de la urbanización, por el que pasa un caudal de agua minúsculo.

## II. Estudio del entorno cercano

Para el estudio del entorno más cercano y localizar posibles edificios singulares que afecten al comportamiento del instituto resulta de especial utilidad, además del reconocimiento visual de la zona, el uso de un plano catastral, ya que éste marca las alturas reguladoras máximas de cada finca, por lo que además se asegura que en un futuro no se realice una edificación que afecte a las soluciones que se validen en este proyecto.

Además, para facilitar aún más la comprensión del entorno, se han realizado dos skylines de las dos calles principales que delimitan el colegio: la carretera de Ribes y la calle Virgen de la Mercè. Utilizando tanto el plano catastral como los skylines, no se encuentra ninguna edificación singular cercana. Las edificaciones próximas son de uso residencial, y la altura reguladora máxima que encontramos es planta baja + 4, por lo tanto, se puede afirmar que no hay ninguna edificación en los alrededores que altere el comportamiento del instituto, ni actualmente ni en un futuro (Siempre que se mantenga el actual planeamiento urbanístico).



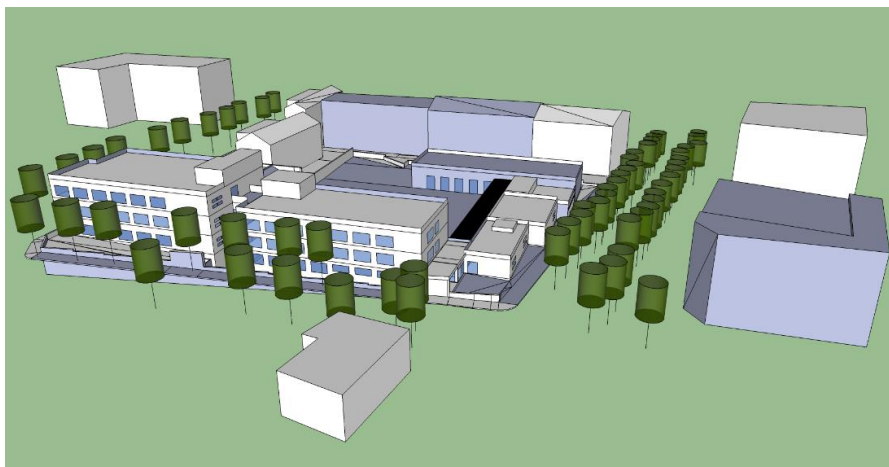
*Ilustración 5. Skyline con corte en sección de los elementos adyacentes al instituto. Cabe destacar que no existen elementos de gran altitud y realmente la única afectación real viene dada por la vegetación de hoja caduca a los alrededores. Software: AutoCAD 2013.*

### III. Estudio del entorno inmediato

El entorno inmediato no se puede valorar cualitativamente como se ha realizado en los primeros pasos del estudio, sino que se ha de implementar en el modelo a estudiar, ya que la cercanía con el instituto hace que afecte al comportamiento del instituto.

En el modelado 3D para Ecotect se ha introducido el entorno inmediato, esto incluye las edificaciones que están en la misma manzana que el instituto y el tramo de las calles que lindan con el colegio: la carretera de Ribes y la calle Verge de la Mercè, junto con los respectivos árboles. Las pocas edificaciones de la calle Verge de la Mercè no se han introducido ya que es imposible que afecten al asoleo ya que están en la cara norte y son viviendas unifamiliares de planta baja más una planta tipo separadas bastantes metros por la calzada y un jardín, por lo que su afectación al cálculo lumínico y térmico será nula.

Hasta que no realicemos el cálculo con Ecotect, no obtendremos valores reales, pero en primera instancia se puede afirmar que sobre todo los árboles afectarán a la entrada de radiación solar, y por tanto, a la entrada de luz natural.



*Ilustración 6. Captura del modelado 3D desde el ángulo noroeste. Se pueden apreciar los árboles y edificaciones colindantes. Software: Sketchup.*

## 4.3. Consideraciones previas

### 4.3.1. La luz

Para poder realizar correctamente el análisis térmico y de la luz natural es fundamental entender el comportamiento del Sol como fuente de energía. Por ello se incluye un pequeño estudio de la radiación solar, haciendo especial énfasis en la luz natural visible.

#### La radiación solar

Podemos definir la radiación solar como la suma de todas las radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, es decir, la suma de la radiación ultravioleta, la luz visible y la radiación infrarroja. Estas tres se diferencian en su longitud de onda ( $\lambda$ ), este factor hace que cada tipo de radiación afecte de forma distinta sobre nuestro planeta, y por tanto sobre el ser humano:

- Radiación ultravioleta: Su longitud de onda está entre 0.15 y 0.4 micras y supone un 7% aproximadamente de la radiación solar. Es la más dañina para la salud, dado que transporta gran cantidad de energía. Gran parte es filtrada por la atmósfera (Que filtra todas las longitudes de onda menores a 0.29 micras), librándonos así del sector más dañino de la radiación ultravioleta. No es visible por el ojo humano.
- Luz natural visible: Su longitud de onda se encuentra entre 0.4 y 0.74 micras y supone un 47% aproximadamente de la radiación solar. Es de suma importancia para los seres vivos. Es la única visible por el ojo humano.
- Radiación infrarroja: Su longitud de onda se encuentra entre 0.74 y 4 micras y supone un 46% aproximadamente de la radiación solar. No es visible por el ojo humano. Dado el comportamiento físico de las moléculas (Principalmente el hecho de que para su vibración se requiere una longitud de onda mínima de 1 micra, y la vibración de una molécula se traduce en aumento de temperatura), la radiación infrarroja aumenta la temperatura de las moléculas sobre las que impacta.

Estas son los tres tipos de radiación emitidos por el Sol, pero en ningún caso llegan en su totalidad a la superficie terrestre, ya que gran parte queda en el camino en forma de reflexiones o absorciones. Concretamente, un 19% es absorbido por la atmósfera, nubes y el ozono, y un 34% es reflejado de nuevo hacia el espacio exterior, principalmente por las nubes. Si realizamos la diferencia, obtenemos un valor del 47%, que es la radiación recibida finalmente por la Tierra. Este 47% puede llegar de manera directa, reflejada o difusa:

- Directa: Aquella radiación que llega a la Tierra según la dirección del Sol, sin desviarse.
- Reflejada: como su propio nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo.
- Difusa: Aquella radiación que llega desde todas direcciones. Esto es debido a que la trayectoria original se ha visto modificada por reflexiones en las nubes, partículas en suspensión o cualquier otro elemento con el que haya podido chocar. Debido a este fenómeno, en un día nublado solo recibimos radiación difusa/reflejada y no directa.

#### Luz natural visible

El uso de la luz natural diurna conlleva múltiples ventajas, tanto medioambientales y energéticas, lo que conlleva un posterior ahorro económico, además de una mayor confortabilidad para los usuarios que ocupan dichos espacios. Las principales ventajas del uso de luz natural diurna son:

- Es totalmente sostenible, ya que proviene de una fuente de energía renovable como es el Sol, esto hace que sus costes y residuos de producción sean nulos.
- Conlleva un importante ahorro de energía, siempre que su uso sea el correcto, lo que conlleva un importante beneficio medioambiental.
- El uso de iluminación natural no va ligado a una reducción de la calidad de dicha iluminación, sino todo lo contrario, cuando su uso es correcto suele ser superior. El globo ocular humano está preparado y diseñado para la luz natural, así que se adapta mucho mejor a esta que a la luz artificial, provocando una menor fatiga visual.
- Favorece las necesidades biológicas y psicológicas del ser humano.
- La relación lúmen/watio de calor es mayor en muchos casos para la luz natural, es decir, que un lúmen de luz natural introduce menos calor a la estancia que muchos tipos de iluminación eléctrica, especialmente los tradicionales, como los tubos fluorescentes.

Es de gran importancia destacar que todas estas ventajas pueden ser inútiles si no se realizan las aberturas como es debido. Esto significa garantizar la calidad de la iluminación suprimiendo los deslumbramientos y las sombras sobre el plano de trabajo, y gestionar la entrada de radiación solar directa según el comportamiento térmico de cada zona.

La unidad de medida de la luz natural es la misma que en la iluminación eléctrica, el lúmen o en su defecto el lux. Esta unidad resulta un poco incómoda a la hora de trabajar el concepto de forma de la ventana antes mencionado, es en este momento cuando aparece el concepto de FLD o factor de luz diurna (También denominado CLD o coeficiente de luz diurna).

Como su nombre indica es un factor, así que no se trata exactamente de una unidad de medida, sino de un tanto por ciento. Concretamente mide el % de bóveda celeste que vemos desde la posición en la que estamos (A efectos de cálculo, el plano de trabajo). También podemos definirlo como la relación de la iluminancia (Lux) de un punto del plano de trabajo entre la iluminancia de un punto en el exterior sin obstrucción que se encuentre en la misma vertical, es decir, la iluminancia del cielo, multiplicado por 100 para expresarlo en %.

Los principales aspectos a tener en cuenta para optimizar la iluminación natural de una abertura, es decir, el FLD de un espacio son:

- La forma y ubicación del edificio. Maximizar el uso de las fachadas que no reciben radiación directa (Norte), ya que así se evitan deslumbramientos y sombras sobre el plano de trabajo, ya que toda la luz natural visible penetra de forma difusa y reflejada.
- Nunca perder de vista la relación entre aumento o disminución de las aberturas provoca una variación en el comportamiento térmico, debido al aumento o disminución de ganancia térmica por radiación solar.
- Estudio previo del entorno y su obstrucción a la iluminación natural.
- Simplificar los perfiles y marcos de las ventanas y mantener los cristales limpios para maximizar la entrada de iluminación natural.
- Priorizar la distribución uniforme de FLD en todo el espacio por delante de conseguir máximos en puntos concretos del plano de estudio.
- Evitar deslumbramientos, claroscuros y áreas sombreadas.

### Autonomía

Utilizando el factor de la luz diurna, es posible calcular el nivel de iluminancia en cualquier momento del día y en cualquier día del año. Por lo tanto, es posible determinar con qué frecuencia cada punto estará por encima de un cierto valor. Esto se conoce como la autonomía lumínica y se da como el porcentaje de tiempo durante todo el año en el que cada punto no tendrá ninguna luz

adicional para mantener el nivel seleccionado de lúmenes. La iluminación del cielo en cualquier momento se calcula utilizando la fórmula cielo difuso propuesto en el siguiente apartado.

Obviamente, es un índice que permite calcular numéricamente los resultados de mejora y optimización, y permite fácilmente obtener valores de ahorro directo, pero es importante remarcar que todo el plano de trabajo no tiene el comportamiento real en un aula, ya que en una malla de cálculo existen muchísimos puntos donde se calcula el FLD y la autonomía, pero por ende, en el techo no podemos colocar los mismos puntos lumínicos, con lo que no pretende a ser un valor totalmente exacto, pero sí aproximado.

Por lo tanto, se ha de remarcar la importancia del posicionamiento de los puntos de luz y de la cantidad. En el proyecto original está bastante bien planteado este hecho, ya que todas las aulas poseen tres zonas independientes con luces a lo largo, con lo que el valor de autonomía podrá acercarse en gran medida a la realidad. Aun así, en este punto el factor humano y de uso juega un papel fundamental.

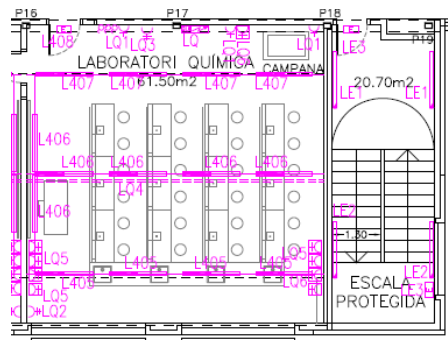


Ilustración 7. Plano de planta del proyecto original donde aparecen los puntos de luz en un laboratorio. Sirve como base lumínica para el resto de zonas de análisis. Destacar las tres zonas lumínicas indicadas. Fuente: Planos memoria proyecto.

#### 4.3.2. Bases de cálculo lumínico

Para el cálculo lumínico se han establecido unos criterios a seguir, tanto propios del programa de cálculo como del proyecto original.

Para calcular la iluminación natural, el programa puede hacerlo de dos modos, uno es calcular sobre unos puntos aislados designados por el usuario y el otro es sobre un entramado de puntos de una malla previamente dibujada. En este estudio se escogió calcular sobre una malla en 2D de 500 x 500 mm a 50 mm de la pared, colocada a una altura del suelo que varía según el uso de cada zona. Además de aportar más información, una vez realizado el cálculo, la malla permite ver como interaccionan los puntos entre ellos, obteniendo unas curvas de FLD o luxes uniendo los puntos que tienen el mismo valor.

La precisión de cálculo del programa también puede ser ajustada en cinco niveles. Aumentar la precisión de cálculo significa aumentar los rayos esféricos alrededor de cada punto de la malla. Estos rayos esféricos se refieren al mecanismo de cálculo del programa para la iluminación natural, que consiste en trazar rayos imaginarios alrededor de cada punto y calcular en cada una de estas direcciones la cantidad de bóveda celeste y lux.

Relación de bases de cálculo del programa:

- Cálculo sobre malla de 500x500 mm a 50 mm de la pared.
- Precisión de cálculo con 4.096 rayos esféricos por punto.
- Iluminancia del cielo 6.000 lx. y cielo con nubes. En este punto Ecotect da un valor crítico de iluminación en base a la latitud
- Coeficiente de minoración por suciedad en ventanas del 0,9.



Otros aspectos que afectan al estudio de iluminación natural están relacionados con el proyecto original del instituto. Estos aspectos se representan en el modelado en 3D y la elección de materiales.

En primera instancia se escogió modelar con el ancho de las paredes y fachadas, para así tener en cuenta cómo afectaban los dinteles y jambas a la iluminación natural de los espacios. Esta afectación resulta mínima, además el programa complica mucho el cálculo, interpretando mal el modelo y obteniendo resultados erróneos cuando se introduce el grosor real. Por ello se decidió realizar un modelo plano (sin gruesos de cerramientos), introduciendo el grosor de los elementos constructivos con el editor de materiales de cada plano, pero obviando la profundidad de antepechos, jambas, dinteles y de la propia carpintería.

Otro aspecto a destacar del modelo en 3D fue la inclusión de los edificios y árboles del entorno inmediato para tener en cuenta cómo estos afectan a la entrada de luz natural diurna, aunque los árboles puedan perder la hoja en otoño, a efectos de cálculo se han mantenido por ser esta la situación más crítica.

Como se ha especificado en la descripción del edificio, en la mayoría de acabados verticales se utiliza un arrimadero de tablero DM hasta una altura de 2,1 m. o 1 m. dependiendo del espacio. Este arrimadero no es del mismo color blanco que la pintura del resto del acabado, sino que es de colores vivos, naranja en el gimnasio y verde intenso en el resto de espacios. Esta variación cromática hace que los coeficientes de reflexión de la luz varíen dependiendo de cada acabado, por ello para obtener resultados más precisos en las zonas donde se usa arrimadero se asignó un material hasta la altura del arrimadero y otro sin éste para el resto de altura, aunque esto signifique dificultar el modelado en 3D y la asignación de materiales.

Las lamas de las fachadas sur de los edificios 5 y 6 no se han introducido en el cálculo, ya que en el proyecto original son un sistema de persiana de lamas horizontales sin ningún tipo de diseño específico como medida de protección solar, pero como se analiza más adelante son realmente necesarias y recomendables. Por lo tanto, se ha intentado realizar un estudio de la iluminación natural que aportan las ventanas únicamente con su geometría original frente a su solución optimizada, y las lamas se han considerado finalmente como un elemento externo que afecta a los resultados cualitativos del análisis.

A continuación, se presenta cual es la relación de bases de cálculo asociadas al modelo original:

- Modelado en 3D sin grosor de las paredes.
- Inclusión de los árboles y edificaciones colindantes en el modelo 3D.
- Creación de la biblioteca de materiales y asignación de los mismos teniendo en cuenta el color y tipo de acabado, ya que este influye en los resultados del análisis lumínico.
- No inclusión de las lamas de las fachadas sur en los edificios 5 y 6 para calcular sobre las ventanas en su estado original.

G.I.S.A. establece unos valores mínimos de iluminación para sus institutos dependiendo del uso de cada zona, estos se relacionan a continuación.

<i>Tipo de espacio</i>	<i>Luxes mínimos</i>
<i>Aulas y espacios docentes</i>	300
<i>Aula de dibujo</i>	750 (pizarra 300)
<i>Laboratorios</i>	500 (pizarra 300)
<i>Aula informática</i>	300

*Tabla 1. Tabla de zonas e iluminancias mínimas. Elaboración propia.*

Finalmente, para las fichas del estudio lumínico (*Véase Anexo 9.1*), el FLD mínimo necesario en cada espacio se ha obtenido realizando la relación entre la iluminancia necesaria (lx) y la iluminancia de la bóveda celeste. (6000 lx, la iluminancia más crítica del cielo).

#### **4.3.3. Bases de cálculo térmico**

El primer paso para realizar el estudio térmico actual fue analizar y reformular el programa operacional del instituto. En el original se simplificó poniendo un uso de 8 a 20 horas en todas las zonas, independientemente de su uso durante el año, algo irreal tratándose el edificio de un instituto. El nuevo programa operacional contempla diferentes horarios según la tipología del espacio (*Véase anexo 9.3*).

También se ha creado un calendario que contempla los horarios específicos para cada tipología de espacio. Este calendario contempla los festivos locales, nacionales, fines de semana y el resto de períodos no lectivos (Durante el mes de julio se ha programado por las mañanas un uso parcial del instituto a modo de casal de verano). (*Véase anexo 9.4*).

Para representar correctamente el comportamiento de los árboles caducifolios del entorno se ha realizado un calendario auxiliar que simula el árbol con y sin follaje.

El siguiente paso para el cálculo térmico es la realización de un modelo en 3D específico, ya que el realizado para el cálculo lumínico es demasiado complejo, lo que hace que el cálculo de las relaciones entre las diferentes zonas térmicas resulte mucho más complejo, generando muchos errores y resultados no fiables. En el modelo específico para cálculo térmico se han agrupado las zonas con comportamiento similar y se ha actualizado la asignación de materiales (La asignación de materiales se tratará específicamente en el siguiente apartado).

En el nuevo modelo térmico se han ajustado diferentes parámetros de en cada zona, que influirán a la posterior carga térmica y confort de los espacios. La siguiente relación muestra los parámetros comunes a todas las zonas:

- Ropa: Se ha mantenido el coeficiente de minoración de confort igual 1 estándar en todas las zonas excepto en los vestuarios, donde se ha fijado en 0,2.
- Ganancias internas: Se ha mantenido el aporte por ganancias internas de pequeña maquinaria predefinido de 7 W/m<sup>2</sup> exceptuando en la sala de informática donde se ha elevado a 9 W/m<sup>2</sup>.
- Humedad: Se ha modificado el parámetro estándar de Ecotect del 60% al 66% de media anual que encontramos en el boletín meteorológico del municipio más cercano.
- Climatización: Aunque en el proyecto original las zonas estaban climatizadas, para el análisis térmico solo se ha considerado la ventilación natural, para así analizar el estado actual sin ningún tipo de elemento externo.
- Rango de confort: Se ha mantenido el original de entre 18°C y 26°C.

El resto de parámetros que afectan al cálculo térmico varían entre cada zona, en la tabla de zonificación y parámetros (*Véase anexo 9.4*).

#### **4.3.4. Creación y asignación de materiales en Ecotect**

Debido a que el banco de materiales de Ecotect no es muy completo, ha sido necesario crear la totalidad de los materiales que se han utilizado tanto en el estudio de iluminación natural como en el de comportamiento térmico.

La creación de materiales en Ecotect se ha realizado superponiendo y asignando el grueso de las diferentes capas de cada elemento (Cerramientos exteriores, particiones interiores, etc). La

base de datos de capas predefinida de Ecotect ha sido más que suficiente para creación de todos los materiales. Una vez definidas las capas de cada material, Ecotect tiene una herramienta para calcular los parámetros característicos de cada material. Además, se ha utilizado la herramienta “Ecomat”, una aplicación de cálculo de coeficientes característicos de los materiales, orientado a un uso combinado con Ecotect. Este programa realiza cálculos más precisos ya que tiene en cuenta las resistencias superficiales de los materiales y permite calcular coeficientes que Ecotect no calcula.

Un parámetro introducido a destacar es el color del acabado de los materiales. Esto influye para el cálculo térmico y para el análisis de iluminación natural. Los diferentes coeficientes de reflexión de cada color hacen variar la radiación absorbida y reflejada, por ello se documentó el color de cada acabado exterior e interior para realizar un análisis lo más real posible.

Dado que se ha creado un modelo específico para cada análisis, la asignación de materiales ha sido distinta para cada uno de ellos:

- Modelo de análisis iluminación natural: Como se ha mencionado anteriormente, el proyecto original cuenta con un arrimadero hasta un 1 m. de altura o 2,10 m. dependiendo de cada espacio. Dado que el acabado del arrimadero es de un color vivo, mientras que el resto de acabados interiores son de color blanco, ha sido necesario dividir en dos tramos todas las paredes con arrimadero. Esto también ocurre en la asignación de otros materiales menos frecuentes, como son los alicatados.
- Modelo de análisis térmico: Además de simplificar la zonificación como se ha mostrado anteriormente, se ha simplificado la asignación de materiales. Para ello en los planos donde había arrimadero hasta 1 m. de altura se ha asignado el material sin arrimadero, y en los planos donde había arrimadero hasta 2'10 m. se ha asignado el material con arrimadero. Asignando un único material al plano, se evitan los posibles errores que se generan con las zonas contiguas al partir el plano en dos y realizar el cálculo de interzonas, necesario para el análisis térmico. Esta simplificación en la asignación de materiales no afecta mucho a los resultados del cálculo, ya que dependiendo de la altura del arrimadero en cada zona si ha escogido una solución u otra para aproximar al máximo a la situación real.

En el anexo 9.6 se muestran unas tablas con los parámetros característicos y las capas de todos los materiales utilizados en ambos modelos (entre paréntesis se indica la nomenclatura de cada material en la biblioteca creada en Ecotect).

## 5. Desarrollo y análisis de resultados

Para mostrar los resultados de ambos análisis de manera conjunta y ver la interacción entre los dos, se han realizado unas fichas que muestran los resultados del cálculo de iluminación natural y comportamiento térmico de cada zona a la vez.

Para el cálculo térmico se han agrupado espacios de comportamiento térmico similar, mientras que en el modelo lumínico cada espacio ha sido tratado como una zona individual. Para realizar las fichas lo más simple y homogéneas posible, se agruparán los espacios lumínicos de la misma forma que en el cálculo térmico siempre que sea posible.

Contenido de cada ficha de análisis:

- Espacios contenidos en la zona estudiada
- Materiales contenidos en la zona estudiada
- Necesidades teóricas previas
- Resultados del cálculo de iluminación natural
- Resultados del cálculo térmico
- Interpretación de datos

### 5.1. Diseño de protecciones solares

Tal y como se muestra en las fichas de análisis, las lamas planteadas en el proyecto original para los edificios 5 y 6 en las fachadas orientadas a sur son imprescindibles para evitar los inconvenientes lumínicos de la radiación directa, principalmente los deslumbramientos y sombras arrojadas. En el proyecto original se habían planteado unas persianas de lamas horizontales orientables manualmente de 0,10 m de ancho, separadas entre ellas 0,10 m.

Con el objetivo de minimizar la pérdida de FLD que provocan las lamas, se ha realizado un estudio con el objetivo de optimizar el comportamiento de las mismas.

El primer paso ha sido calcular la altura solar crítica en este caso, que será la mínima, ya que la superficie a proteger se trata de una fachada, es decir, un paramento vertical. La mínima altura solar se da en el solsticio de invierno, que en el hemisferio norte ocurre en el día 21 de diciembre.

#### 5.1.1. Cálculo del ángulo solar mínimo

$$\sin(h) = \sin(Lat) * \sin(\delta) + \sin(Lat) * \cos(\delta) * \cos(Long)$$

Siendo:

- *h*: Ángulo solar incógnita
- *Lat*: Latitud (41,6°)
- *Long*: Longitud (2,3°)
- *δ*: Declinación solar (Para el solsticio de invierno - 23,27°)

Obtenemos de la expresión anterior que  $h = 20,31^\circ$ . Se ha de tener en cuenta, que el ángulo solar varía a lo largo de los meses del año, por lo tanto, la inclinación de las lamas no puede ser constante, por ello, se ha calculado el desarrollo del ángulo solar para crear un programa anual de inclinación de las lamas.

### 5.1.2. Cálculo de la variación mensual

Para calcular la altura solar en cada mes del año se ha seguido el procedimiento anterior. Se han obtenido los valores que se muestran en la tabla.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Declinacion (°)	-15,8	-7,9	0	7,9	15,8	23,71	15,8	7,9	0	-7,9	-15,8	-23,71
<b>Áng. Solar (°)</b>	<b>27,23</b>	<b>30,85</b>	<b>41,56</b>	<b>44,05</b>	<b>55</b>	<b>71,75</b>	<b>55</b>	<b>44,05</b>	<b>41,56</b>	<b>30,85</b>	<b>27,23</b>	<b>20,31</b>

Tabla 2. Tabla del desarrollo mensual del ángulo solar.

El ángulo óptimo de las lamas para evitar la totalidad de la radiación solar directa coincide con el ángulo solar de cada mes. El ángulo de las lamas es el ángulo solar colocado respecto a la vertical.

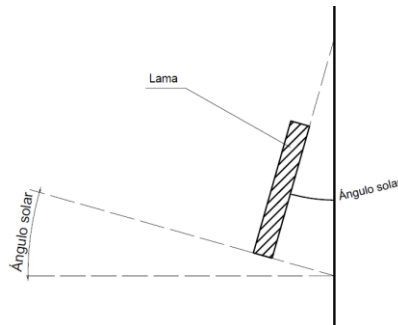


Ilustración 8. Gráfico que muestra el ángulo solar y como se relaciona con las lamas.

El modelo de lama escogido es la lama horizontal orientable fotovoltaica SUNEAL del grupo HYDRO, de 0,33 m de ancho separadas 0,35 m. Dichas lamas contienen células fotovoltaicas monocristalinas y perforadas de silicio que permiten producir energía eléctrica, separadas entre ellas 3 mm para evitar filtraciones de radiación directa que reduzca la calidad de la iluminación interior. Se ha escogido este tipo de solución ya que permite producir energía eléctrica a la vez que evita los problemas que genera la radiación directa en la iluminación de los espacios orientados hacia la fachada sur.

Este tipo de sistemas conllevan una elevada inversión técnica, además de un coste económico asociado mayor. Por ello se ha realizado un cálculo aproximado de la producción de electricidad, para así valorar su rentabilidad.

### 5.1.3. Cálculo de la energía producida:

$$P = \eta * H * A$$

Siendo:

- *P*: Potencia producida
- *η*: Rendimiento según fabricante (12% - 14%)
- *H*: Irradiancia (Según C.T.E. el instituto se encuentra en la zona 2, donde la irradiancia tiene un valor entre 3,8 y 4,2 kW/m<sup>2</sup>-día. Se ha considerado el valor de 3,8 por ser este menor)
- *A*: Área cubierta con células fotovoltaicas (En el edificio 5: 65,46 m<sup>2</sup> y en el edificio 6: 117,61 m<sup>2</sup>, se obtiene por tanto 183,07 m<sup>2</sup> de células fotovoltaicas)

Obtenemos de la expresión anterior que P = 95,20 kW·h/día.

Se puede afirmar que la colocación de lamas fotovoltaicas resulta rentable ya que se consigue producir una considerable cantidad de energía a través de una fuente renovable, además las emisiones de CO<sub>2</sub> solo aparecen durante la fase de fabricación y colocación de las células fotovoltaicas. La viabilidad económica está garantizada, ya que el fabricante asegura su amortización para 20 años, y los colegios e infraestructuras similares de la *Generalitat de Catalunya* están previstos para un uso de 50 años.

Se ha de tener en cuenta que el uso de este sistema conlleva la previsión de unos espacios y equipamientos auxiliares para su correcto funcionamiento. Para garantizar la protección del interior frente a la radiación directa y obtener la máxima producción eléctrica las lamas deberán ser orientadas mediante un sistema automatizado, que la misma casa comercial suministra.

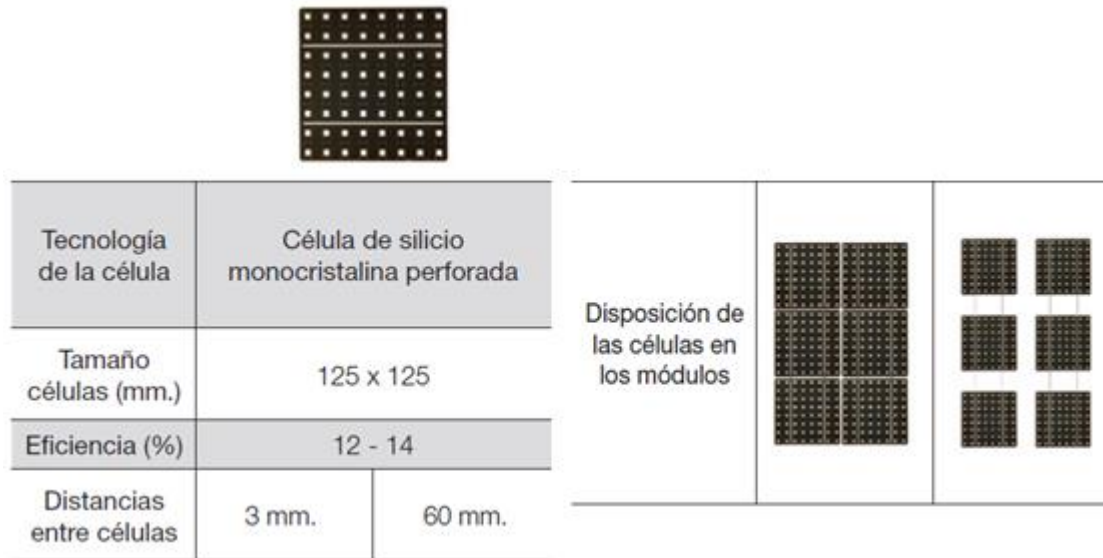


Ilustración 9. Ficha del fabricante de la lama orientable fotovoltaica escogida.

De cara a los futuros cálculos del proyecto, se ha considerado en los modelos lumínicos y térmicos que las lamas están en la posición intermedia de 41,56°, por ser esta la que se considera más estándar. En verano, al ser la posición de las lamas más horizontal, el FLD será sensiblemente mayor, mientras que en invierno ocurrirá lo contrario.

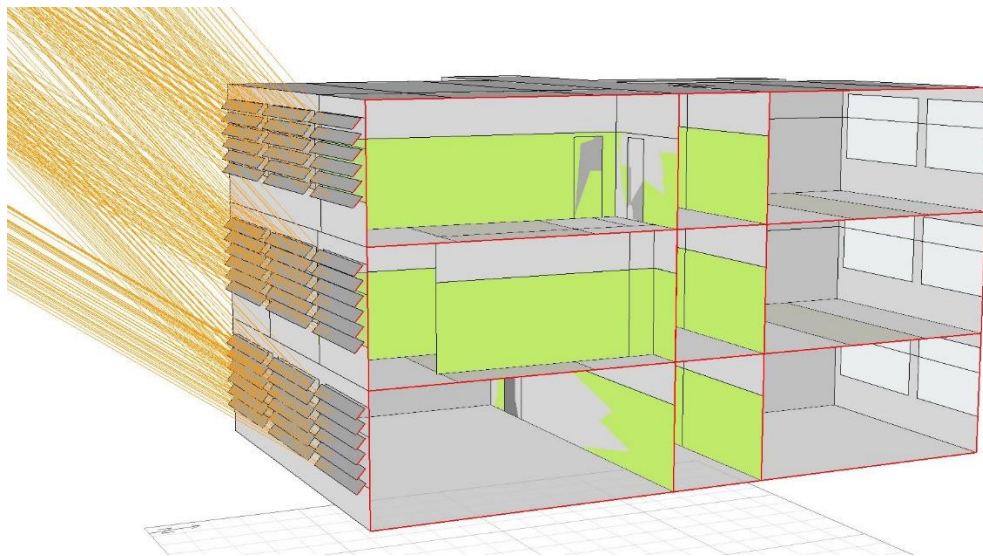


Ilustración 10. Sección del edificio 6 donde se muestran las lamas con la inclinación estándar considerada de 41,56° y la radiación directa en los equinoccios. Nótese en la imagen que no penetra radiación directa y que las lamas están perpendiculares al rayo incidente.

## 5.2. Estado actual

### 5.2.1. Estudio lumínico

Los edificios 5 y 6 se contienen la totalidad de las aulas, despachos y laboratorios. La demanda lumínica varía entre 300 lx para las aulas y 500 lx. Excepcionalmente, el aula de dibujo requiere 750 lx. El FLD actual está bien planteado, consiguiéndose elevadas iluminancias. (*Véase anexo 9.1*)

Por lo que respecta al FLD, se puede destacar que es constante, pero la iluminancia que generan las aberturas mediante éste depende de la iluminancia del cielo en cada momento. Por ello, en el momento de plantear las modificaciones se ha de tener en cuenta la autonomía lumínica de la luz natural diurna en el horario de uso de cada zona, ya que la iluminancia del cielo aumenta o disminuye según la hora del día y estado del cielo.

Es necesario el uso de protecciones solares en todas las aberturas de la fachada sur ya que si no se protegen se producen sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y deslumbramientos producidos por los rayos directos que pueden incidir.

Hay espacios que requieren un elevado nivel de iluminancia como se ha comentado anteriormente. Este valor es prácticamente imposible de alcanzar en toda la superficie exclusivamente con luz natural diurna durante todo el año y, por lo tanto, se requiere el uso de luz artificial.

En el proyecto original se planteó un verde lima para el arrimadero y color blanco para el resto de superficies. En este caso, los colores escogidos para los acabados interiores son idóneos para aprovechar la iluminación natural debido a que su coeficiente de reflexión es muy elevado y permiten segundas reflexiones dentro de las aulas.

Se considera que, en la mayoría de los espacios, se pueden optimizar las aberturas y su geometría para mejorar la distribución del FLD, dado que no penetra en la profundidad de los espacios con suficiente intensidad y, además, en todo el aula se encuentran grandes ventanales, por lo que la luz penetra hacia el interior de la zona, pero se producen claros oscuros entre los bulbos lumínicos de cada uno de estos ventanales.

Hay un elevado % de vidrio desaprovechado por debajo del plano de trabajo correspondiente a los 80 cm de la altura de la mesa o pupitre debido a que la parte inferior de las ventanas se encuentra ubicada bajo el plano de trabajo. Esto hace que el aporte lumínico de los 50 cm. de la parte inferior de las ventanas esté totalmente desaprovechado. Por lo tanto, los grandes ventanales de los edificios 5 y 6 pueden ser optimizados para, como se ha comentado anteriormente, suprimir los claros oscuros y aprovechar el aporte lumínico de la totalidad de la superficie acristalada.

La orientación mayoritaria de las aulas es a norte, con lo que se consigue una iluminación más constante a lo largo del día, evitando la radiación solar directa en casi la totalidad del año, además, de sombras indeseadas.

Finalmente, se ha considerado que el factor solar de 0,75 del vidrio original es idóneo para sus condiciones de aplicación en este estudio, y es óptimo para tener un equilibrio entre radiación y luminosidad. Aun así, se podría llegar a valorar la posibilidad de colocar vidrios con protección solar en fachada sur como posible opción.

#### 1) Edificio 5 y 6: Aulas fachada norte

Dado que el uso y configuración de los espacios enumerados son prácticamente idénticos, así como el comportamiento térmico individual obtenido de estudio original, se han agrupado y planteado las modificaciones utilizando un único espacio como base para el resto. Se presenta el aula E.S.O. 5 como base para el planteamiento de las modificaciones. Este grupo contiene los espacios siguientes:

- Planta 1 edificio 5: Aula plástica y aula de música.
- Planta 2 edificio 5: Aulas E.S.O. 1, 2 y 3 y aula complementaria.
- Planta 2 edificio 6: Aulas E.S.O. 4, 5 y 6.
- Planta 3 edificio 5: Aulas Bachillerato 1, 2, 3 y 4.
- Planta 3 edificio 6: Aulas E.S.O. 7, 8 y 9.
- Planta 4 edificio 6: Aulas E.S.O. 10, 11 y 12.

La demanda lumínica para las zonas con uso de aula es de 300 lx. Esta demanda no se satisface en toda la superficie del aula E.S.O. 5.

La orientación del aulario del edificio 5 hacia la fachada norte supone una ventaja de cara a obtener una iluminación de calidad, ya que se evitan los deslumbramientos y sombras arrojadas sin ningún tipo de protección solar ya que toda la radiación que penetra es difusa.

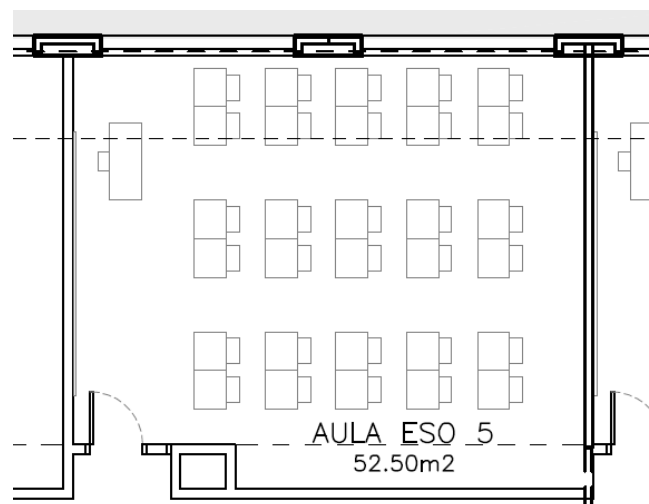


Ilustración 11. Planta del aula E.S.O. 5. Fachada norte. Fuente: Planos memoria proyecto.

Las aberturas diseñadas en el proyecto original consisten en dos ventanas de 3 x 1,80 m ubicadas a 0,40 m del pavimento. El principal problema detectado corresponde a que una parte de la superficie se encuentra bajo el plano de trabajo, por lo que el aporte lumínico de esta franja es nulo. Además, al estar colocadas tan cerca del pavimento, la penetración del FLD es mucho menor que si se colocan más cercanas al forjado superior.

## 2) Edificio 6: Aulas y laboratorios fachada sur

Este grupo contiene los espacios siguientes:

- Planta 2: Aula de dibujo y aula taller.
- Planta 3: Aula informática y aula de tecnología.
- Planta 4: Laboratorios de ciencias, biología y química.

Es importante destacar, que el uso y configuración de los espacios enumerados son prácticamente idénticos, además del comportamiento térmico individual de cada espacio obtenido en el estudio original, por lo que se pueden agrupar y plantear las modificaciones utilizando un espacio como base práctica para el resto.



En la optimización de iluminación natural se realizará un estudio distinto entre el aula de dibujo y el espacio base, es decir, el aula de tecnología que representa al resto de espacios. Esto es debido a que la demanda lumínica del aula de dibujo es de 750 lx, mientras que en el resto de talleres y laboratorios es de 500 lx.

### Aula de tecnología (Talleres y laboratorios)

La demanda lumínica para los talleres y laboratorios es de 500 lx. Esta demanda no se satisface en toda la superficie con las aberturas actuales.

La orientación de los talleres y laboratorios hacia la fachada sur supone un problema de cara a obtener una iluminación de calidad, ya que en esta orientación la radiación directa produce deslumbramientos y sombras arrojadas sobre el plano de trabajo. Por este motivo se ha planteado desde un principio la colocación de protectores solares como se hizo en el proyecto original. La protección escogida son lamas solares fotovoltaicas orientables de 0,33 m de ancho descritas en el apartado 2.5.7., separadas entre ellas 0,35 m y ubicadas en todas las aberturas.

Las aberturas planteadas en el proyecto original consisten en cuatro ventanas de 3 x 1,80 m ubicadas a 0,40 m del pavimento. El principal problema de estas aberturas consiste en que una parte de la superficie se encuentra bajo el plano de trabajo, por lo que el aporte lumínico de esta franja es nulo. Además, al estar colocadas tan cerca del pavimento, la penetración del FLD es mucho menor que si se colocan más cercanas al forjado superior.

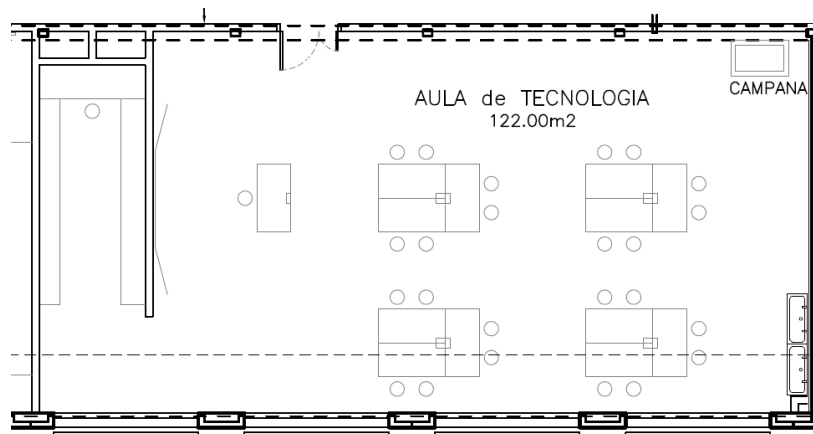


Ilustración 12. Planta del aula de tecnología. Fuente: Planos memoria proyecto.

### Aula de dibujo

La demanda lumínica para los talleres y laboratorios es de 750 lx. Esta demanda no se satisface en toda la superficie con las aberturas actuales.

La orientación del aula de dibujo hacia la fachada sur supone un problema de cara a obtener una iluminación de calidad, ya que en esta orientación la radiación directa produce deslumbramientos y sombras arrojadas sobre el plano de trabajo. Por este motivo se ha planteado desde un principio la colocación de protectores solares como se hizo en el proyecto original. La protección escogida son lamas solares fotovoltaicas orientables de 0,33 m de ancho descritas en el apartado 2.5.7., separadas entre ellas 0,35 m y ubicadas en todas las aberturas.

Las aberturas planteadas en el proyecto original consisten en tres ventanas de 3 x 1,80 m ubicadas a 0,40 m del pavimento. El principal problema de estas aberturas consiste en que una parte de la superficie se encuentra bajo el plano de trabajo, por lo que el aporte lumínico de esta franja es nulo. Además, al estar colocadas tan cerca del pavimento, la penetración del FLD es mucho menor que si se colocan más cercanas al forjado superior.

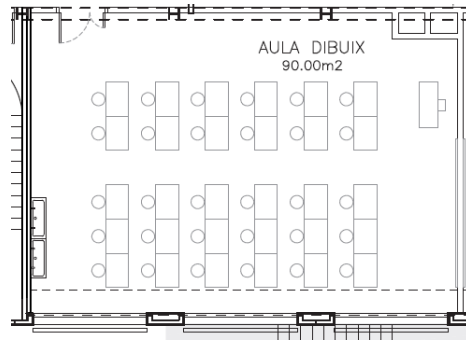


Ilustración 13. Planta del aula de dibujo. Fuente: Planos memoria proyecto.

### 5.2.2. Estudio térmico

En la totalidad de las aulas y talleres, tanto del edificio 5 como del edificio 6, la disconformidad térmica está producida por exceso de temperatura. La principal causa de la disconformidad térmica son las elevadas cargas internas. Como era de esperar, se ha podido comprobar que la ganancia por radiación solar en los despachos orientados hacia el sur es mayor que en los despachos orientados hacia norte. Aunque varía dependiendo de las aulas, las pérdidas por conducción suelen ser elevadas.

Durante los meses fríos, en las fachadas orientadas a sur se alcanzan algunos picos que son suficientes, pero el aporte no es continuo, lo que provoca algunas horas de disconformidad por frío.

El aporte por radiación solar indirecta o Sol-Air, es prácticamente nulo en la globalidad del instituto. Esto es debido al alto coeficiente de reflexión de los acabados de la envolvente existente.

En los edificios 5 y 6, por norma general el calor fluctúa hacia el centro del edificio, es decir, hacia el pasillo. Eso significa que las aulas, con un exceso de temperatura, ceden calor hacia los pasillos y el resto de espacios. Esto explica, las ganancias por inter-zonas de los pasillos y despachos.

Sobre el comportamiento térmico de los materiales, cabe destacar que tanto las fachadas como las cubiertas existentes funcionan muy bien térmicamente. Este correcto funcionamiento es debido a que tienen un comportamiento muy equilibrado, es decir, una baja transmitancia que reduce las pérdidas por conducción y una inercia térmica moderada que mejora la adaptación a los cambios de temperatura diarios.

El comportamiento térmico específico de los cristales no es el adecuado, ya que algunas de las soluciones tienen una transmitancia de  $3,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ . Esto aumenta notablemente las pérdidas por conducción del subsistema.

#### 1) Edificio 5 y 6: Aulas fachada norte

Se presenta el aula bachillerato 1 como base para el planteamiento de las modificaciones. Este grupo contiene los espacios siguientes:

- Planta 1 edificio 5: Aula plástica y aula de música.
- Planta 2 edificio 5: Aulas E.S.O. 1, 2 y 3 y aula complementaria.
- Planta 2 edificio 6: Aulas E.S.O. 4, 5 y 6.
- Planta 3 edificio 5: Aulas Bachillerato 1, 2, 3 y 4.
- Planta 3 edificio 6: Aulas E.S.O. 7, 8 y 9.
- Planta 4 edificio 6: Aulas E.S.O. 10, 11 y 12.

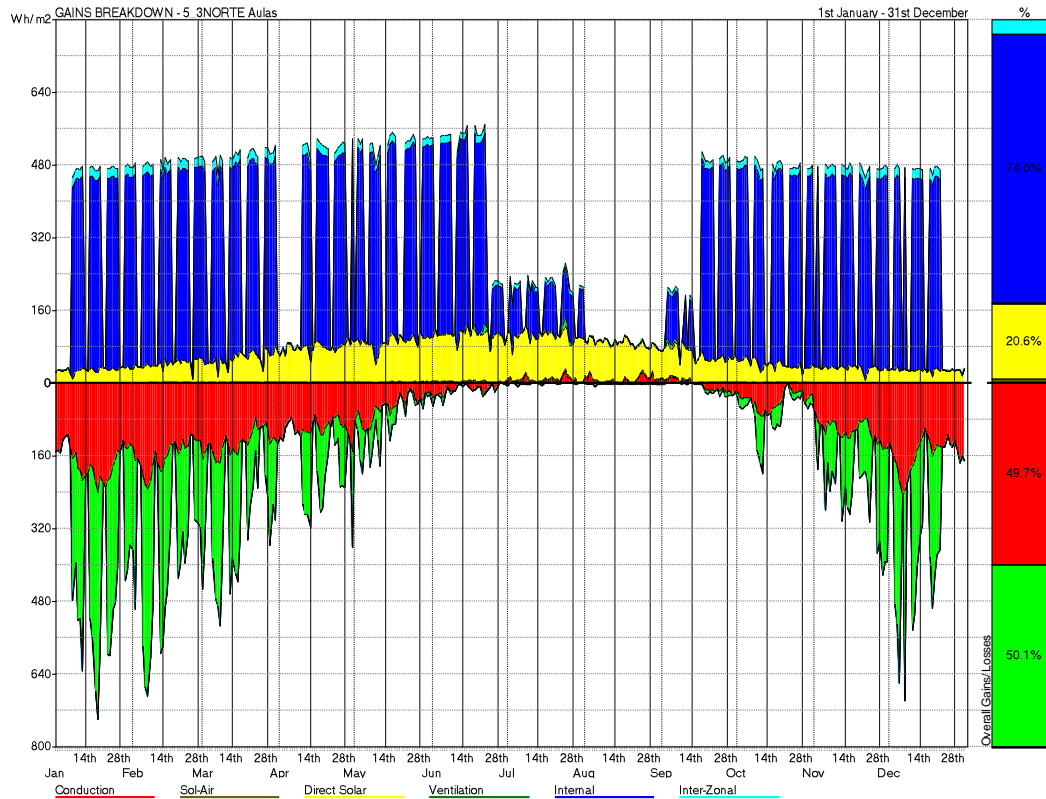


Ilustración 14. Gráfico “breakdown” de ganancias y pérdida de energía por Wh/m<sup>2</sup> del aula Aula de Bachillerato 1. Software: Ecotect Analysis 2011.

Observando el gráfico superior, se puede visualizar que los principales problemas del comportamiento térmico original son:

- Muy elevadas cargas internas durante las horas de uso en todo el año.
- Baja extracción de calor por ventilación en los meses calurosos.
- Sistemas de cerramientos con una elevada transmitancia, pérdidas en los meses fríos y algunas ganancias en los meses de verano (no hay uso).
- Ganancias por radiación solar directa muy bajas y constantes (fachada norte). Cabe destacar que existe radiación en los meses de invierno, primavera y otoño debido a la reflejada de los edificios colindantes, aunque el valor es muy bajo.

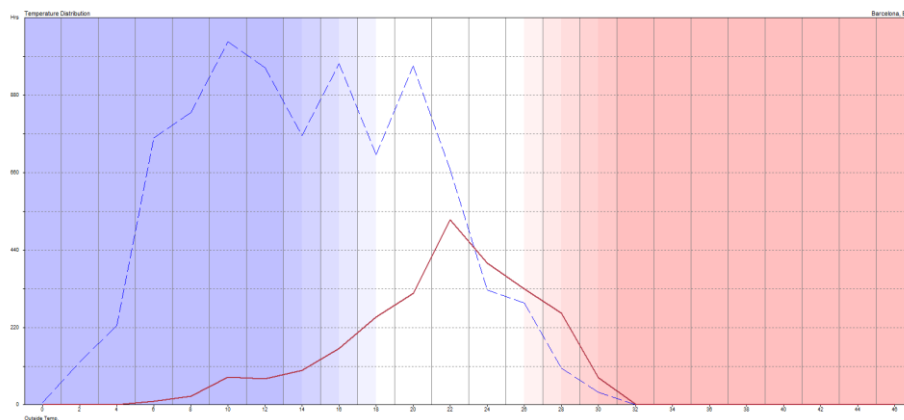


Ilustración 15. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de bachillerato 1. 69.3 % de horas en confort.

2) Edificio 6: Aulas y laboratorios fachada sur

Aula de dibujo y taller

Se presenta el aula de dibujo como base para el planteamiento de las modificaciones. Este grupo contiene los espacios siguientes:

- Planta 2 edificio 6: Aula de dibujo y taller.

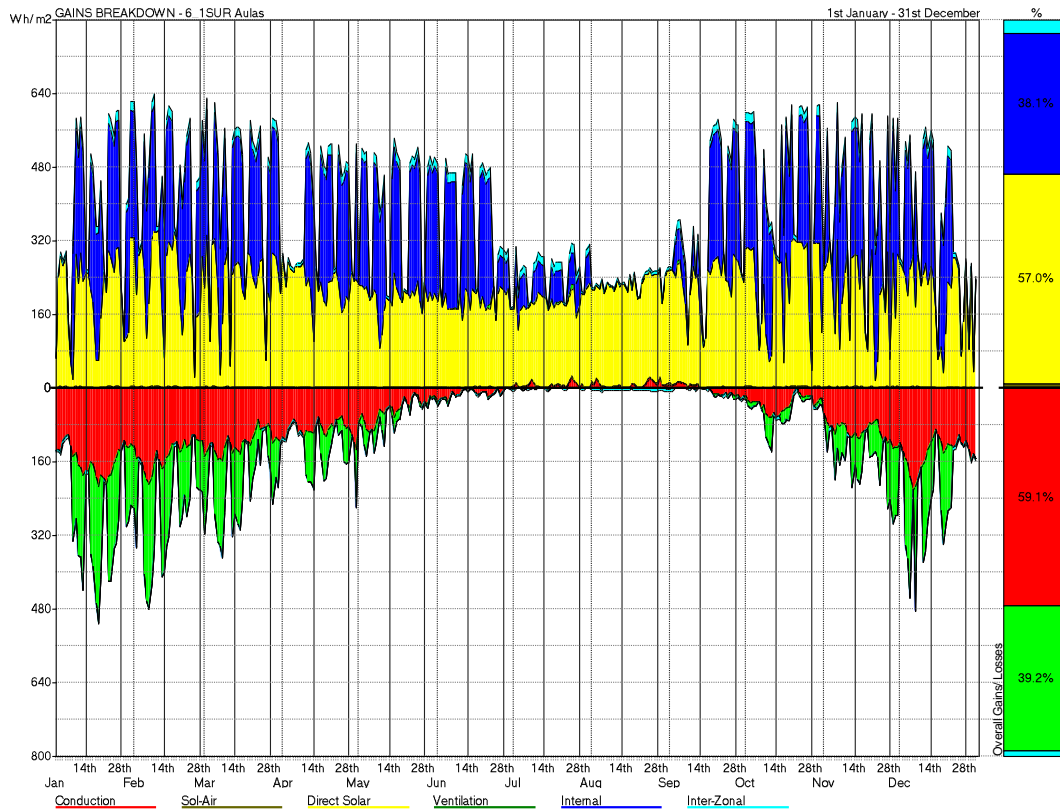


Ilustración 16. Gráfico “breakdown” de ganancias y pérdida de energía por Wh/m² del aula de Dibujo-Taller. Software: Ecotect Analysis 2011.

En este caso concreto, la diferencia más notable respecto al apartado anterior está en las ganancias por radiación solar directa y reflejada son mucho mayores dada su orientación a sur. Por otro lado, las cargas internas tienen un impacto menor ya que son 62 personas en una superficie más grande, con lo que la repercusión es más baja.

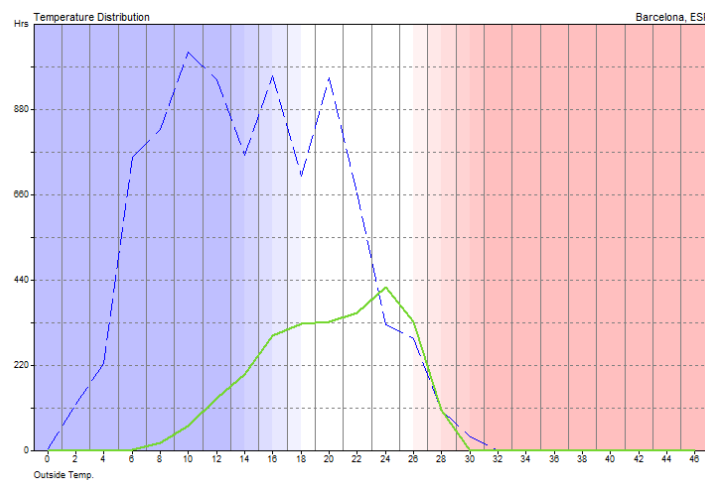


Ilustración 17. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de Dibujo-Taller. 64.50% de horas en confort.

### Aulas sur y laboratorios

Se presenta el laboratorio de ciencias como base para el planteamiento de las modificaciones. Este grupo contiene los espacios siguientes:

- Planta 3: Aula informática y aula de tecnología.
- Planta 4: Laboratorios de ciencias, biología y química.

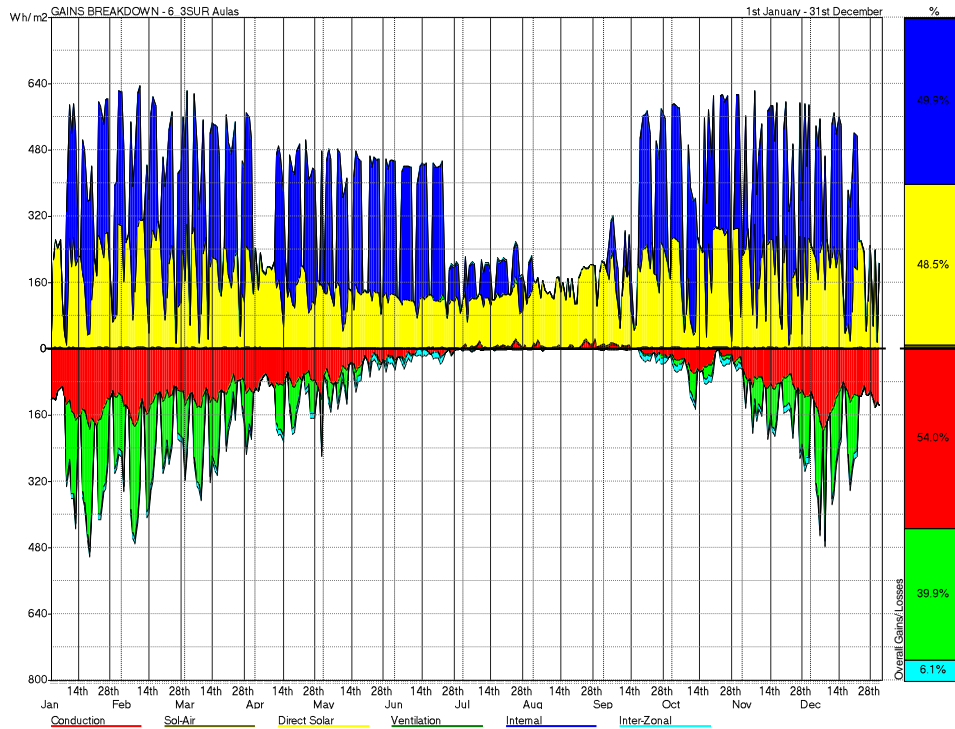


Ilustración 18. Ilustración 13. Gráfico “breakdown” de ganancias y pérdida de energía por Wh/m<sup>2</sup> del laboratorio de Ciencias. Software: Ecotect Analysis 2011.

En el resto de aulas en fachada sur, tenemos un comportamiento diferente, ya que existe una gran cantidad de ganancias por radiación solar directa y reflejada, con unas elevadas cargas internas con 90 personas, produciendo 70 w en estado sedentario (sentados). Con todas estas ganancias energéticas, basándonos en la información proporcionada por la *ilustración 19*, se puede verificar que, en efecto, la gran disconformidad en este tipo de zonas climáticas viene dada por la gran cantidad de horas que existen con temperaturas superiores a los 26 grados Celsius. En menor medida existe un disconformidad por frío en algunos meses del año.

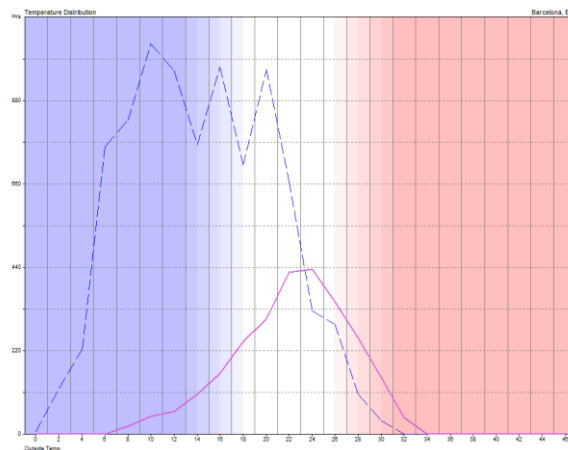


Ilustración 19. Gráfico de distribución de temperatura en el laboratorio de Ciencias. 67.5 % de horas en confort.

## 5.3. Optimización energética

### 5.3.1. Optimización lumínica

#### 1) Edificio 5 y 6: Aulas fachada norte

Para incrementar la contribución de la luz natural diurna se ha planteado desde un principio incrementar la superficie de ventana en fachada, ya que la orientación a norte no genera ningún problema lumínico por radiación directa. Las nuevas aberturas deben estar ubicadas sobre el plano de trabajo, para aprovechar todo el aporte lumínico sobre este. Para asegurar una buena penetración hacia el interior del aula, además de estar ubicadas sobre el plano de trabajo, las aberturas deben tener una altura suficiente. Bajo estos criterios, se han planteado dos ventanas horizontales de 3,30 x 1,90 m colocadas a 1,00 m del pavimento, incrementando así la superficie de ventana de 10,80 m<sup>2</sup> hasta 12,54m<sup>2</sup>. Cabe destacar que la altura máxima de la ventana viene dada por la altura del falso techo existente, sobre el cual no tiene ningún sentido colocar superficie acristalada.

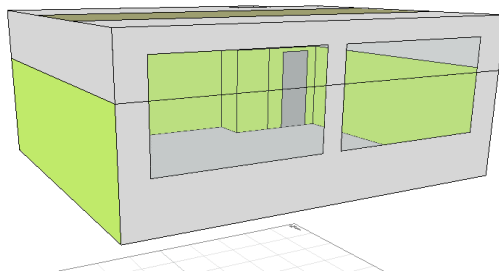


Ilustración 20. Captura de la solución planteada para el aula E.S.O. 5. Fachada norte. Software: Ecotect Analysis 2011.

Gracias a las aberturas planteadas se consigue incrementar el FLD medio del 5,18% al 6,15%. Este incremento de FLD se traduce en un incremento de la iluminancia, aunque no existe una correlación entre ambos valores, ya que este primer valor indica un valor medio, donde los puntos de cálculo cercanos a las ventanas tienen valores muy elevados y los puntos de máxima profundidad rondan al 1 %. Lo que sí es determinante para esta optimización es que se ha incrementado en un metro de profundidad la iluminancia mínima de 300 lx. También resulta especialmente interesante el incremento de FLD al final del aula del 0,8%, esto es gracias al incremento de la cota de las ventanas hasta el falso techo. La separación entre las ventanas planteadas es menor que la separación entre las ventanas originales, por lo que el claroscuro existente entre los bulbos lumínicos se ha reducido notablemente.

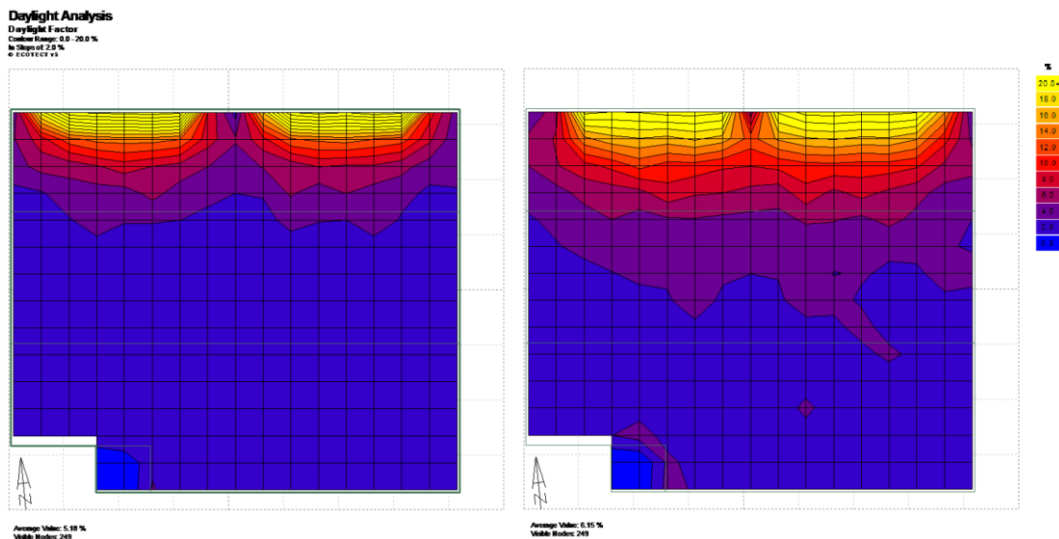


Ilustración 21. Comparativa entre FLD original y modificado. En la parte izquierda se muestra el FLD original. En la parte derecha se muestra el FLD una vez aplicadas las modificaciones. Software: Ecotect Analysis 2011.

Paralelamente, se ha realizado un cálculo de la autonomía durante las horas de uso, es decir, de 8 a 18 horas, para la iluminancia mínima exigida de 300 lx. Con las aberturas originales se obtiene una autonomía media de 86,54% y con las aberturas planteadas de 89,17% de las horas de uso. El incremento de superficie de ventana produce el incremento de autonomía obtenido.

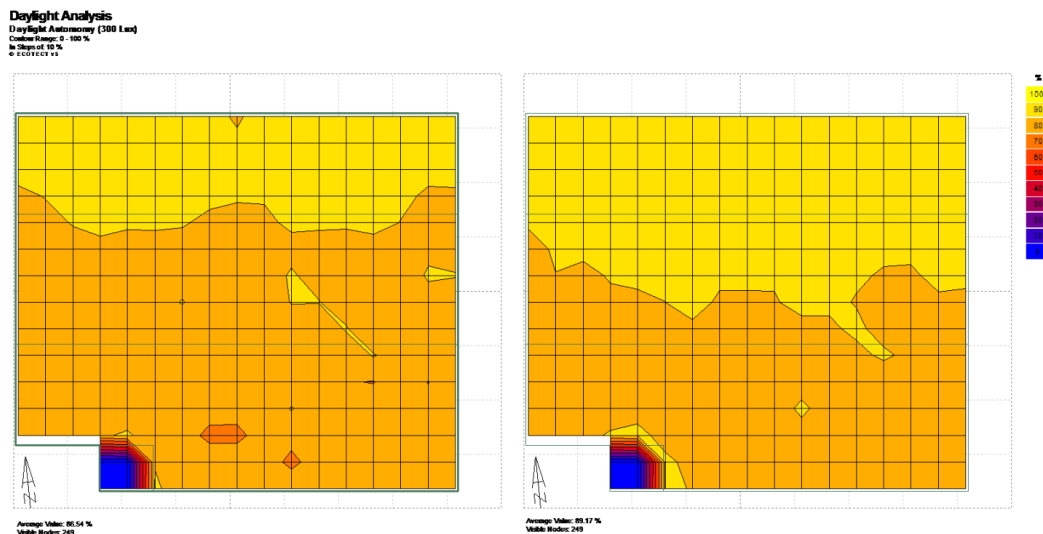


Ilustración 22. Comparativa entre la autonomía modificada y original. En la parte izquierda se muestra la solución original. En la parte derecha se muestra la solución planteada. Software: Ecotect Analysis 2011.

Aunque es cierto que la autonomía ha incrementado en un 2.63 %, hay que tener en cuenta lo que se comentado en el apartado 4.3.1 donde se comentaba la importancia del posicionamiento de los puntos de luz y de la cantidad en cada aula y del papel fundamental del usuario final.

Aberturas originales (10,80 m<sup>2</sup>):

- 2 Ventanas horizontales en fachada sur, de 3,00 x 1,80 m a 0,40 m del pavimento.

Aberturas planteadas (12,54 m<sup>2</sup>):

- 2 Ventanas horizontales en fachada sur de 3,30 x 1,90 m ubicadas a 1,00 m del pavimento.

La solución planteada consigue incrementar el FLD medio en un 1% aproximadamente y distribuirlo de forma más progresiva hacia el interior. También se consigue incrementar el aporte de la luz natural diurna en el fondo del aula, mejorando así la calidad de la iluminación global del aula. La autonomía no ha crecido demasiado debido a que la autonomía original tenía ya un buen valor, por lo que el margen de mejora es limitado.

La solución adoptada en el aula E.S.O. 5 se puede aplicar a todas las aulas con orientación hacia el norte de los edificios 5 y 6.

## 2) Edificio 6: Aulas y laboratorios fachada sur

### Aula de tecnología (Talleres y laboratorios)

Para incrementar la contribución de la luz natural diurna se ha planteado desde un principio incrementar la superficie de ventana en fachada, teniendo en cuenta que se deben proteger las ventanas planteadas con las lamas descritas en el apartado 2.5.7. Las nuevas aberturas deben estar ubicadas sobre el plano de trabajo, para aprovechar todo el aporte lumínico sobre este. Para asegurar una buena penetración hacia el interior del aula, además de estar ubicadas sobre el plano de trabajo, las aberturas deben tener una altura suficiente. Bajo estos criterios, se han planteado cuatro ventanas horizontales de 3,30 x 1,90 m colocadas a 1,00 m del pavimento, incrementando así la superficie de ventana de 21,60 m<sup>2</sup> hasta 25,08 m<sup>2</sup>.

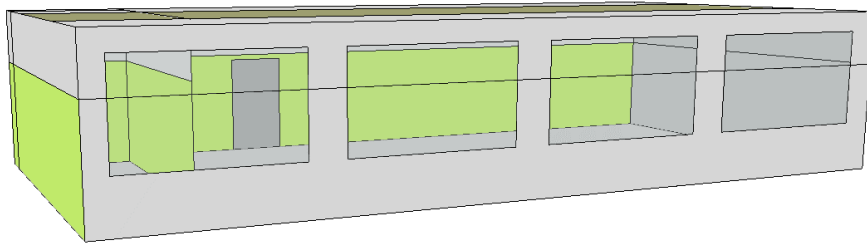
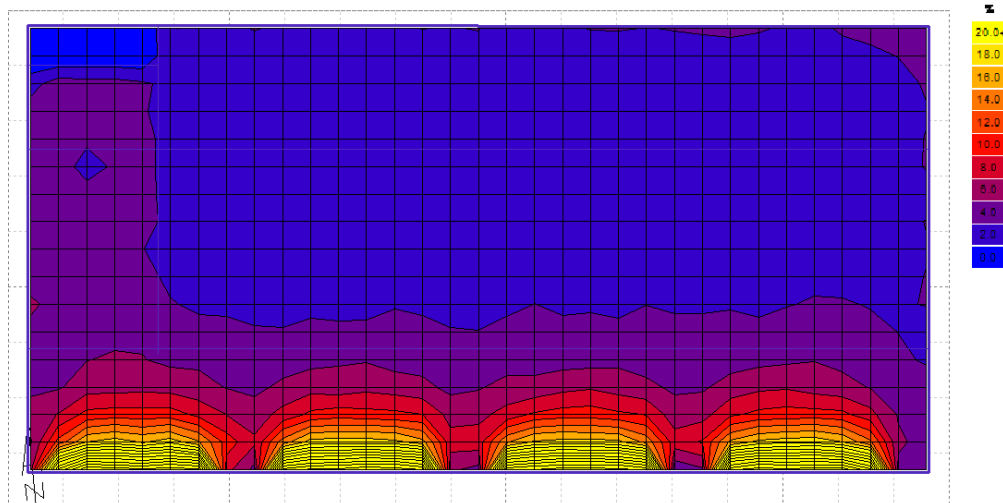


Ilustración 23. Captura de la solución planteada para el aula de tecnología. Software: Ecotect Analysis 2011.

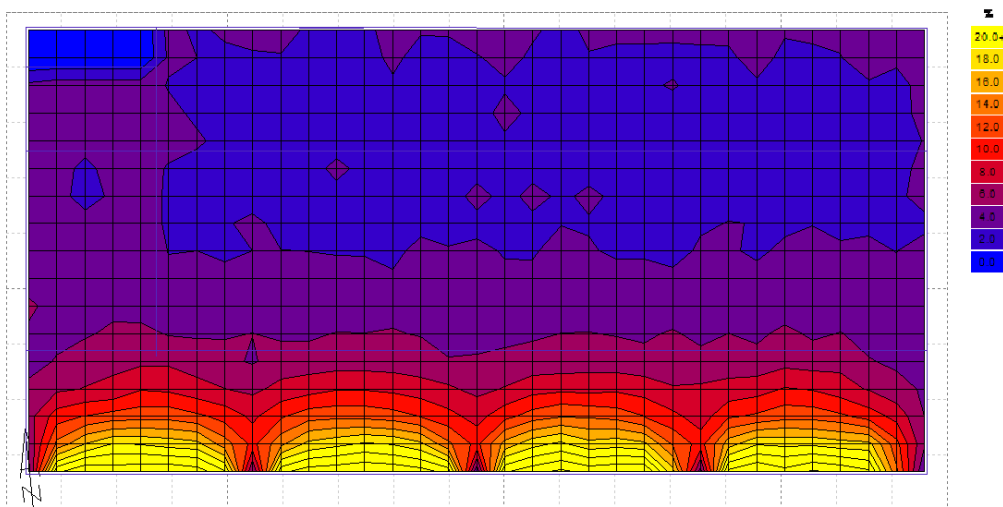
Gracias a las aberturas planteadas se consigue incrementar el FLD medio del 6,25% al 6,71%. Este incremento de FLD no es muy elevado en relación a los m<sup>2</sup> que se han añadido, pero resulta interesante el incremento de la profundidad de penetración, haciendo que al final del aula se incremente el FLD una media de 0,5%, esto es gracias al incremento de la cota de las ventanas hasta el falso techo. La separación entre las ventanas planteadas es menor que la separación entre las ventanas originales, por lo que el claroscuro existente entre los bulbos lumínicos, se ha reducido notablemente.

#### Daylight Analysis

Daylight Factor  
Climate Range: 0.0 - 20.0 %  
In Slope of 2.0 %  
© ECOTECT VS



Average Value: 6.25 %  
Visible Nodes: 561



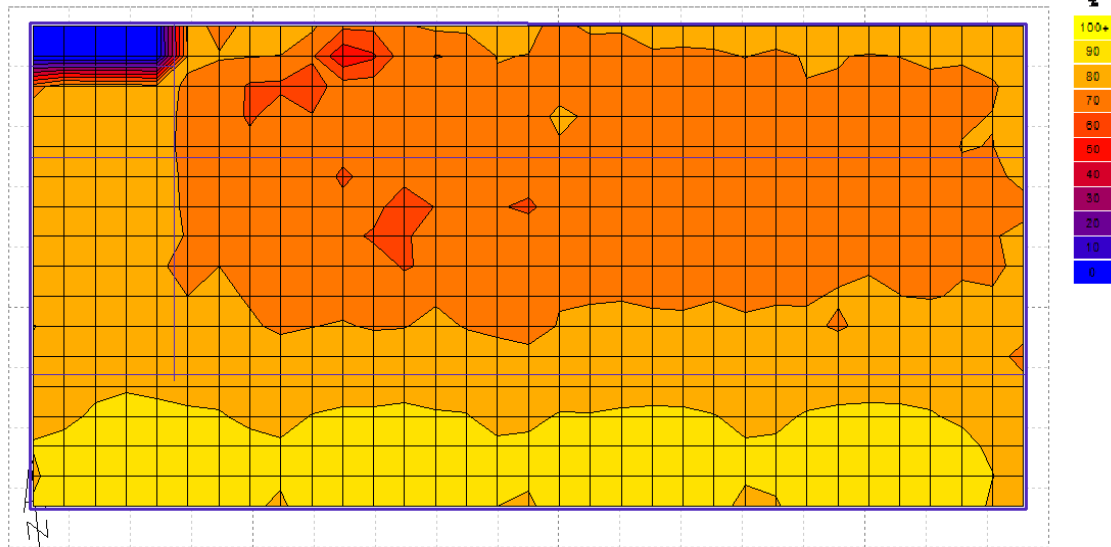
Average Value: 6.71 %  
Visible Nodes: 561

Ilustración 24. Comparativa entre FLD original y modificado. En la parte superior se muestra el FLD original. En la parte inferior se muestra el FLD una vez aplicadas las modificaciones. Software: Ecotect Analysis 2011.

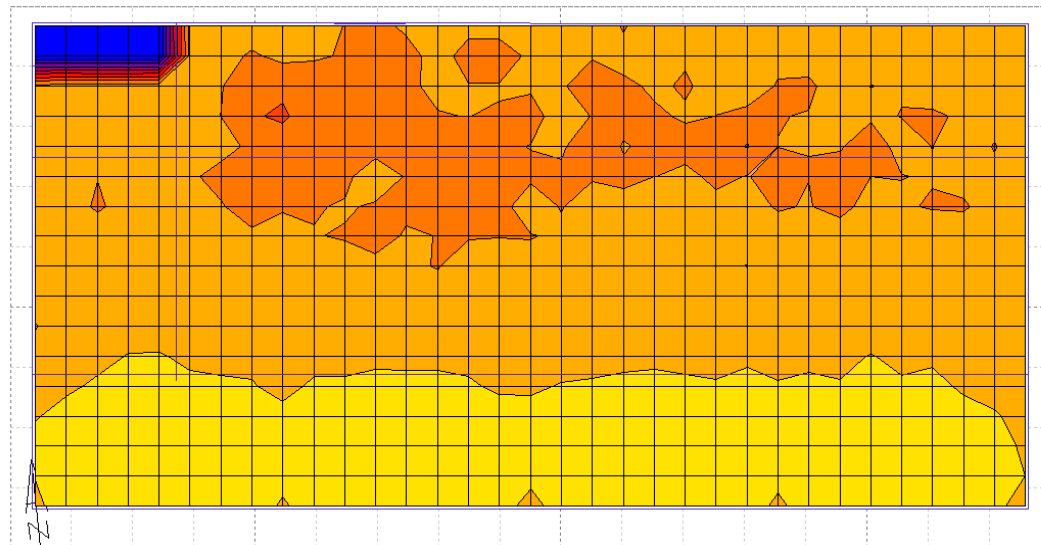


A continuación se muestra un cálculo de la autonomía durante las horas de uso, es decir, de 8 a 18 horas, para la iluminancia mínima exigida de 500 lx. Con las aberturas originales se obtiene una autonomía media de 81,09% y con las aberturas planteadas de 84,16% de las horas de uso. El incremento de superficie de ventana produce el incremento de autonomía obtenido.

**Daylight Analysis**  
Daylight Autonomy (500 Lux)  
Contour Range: 0 - 100 %  
In Steps of 10 %  
© ECOTECH v3



Average Value: 81.09 %  
Visible Nodes: 561



Average Value: 84.16 %  
Visible Nodes: 561

*Ilustración 25. Comparativa entre la autonomía modificada y original. En la parte superior se muestra la solución original. En la parte inferior se muestra la solución planteada. Software: Ecotect Analysis 2011.*

Aberturas originales (21,60 m<sup>2</sup>):

- 4 Ventanas horizontales en fachada sur, de 3,00 x 1,80 m a 0,40 m del pavimento.

Aberturas planteadas (25,08 m<sup>2</sup>):

- 4 Ventanas horizontales en fachada sur de 3,30 x 1,90 m ubicadas a 1,00 m del pavimento.

La solución planteada consigue incrementar el FLD medio sensiblemente, aproximadamente en un 0,5% y distribuirlo de forma más progresiva hacia el interior. También se consigue incrementar el aporte de la luz natural diurna en el fondo del aula, mejorando así la calidad de la iluminación global del aula. La autonomía no ha crecido demasiado. Se puede afirmar que las modificaciones planteadas mejoran ligeramente el funcionamiento lumínico de la zona, ya que las elevadas dimensiones del espacio junto con la elevada demanda de 500 lx condicionan mucho el rendimiento de las mejoras aplicadas.

La solución planteada está relacionada con la optimización térmica del espacio tratado. La disconformidad principal es por exceso de temperatura, dada la elevada ocupación de la zona, por lo tanto, el incremento de pérdidas por conducción generadas por la mayor superficie de cristal de la solución planteada no supone un problema.

La solución adoptada en el aula de tecnología se puede aplicar a todos los talleres, aulas y laboratorios con orientación hacia el sur del edificio 6, exceptuando el aula de dibujo, por tener una demanda distinta a la de 500 lx que se ha estudiado en este apartado.

Finalmente, se ha realizado una malla de cálculo para ver la repercusión de las lamas propuestas sobre las aberturas planteadas. El FLD medio se ha reducido 1,20%, un valor considerable, esto es debido a que el FLD en el área inmediata a las aberturas se reduce bruscamente, no obstante, la repercusión al funcionamiento lumínico general es baja, esto se puede apreciar en que en el fondo del aula el FLD se ha reducido alrededor 0,1%. La autonomía media es del 82,42% de las horas de uso.

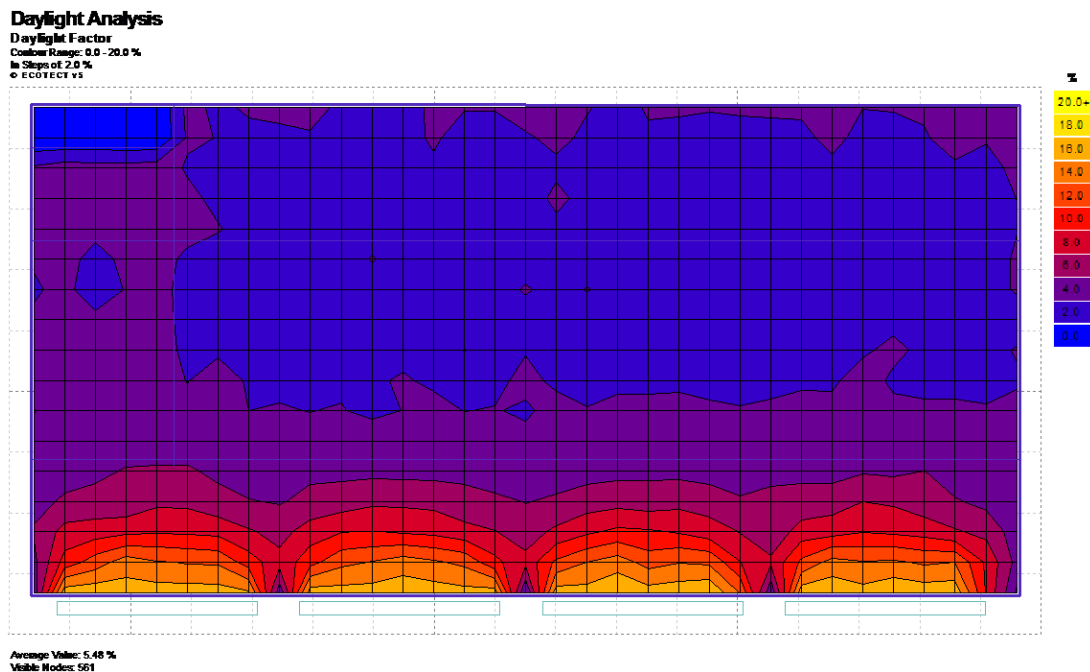


Ilustración 26. Malla de cálculo de FLD de las aberturas planteadas con lamas. Nótese la baja afectación de las lamas en la distribución general del FLD. Software: Ecotect Analysis 2011.

### Aula de dibujo

Para incrementar la contribución de la luz natural diurna se ha planteado desde un principio incrementar la superficie de ventana en fachada, teniendo en cuenta que se deben proteger las ventanas planteadas con las lamas descritas en el apartado 2.5.7. Las nuevas aberturas deben estar ubicadas sobre el plano de trabajo, para aprovechar todo el aporte lumínico sobre este. Para asegurar una buena penetración hacia el interior del aula, además de estar ubicadas sobre el plano de trabajo, las aberturas deben tener una altura suficiente. Bajo estos criterios, se han planteado tres ventanas horizontales de 3,30 x 1,90 m colocadas a 1,00 m del pavimento, incrementando así la superficie de ventana de 16,20 m<sup>2</sup> hasta 18,81 m<sup>2</sup>.

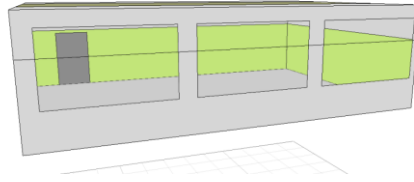


Ilustración 27. Captura de la solución planteada para el aula de dibujo. Software: Ecotect Analysis 2011.

Gracias a las aberturas planteadas se consigue incrementar el FLD medio del 5,64% al 6,45%. Además del incremento del FLD medio, debido al incremento de m<sup>2</sup> de ventana sobre el plano de trabajo, gracias a la nueva solución se consigue disminuir los clarososcuros entre los bulbos lumínicos, ya que las ventanas planteadas son más anchas por lo que el ancho de las jambas se reduce. Resulta especialmente interesante el incremento de 0,5% de FLD al fondo del aula gracias al incremento de la cota de las aberturas.

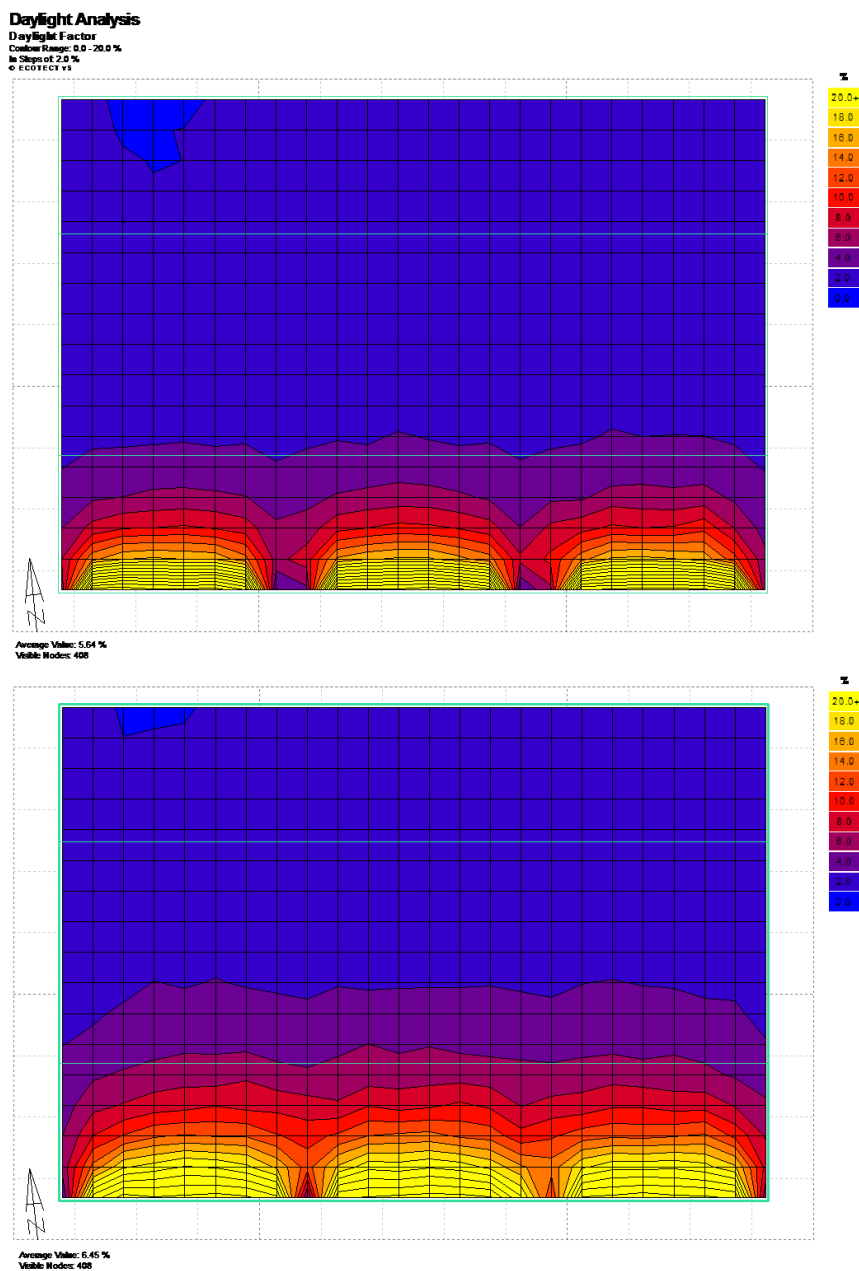


Ilustración 28. Comparativa entre FLD original y modificado. En la parte superior se muestra el FLD original. En la parte inferior se muestra el FLD una vez aplicadas las modificaciones. Software: Ecotect Analysis 2011.

Se ha realizado un cálculo de la autonomía durante las horas de uso, es decir, de 8 a 18 horas, para la iluminancia mínima exigida de 750 lx. Con las aberturas originales se obtiene una autonomía media de 54,18% y con las aberturas planteadas de 62,22% de las horas de uso, que supone un incremento de aproximadamente el 8% de las horas de uso.

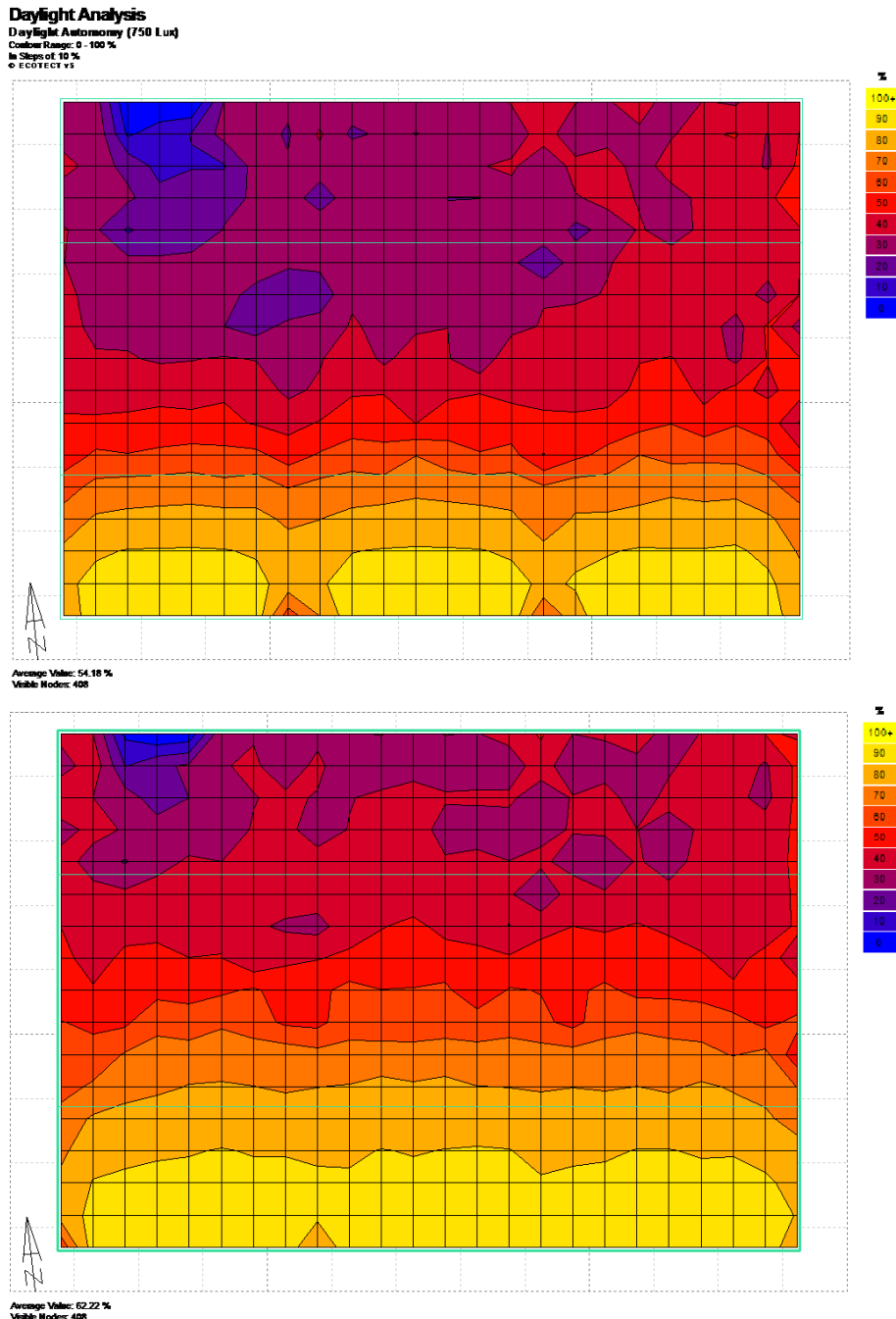


Ilustración 29. Comparativa entre la autonomía modificada y original. En la parte superior se muestra la solución original. En la parte inferior se muestra la solución planteada. Software: Ecotect Analysis 2011.

Aberturas originales (16,20 m<sup>2</sup>):

- 3 Ventanas horizontales en fachada sur, de 3,00 x 1,80 m a 0,40 m del pavimento.

Aberturas planteadas (18,81 m<sup>2</sup>):

- 3 Ventanas horizontales en fachada sur de 3,30 x 1,90 m ubicadas a 1,00 m del pavimento.

La solución planteada consigue incrementar el FLD medio, aproximadamente en un 1% y aumentar la penetración del mismo. También se consigue incrementar el aporte de la luz natural diurna en el fondo del aula, mejorando así la calidad de la iluminación global del aula. La autonomía se ha incrementado notablemente, un 8%, valor que se considera bueno para la elevada demanda lumínica de 750 lx. Se puede afirmar que las modificaciones planteadas mejoran el funcionamiento lumínico de la zona, pero son insuficientes para satisfacer la demanda mínima. Se considera que, dada la elevada demanda, es imposible satisfacerla exclusivamente mediante luz natural diurna, por ello se ha validado la solución planteada.

La solución planteada está relacionada con la optimización térmica del espacio tratado. La disconformidad principal es por exceso de temperatura, dada la elevada ocupación de la zona, por lo tanto, el incremento de pérdidas por conducción generadas por la mayor superficie de cristal de la solución planteada no supone un problema.

Finalmente, El FLD medio con la repercusión de las lamas para este caso, se ha reducido 1,21 %. Por otro lado, la autonomía media es del 60,49% de las horas de uso y se ha reducido levemente y se puede concluir que aplicando las lamas a la solución planteada se obtiene un 6% más de autonomía media que con la solución original sin lamas.

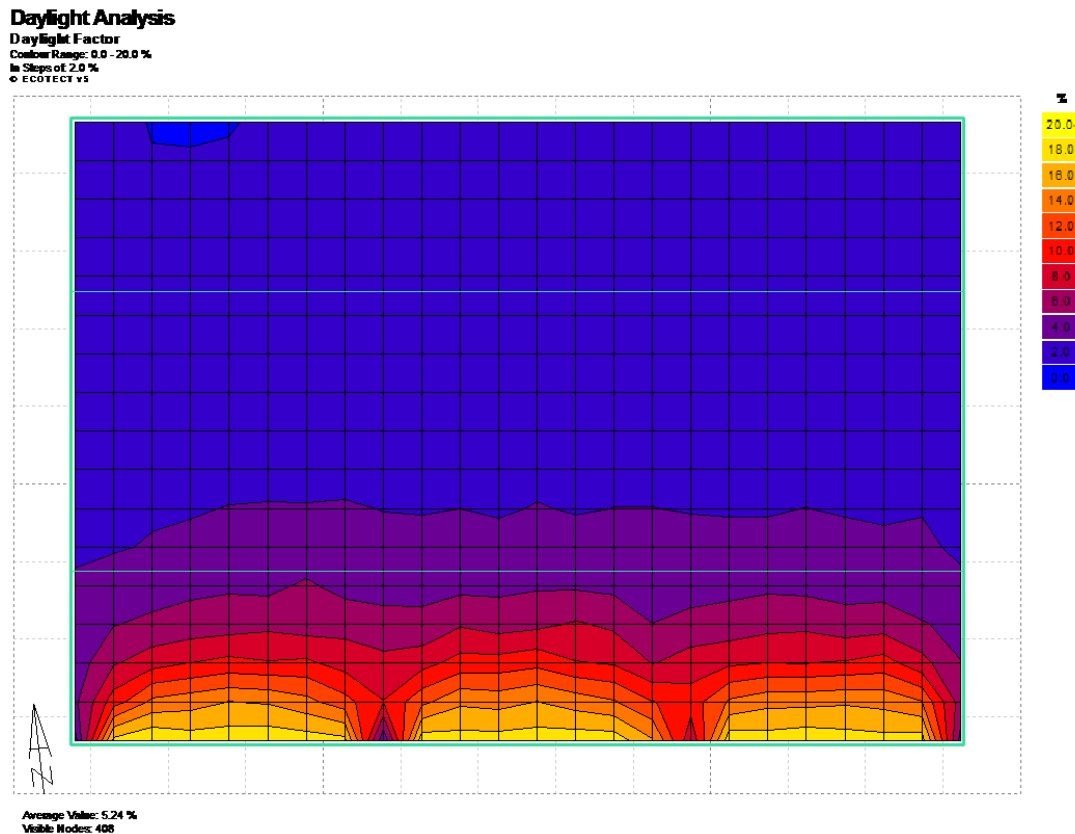


Ilustración 30. Malla de cálculo de FLD de las aberturas planteadas con lamas. Nótese la baja afectación de las lamas en la distribución general del FLD. Software: Ecotect Analysis 2011.

### 3) Resultados finales

Finalmente, en este subapartado se van a reflejar cuales han sido los resultados finales de toda la optimización lumínica por zonas de los edificios 5 y 6.

Dado que como se ha comentado anteriormente, no todas las aulas tienen la misma necesidad lumínica, se ha detallado en la siguiente tabla todos los valores, con sus consumos en base a su superficie útil y la potencia de las bombillas valoradas en la memoria del proyecto.

A continuación, se ha utilizado los gráficos y valores de autonomía para conocer el valor calculado de energía necesaria para el resto de horas donde la luz natural no aporta suficientes lúmenes.

CARACTERÍSTICAS DE LAS ZONAS							AUTONOMÍA (%)		CONSUMO ANUAL (KW-h)		
Sala	Ed.	Zona térmica	Luxes	Potencia (W)	Horas	Días/año	Original	Optimizado	Original	Modificado	Ahorro
Aula de música	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula de plástica	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula ESO 1	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula ESO 2	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula ESO 3	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula complementaria	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula Bachillerato 1	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula Bachillerato 2	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula Bachillerato 3	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula Bachillerato 4	5	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula Dibujo	6	Ed. 6 aulas y lab. sur	750	1935	8	179	54,18	62,22	1.269,64	1.046,85	222,78
Aula Taller	6	Ed. 6 aulas y lab. sur	500	1305	8	179	81,09	84,16	353,38	296,01	57,37
Aula ESO 4	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula ESO 5	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula ESO 6	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula Informática	6	Ed. 6 aulas y lab. sur	500	864	8	179	81,09	84,16	233,96	195,98	37,98
Aula Tecnología	6	Ed. 6 aulas y lab. sur	500	1900	8	179	81,09	84,16	514,50	430,97	83,53
Aula ESO 7	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	864	8	179	86,54	89,17	166,53	133,99	32,54
Aula ESO 8	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	864	8	179	86,54	89,17	166,53	133,99	32,54
Aula ESO 9	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	864	8	179	86,54	89,17	166,53	133,99	32,54
Lab. Biología	6	Ed. 6 aulas y lab. sur	500	864	8	179	81,09	84,16	233,96	195,98	37,98
Lab. Física-Ciencias	6	Ed. 6 aulas y lab. sur	500	864	8	179	81,09	84,16	233,96	195,98	37,98
Lab. Química	6	Ed. 6 aulas y lab. sur	500	864	8	179	81,09	84,16	233,96	195,98	37,98
Aula ESO 10	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula ESO 11	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
Aula ESO 12	6	Ed. 5 y 6 aulas norte	300	432	8	179	86,54	89,17	83,27	67,00	16,27
<b>TOTAL</b>									<b>4.905,25</b>	<b>4.031,69</b>	<b>873,53</b>
										<b>% ahorro</b>	<b>18%</b>

Tabla 3. Balance final de consumo Kw-h en referencia a la autonomía calculada del proyecto original frente al optimizado. Ahorro del 18 %.

Con todo esto, se puede verificar que el consumo de energía anual se ha reducido en todos los casos, aunque el impacto es más notable en las zonas térmicas donde la necesidad lumínica es mayor y la potencia instalada (consumo de bombilla de cada zona de 36 a 55 w) tiene un mayor impacto, como en el aula de dibujo o los laboratorios. Por lo tanto, el resultado de consumo calculado en el estado original es de 3.803,87 Kw·h, con lo que supone un ahorro de 669,11 Kw·h si lo comparamos con el resultado arrojado por la optimización que se plantea en este documento, con lo que representa un ahorro del 18 %.

Es obvio que el ahorro económico no es para nada elevado en una repercusión anual, ya que representa un importe alrededor de 140 €/año, aunque aún se podría conseguir reducir mucho más el importe cambiando el tipo de sistema lumínico por un sistema más eficiente, reduciendo hasta un 50 %, con lo que el ahorro llegaría a valores de unos 400 €/año. Este hecho es todavía mucho más remarcable si tenemos en cuenta el incremento de la electricidad a medio-largo plazo, donde todo indica que el precio de la energía sufrirá un gran incremento.

Por último, es importante destacar que en este proyecto se ha realizado un aceptable diseño de los huecos en su estado original (salvo ciertos puntos comentados en apartados anteriores), ya que gracias a la gran superficie de cerramiento transparente se consigue reducir en gran medida la utilización de luz natural (autonomía media del proyecto original del 83 %), y se ha remarcado la importancia del conocimiento del uso de los espacios como pilar fundamental en el diseño.

### 5.3.2. Optimización térmica

#### 3) Estrategias de diseño

El primer paso para realizar la optimización térmica, al igual que en el apartado anterior, es importante decidir cuáles son las estrategias de actuación en base a la zona de análisis. Para ella se han utilizado los datos climáticos WEA y se han introducido en un software llamado “Climate Consultant” basado en los mapas bioclimáticos de Givoni B, A. (1969).

Con esta herramienta podemos conocer previamente a la optimización cuales son las mejores estrategias de diseño pasivo de antemano, y por lo tanto, trabajar primeramente en todas las estrategias con las que el coste económico y el ahorro energético tengan el mejor ratio final.

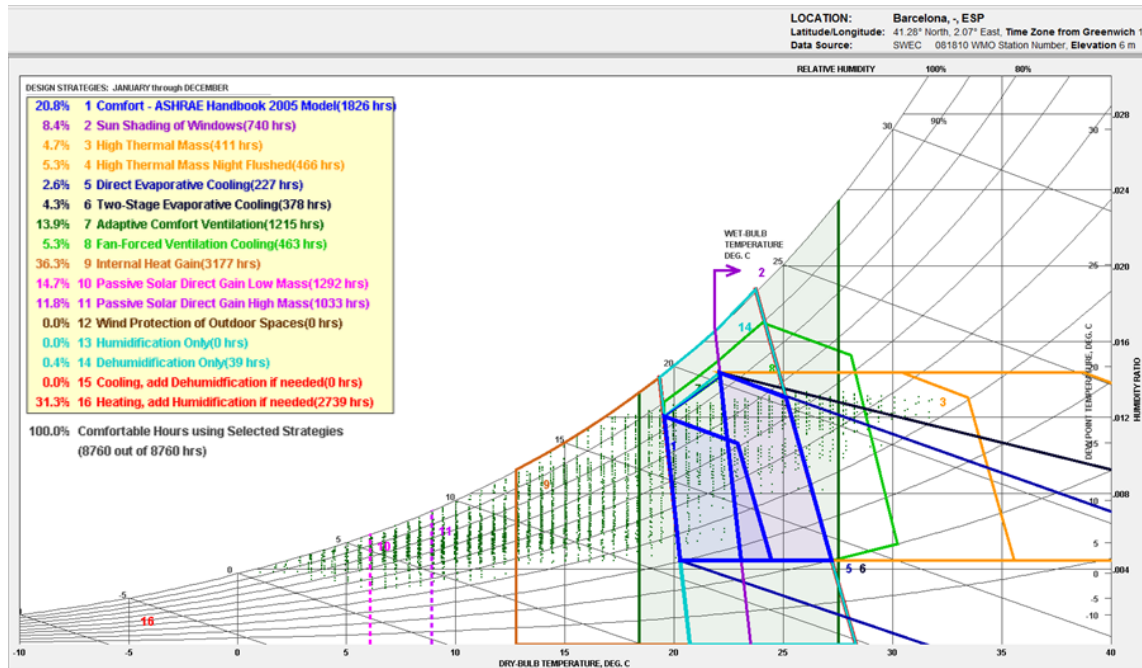


Ilustración 31. Diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano. Software: Climate Consultant.

Visualizando la ilustración superior se puede visualizar todos los datos a priori en la zona climática de la provincia de Barcelona, con lo que es importante remarcar que solo el 20 % de las horas totales se llegará a estar en confort. Claro está que no nos podemos quedar solo en este valor, ya que hay otros aspectos que influyen de forma natural para incrementar el confort térmico, como por ejemplo la inercia térmica de los edificios, las ganancias internas, la humidificación o las ganancias por radiación solar directa o indirecta.

Otro dato que nos da este gráfico es que el 31,30 % del tiempo va a ser necesario el uso de sistemas activos para climatizar en los meses fríos, con lo que se puede sacar una idea inicial de necesidad obligatoria de calefacción en los meses de invierno.

Es importante destacar la reducción de consumo que produce el uso de la ventilación, ya sea natural o artificial. Esta primera consigue amortiguar un 13,90% de la disconformidad y un 5,30 % si añadimos ventilación forzada. Estos valores no son para nada despreciables, y a continuación se podrá verificar que controlar los sistemas de ventilación puede ser clave para los aularios y laboratorios donde las cargas internas de los aparatos electrónicos y, sobretodo, de las personas que están dentro son muy elevadas.

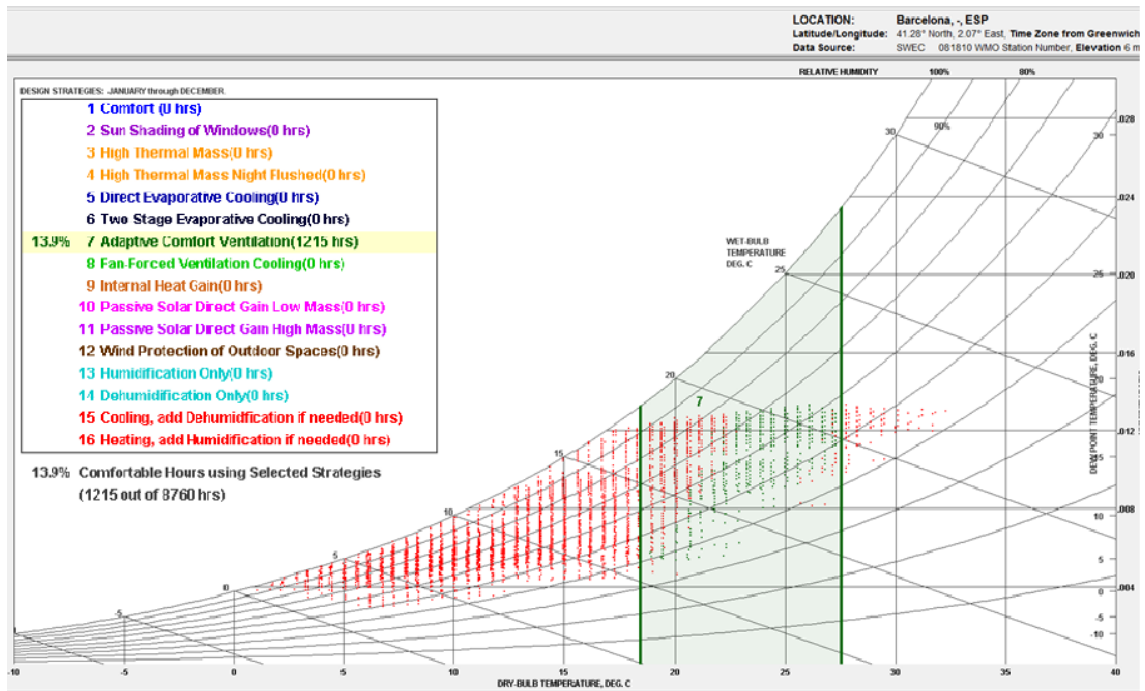


Ilustración 32. Diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrotérmico para invierno y verano, con el valor de la repercusión de la ventilación natural, un 13,90 %. Software: Climate Consultant.

#### 4) Edificio 5 y 6: Aulas fachada norte

Como se ha mencionado anteriormente, las cargas internas en esta zona del aula son extremadamente elevadas, hasta 120 personas repartidas en las 4 aulas en el edificio 5 y 90 personas repartidas en 3 aulas en el edificio 6. Por ello, la primera estrategia de actuación es ventilar la zona en los meses donde la temperatura está por encima de los 26 grados Celsius. Para ello se ha creado un calendario de actuación específico para el aula, donde en los meses templados o fríos la cantidad está definida por el mínimo CTE, 1,5 renovaciones/hora, el resto de horas se ha valorado con un total de 4,5 renovaciones/horas. Es importante destacar que a partir de este valor la ventilación apenas aporta mejoras significativas, y se pueden crear elevados flujos de aire entre zonas creando pequeñas turbulencias que pueden molestar a los usuarios de las aulas. Gracias a esta optimización se ha reducido de promedio el gasto de energía en un 9,4 % sobre el original.



Ilustración 33. Sistemas de aireación natural, imagen izquierda con aireador de ventana, imagen derecha con reja de ventilación con mosquitera. Fuente: Página web de Renson.



Por otro lado, para paliar las pérdidas térmicas producidas por los sistemas pasivos y los sistemas activos (calefacción) en los meses fríos, además de la transmisión calorífica del exterior en los meses calurosos, se ha planteado la sustitución del sistema de cerramiento del proyecto original ya que posee una transmitancia muy elevada, debido a que tiene una rotura de 12 mm, sin cámaras intermedias, además de un vidrio laminado de cámara simple de aire 3+3/10/3+3 y 6/12/4, dependiendo de la planta de está ubicado el cerramiento. La carpintería escogida es un modelo con hoja oculta, una rotura de puente térmico de 36 mm con 4 cámaras intermedias, con vidrio térmico 3+3bajo emisivo/16 gas argón 90%/3+3 mm en planta baja y 6 bajo emisivo/16 gas argón 90%/6 en el resto de plantas, reduciendo la transmitancia del subsistema ventana (aluminio  $U=2.7$  + vidrio  $U=1,1$ ) de  $3,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ$  a  $1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ$  (Manuel Olivares Santiago, 1.994).



*Ilustración 34. Corte sección de carpintería hoja oculta de calidad con aluminio con rotura de puente térmico de 36 mm con cámaras intermedias  $U = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ$ . Fuente: página web de K-line.*

Esta ventana tiene un comportamiento mucho más equilibrado, es decir, para combatir la disconformidad por frío tiene un buen valor de la transmitancia y para la disconformidad por exceso de temperatura, se consigue impedir con mayor eficacia la intrusión del calor exterior que con la carpintería planteada originalmente. Gracias a esta modificación se consigue alcanzar el 62% de horas de uso en conformidad térmica. Además, se ha reducido de promedio el gasto de energía en un 3,25 % sobre la optimización de ventilación.

La última optimización que se ha desarrollado ha sido la reducción de la transmitancia de los cerramientos verticales y el forjado sanitario. Por lo que respecta a la cubierta, se ha mantenido tal y como se presenta en el proyecto original debido a que posee una gran inercia térmica por la gran cantidad másica de hormigón en el interior (aislante térmico por el exterior) y, además, tiene un aislamiento suficiente de 60 mm, y las mejoras cambiando a un grosor de 80-100 mm han sido totalmente nulas.

Por lo tanto, esta mejora se ha planteado con un solo objetivo, el de reducir la transmisión térmica a través de estos elementos constructivos, para ello se ha doblado la cantidad de aislante térmico de poliuretano extrusionado de 40 mm a 80 mm. Del mismo modo, se ha aumentado el aislante térmico de los forjados sanitarios de 50 mm a 100 mm.

U-Value (W/m2.K):	0.320
Admittance (W/m2.K):	2.000
Solar Absorption (0-1):	0.244706
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.17
Thermal Lag (hrs):	7
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	286.0
Weight (kg):	311.965

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	120.0	2300.0	840.000	1.400
2. Polyurethane Foamed-In	80.0	40.0	1674.000	0.032
3. Air Gap	50.0	1.3	1004.000	5.560
4. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.250
5. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160

Ilustración 35. Características del nuevo material de fachada. Software: Ecotect Analysis 2011.

Con este sistema optimizado se ha bajado la transmitancia a 0.32 W/m<sup>2</sup>-K en los cerramientos verticales, como se puede comprobar en la ilustración 28. Por lo que respecta al forjado sanitario, se ha reducido su valor “U” a 0.36 W/m<sup>2</sup>-K.

Paralelamente, se han realizado estudios para intentar mejorar la inercia térmica de los paramentos verticales, pero para ello habría que cambiar el sistema constructivo ya que el aislamiento está por dentro, con lo que cambiar el color exterior del muro o incrementar el grosor de hormigón no tiene ninguna mejorar sustancial.

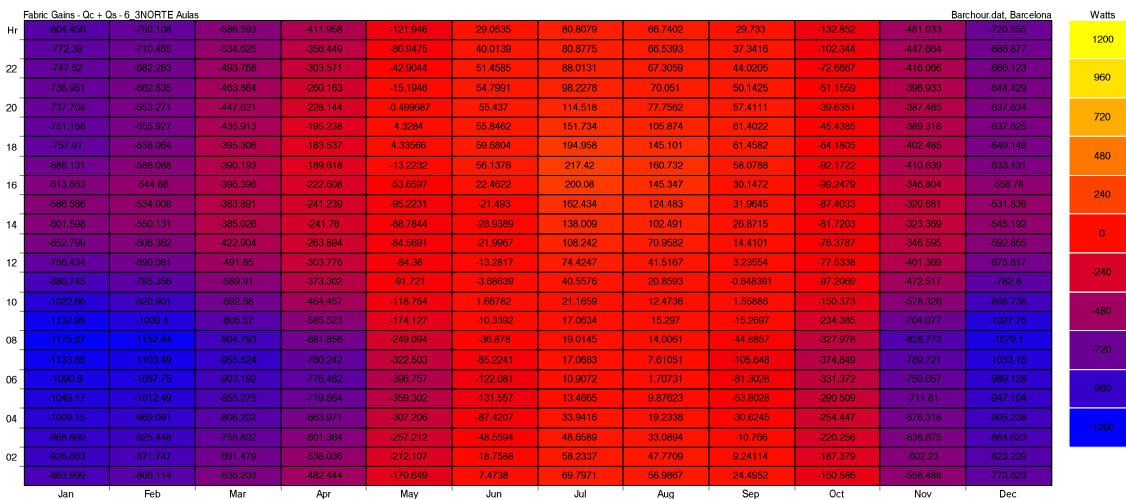


Ilustración 36. Gráfico de ganancias por conducción y solar indirecta de la envolvente. Se puede apreciar que en los meses calurosos se produce un retraso térmico en la ganancia, lo que conlleva a una reducción de la ganancia general durante las horas de uso. Software: Ecotect Analysis 2011.

Cabe destacar la gran capacidad térmica del cerramiento vertical y horizontal del proyecto original, ya que visualizando la imagen superior se puede apreciar como el flujo de calor absorbido durante las horas de uso es cedido fuera de estas horas, con lo que mejora las diferencias de temperaturas de entradas y salidas en la propia instancia y reduce levemente los picos de aporte energético antes de la entrada de los usuarios. En definitiva, como se ha comentado anteriormente, no se ha realizado ninguna optimización en este aspecto ya que resulta conveniente como está actualmente, y se consiguen suavizar las temperaturas en las entradas y salidas del aula.

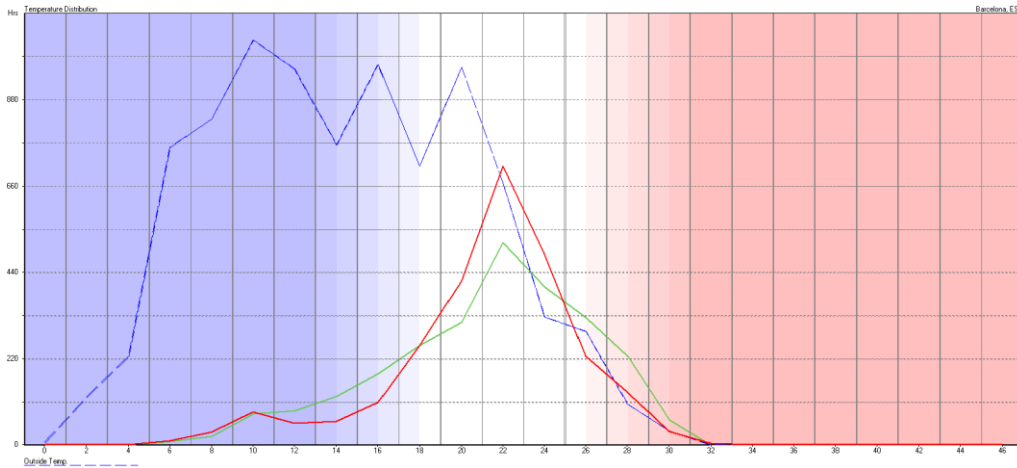


Ilustración 37. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de bachillerato 1. Curva original verde, 69.30 % de horas en confort. Curva optimizado rojo, 80.20 % de horas en confort. Software: Ecotect Analysis 2011.

Gracias al gráfico de distribución de temperatura podemos comprobar como la curva de hora de confort ha mejorado notablemente con todas las optimizaciones aportadas por este análisis, reduciendo las horas por disconformidad en los meses fríos y calurosos y situando la mayor parte del tiempo en la zona de confort entre 18 y 26 grados Celsius.

#### 5) Edificio 6: Aulas y laboratorios fachada sur

En este apartado se mostrarán los resultados parciales de las optimizaciones planteadas en base a lo comentado en el punto anterior, aunque como la orientación pasa de norte a sur, los resultados reflejados son diferentes y, por lo tanto, se han de analizar de forma complementaria.

De forma anticipada y previo análisis, se ha descartado la implementación de las lamas en la optimización térmica en fachada sur, ya que los valores arrojados son prácticamente idénticos, mejorando en las aulas y laboratorios de las plantas 3 y 4 del edificio 6, pero de una forma no muy significativa. Por lo tanto, para simplificar el cálculo y los tiempos de procesado del cálculo se desprecia el uso de lamas.

#### Aula de dibujo y taller

El proceso de optimización para todas las zonas del edificio 5 y 6 han sido básicamente las mismas, por lo que, para evitar reiteraciones de explicaciones, se toma como base de procedimiento lo comentado en el apartado anterior. Es decir, la misma optimización por ventilación, de ventanas y de aislamiento térmico en elementos opacos.

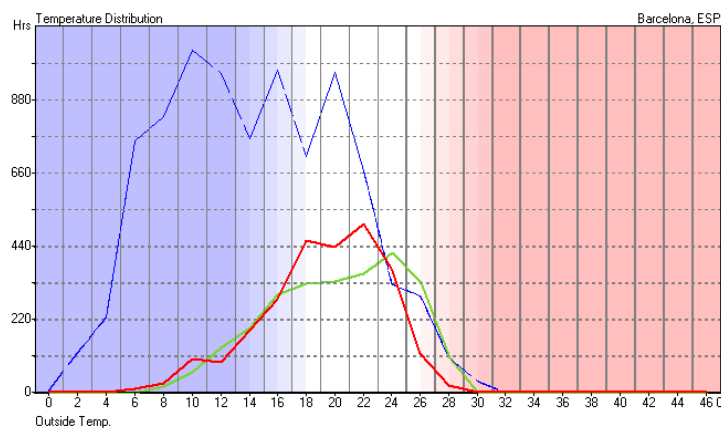


Ilustración 38. Gráfico de distribución de temperatura en el aula de Dibujo-Taller. Curva original verde, 64.50 % de horas en confort. Curva optimizado rojo, 72.50 % de horas en confort. Software: Ecotect Analysis 2011.

Si observamos el gráfico de distribución de temperatura, se puede contemplar que la disconformidad por frío en esta zona juega un papel importante, por lo que la repercusión de las soluciones planteadas en el ámbito general del edificio no surge el mismo efecto para esta zona en concreto. El motivo es que las cargas internas en función de su superficie es un tanto menor, además, media parte del día no recibe ningún tipo de radiación directa al estar en el nivel más bajo y tener una zona más elevada en el patio.

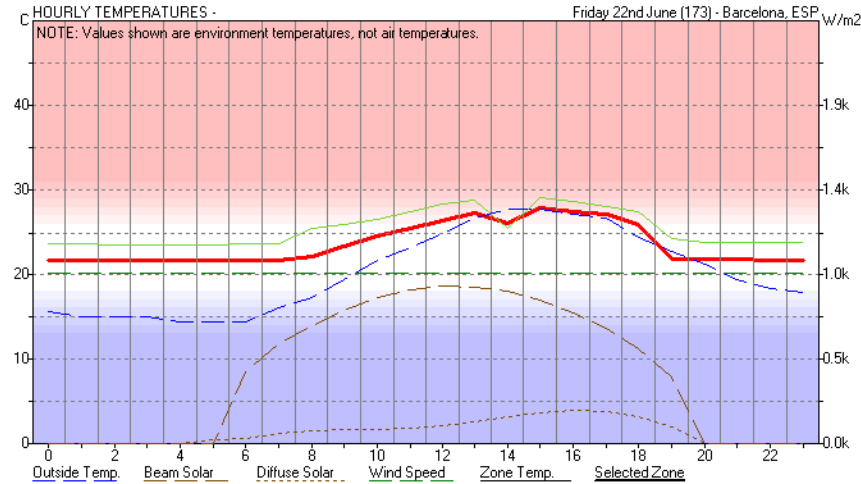


Ilustración 39. Gráfico de temperatura para el día 22 de junio. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011.

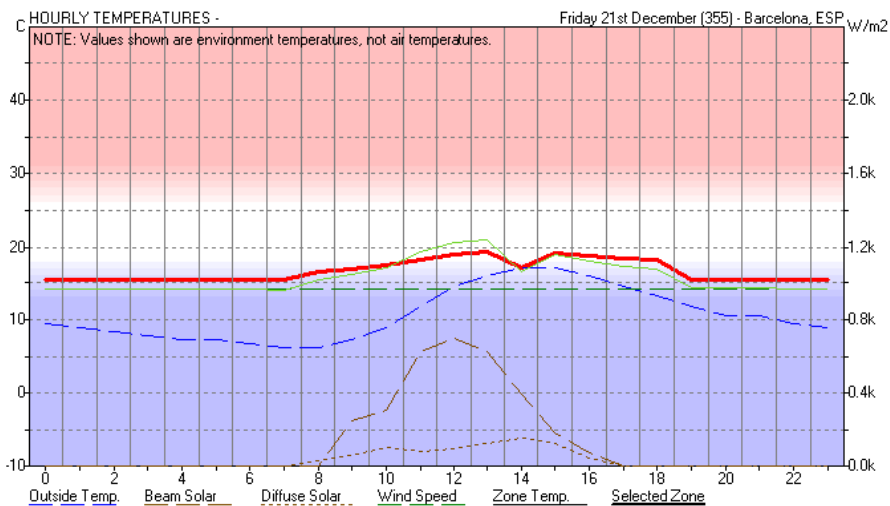


Ilustración 40. Gráfico de temperatura para el día 21 de diciembre. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011.

Aun así, se ha mejorado la estancia en esta aula notablemente en verano, reduciendo la temperatura en todos los puntos y suavizando las entradas al aula con un choque térmico menos brusco. Por lo que respecta al invierno, se han estabilizado las temperaturas creando una sensación más lineal y constante, pero la disconformidad por frío sigue siendo básicamente la misma.

### Aulas sur y laboratorios

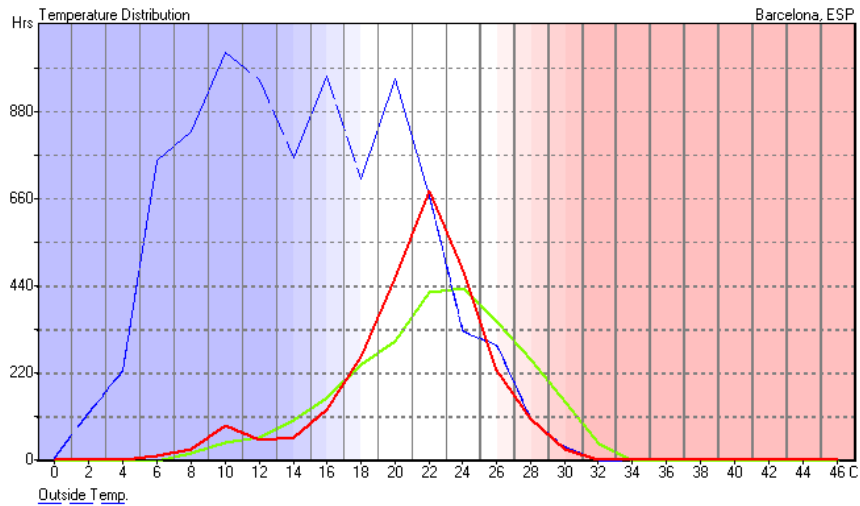


Ilustración 41. Gráfico de distribución de temperatura en el laboratorio de Ciencias. Curva original verde, 67.50 % de horas en confort. Curva optimizado rojo, 80.50 % de horas en confort. Software: Ecotect Analysis 2011.

Como se observa en el gráfico superior, se puede verificar que la distribución de temperatura tiene un resultado bastante similar a fachada norte, salvo pequeños matices. Como es de esperar, en fachada sur la temperatura en invierno es un poco más alta respecto a fachada norte con el mismo sistema constructivo y características térmicas de la zona, es decir, cargas internas y ventilación. Esta mejora afecta en mayor medida para fachadas sur en invierno ya que altura solar es más baja y la incidencia sobre el plano vertical es mayor que en los meses estivales.

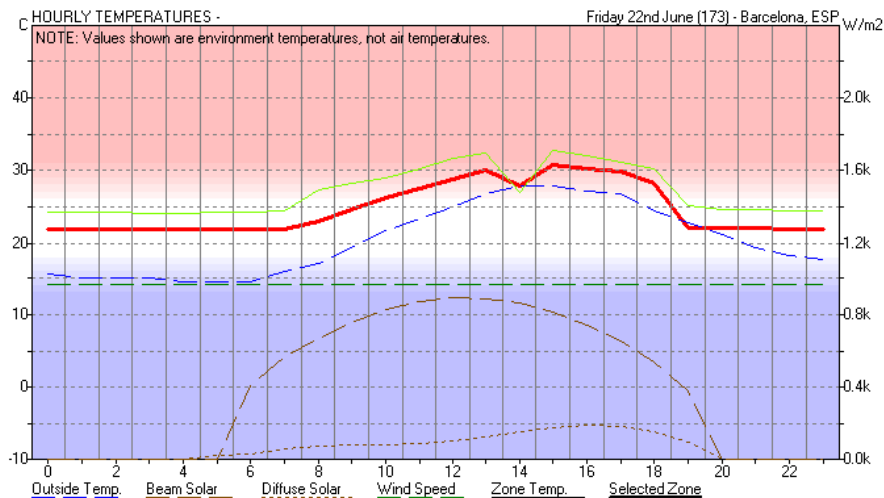


Ilustración 42. Gráfico de temperatura para el día 22 de junio. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011.

Si se observa el gráfico de temperatura para el día 22 de junio, se puede verificar que la temperatura media se ha bajado alrededor de 3 grados con elementos totalmente naturales o pasivos. Del mismo modo, con la optimización en los meses de invierno se ha mejorado sustancialmente el comportamiento térmico de la zona, teniendo una curva de temperatura más constante y con menos variaciones térmicas, además de una entrada al aula más suave.

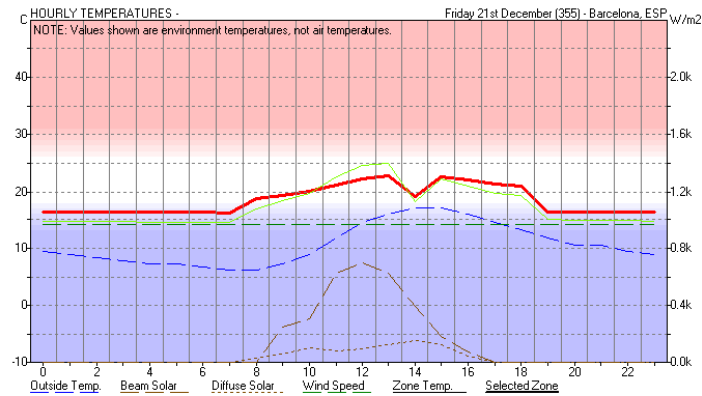


Ilustración 43. Gráfico de temperatura para el día 21 de diciembre. Original curva verde. Optimizado curva roja. Software: Ecotect Analysis 2011.

### 6) Resultados finales

Una vez explicados y valorados los sistemas de optimización de esta tesis, se ha realizado una serie de cálculos con el fin de formalizar los resultados para el total de aulas y laboratorios de los edificios 5 y 6 de este colegio-instituto.

Sala	Ed.	Zona térmica	Original	Ventilación		Ventanas		Aislamiento	
Aula de música	5	Ed. 5 P-1 aulas norte	71,80%	76,10%	4,30%	79,60%	3,50%	80,80%	1,20%
Aula de plástica	5	Ed. 5 P-1 aulas norte	71,80%	76,10%	4,30%	79,60%	3,50%	80,80%	1,20%
Aula ESO 1	5	Ed. 5 P-2 aulas norte	69,90%	79,00%	9,10%	82,20%	3,20%	83,10%	0,90%
Aula ESO 2	5	Ed. 5 P-2 aulas norte	69,90%	79,00%	9,10%	82,20%	3,20%	83,10%	0,90%
Aula ESO 3	5	Ed. 5 P-2 aulas norte	69,90%	79,00%	9,10%	82,20%	3,20%	83,10%	0,90%
Aula complementaria	5	Ed. 5 P-2 aulas norte	69,90%	79,00%	9,10%	82,20%	3,20%	83,10%	0,90%
Aula Bachillerato 1	5	Ed. 5 P-3 aulas norte	69,30%	75,70%	6,40%	79,20%	3,50%	80,20%	1,00%
Aula Bachillerato 2	5	Ed. 5 P-3 aulas norte	69,30%	75,70%	6,40%	79,20%	3,50%	80,20%	1,00%
Aula Bachillerato 3	5	Ed. 5 P-3 aulas norte	69,30%	75,70%	6,40%	79,20%	3,50%	80,20%	1,00%
Aula Bachillerato 4	5	Ed. 5 P-3 aulas norte	69,30%	75,70%	6,40%	79,20%	3,50%	80,20%	1,00%
Aula Dibujo	6	Ed. 6 P-2 aulas sur	64,50%	66,40%	1,90%	71,10%	4,70%	72,50%	1,40%
Aula Taller	6	Ed. 6 P-2 aulas sur	64,50%	66,40%	1,90%	71,10%	4,70%	72,50%	1,40%
Aula ESO 4	6	Ed. 6 P-2 aulas norte	70,50%	77,40%	6,90%	81,30%	3,90%	82,60%	1,30%
Aula ESO 5	6	Ed. 6 P-2 aulas norte	70,50%	77,40%	6,90%	81,30%	3,90%	82,60%	1,30%
Aula ESO 6	6	Ed. 6 P-2 aulas norte	70,50%	77,40%	6,90%	81,30%	3,90%	82,60%	1,30%
Aula Informática	6	Ed. 6 P-3 aulas sur	68,00%	74,10%	6,10%	79,50%	5,40%	79,80%	0,30%
Aula Tecnología	6	Ed. 6 P-3 aulas sur	68,00%	74,10%	6,10%	79,50%	5,40%	79,80%	0,30%
Aula ESO 7	6	Ed. 6 P-3 aulas norte	64,30%	81,30%	17,00%	81,90%	0,60%	82,40%	0,50%
Aula ESO 8	6	Ed. 6 P-3 aulas norte	64,30%	81,30%	17,00%	81,90%	0,60%	82,40%	0,50%
Aula ESO 9	6	Ed. 6 P-3 aulas norte	64,30%	81,30%	17,00%	81,90%	0,60%	82,40%	0,50%
Lab. Biología	6	Ed. 6 P-4 lab. Sur	67,50%	76,10%	8,60%	80,20%	4,10%	80,90%	0,70%
Lab. Física-Ciencias	6	Ed. 6 P-4 lab. Sur	67,50%	76,10%	8,60%	80,20%	4,10%	80,90%	0,70%
Lab. Química	6	Ed. 6 P-4 lab. Sur	67,50%	76,10%	8,60%	80,20%	4,10%	80,90%	0,70%
Aula ESO 10	6	Ed. 6 P-4 aulas norte	66,20%	79,30%	13,10%	82,30%	3,00%	82,60%	0,30%
Aula ESO 11	6	Ed. 6 P-4 aulas norte	66,20%	79,30%	13,10%	82,30%	3,00%	82,60%	0,30%
Aula ESO 12	6	Ed. 6 P-4 aulas norte	66,20%	79,30%	13,10%	82,30%	3,00%	82,60%	0,30%
			<b>68,11%</b>	<b>76,70%</b>	<b>8,59%</b>	<b>80,12%</b>	<b>3,42%</b>	<b>80,96%</b>	<b>0,84%</b>
Total horas confort con optimización =									<b>12,85%</b>

Tabla 4. Cantidad en % de tiempo en confort en horas de uso. "Original" indica el valor sin optimización. "Ventilación" indica el valor con la propuesta de ventilación. "Ventanas" indica el valor con la propuesta de optimización de ventanas. "Aislamiento" indica el valor con la propuesta de optimización del sistema de aislamiento de los cerramientos. Incremento total de horas en confort en 12.57%. Elaboración propia.

Observando la tabla 4 detenidamente se pueden comprobar diferentes aspectos importantes que desarrollan de forma más o menos clara los distintos patrones de comportamiento de cada zona térmica. En el caso del aula de dibujo, se puede ver una baja mejora por la optimización en el sistema de ventilación, pero se nota una mejora mucho mayor por la mejora de la transmitancia de las ventanas. Estos datos son un reflejo de lo comentado justo en el apartado anterior.

Pasa justamente lo contrario con las zonas donde las cargas internas son muy elevadas debido a la gran cantidad de personas que están dentro de un valor relativamente pequeño de metros cuadrados, como pasa en los casos de las aulas de fachada ESO norte y sur.

Por último, un dato para nada despreciable es el valor tan bajo por la optimización del aislamiento térmico en los cerramientos opacos y en los forjados sanitarios, donde apenas el incremento medio llega al 1 % del total de horas de uso. Este hecho implica que el aislamiento térmico no es para nada la primera opción a tener en cuenta en muchos casos cuando se pretende mejorar la eficiencia energética de un edificio, mediante arquitectura bioclimática.

Sala	Ed.	Original	Original (Kwh)			Optimización (Kwh)			Ahorro
			Calefacción	Refrigeración	Total	Calefacción	Refrigeración	Total	
Aula de música	5	71,80%	42,18	905,08	947,20	11,20	630,38	641,58	305,62
Aula de plástica	5	71,80%	42,18	905,08	947,20	11,20	630,38	641,58	305,62
Aula ESO 1	5	69,90%	175,96	198,65	374,60	112,76	205,75	318,51	56,09
Aula ESO 2	5	69,90%	175,96	198,65	374,60	112,76	205,75	318,51	56,09
Aula ESO 3	5	69,90%	175,96	198,65	374,60	112,76	205,75	318,51	56,09
Aula complementaria	5	69,90%	175,96	198,65	374,60	112,76	205,75	318,51	56,09
Aula Bachillerato 1	5	69,30%	95,13	190,49	285,62	79,23	161,05	240,28	45,34
Aula Bachillerato 2	5	69,30%	95,13	190,49	285,62	79,23	161,05	240,28	45,34
Aula Bachillerato 3	5	69,30%	95,13	190,49	285,62	79,23	161,05	240,28	45,34
Aula Bachillerato 4	5	69,30%	95,13	190,49	285,62	79,23	161,05	240,28	45,34
Aula Dibujo	6	60,50%	35,45	408,86	439,31	60,10	234,26	294,37	144,94
Aula Taller	6	60,50%	35,45	408,86	439,31	60,10	234,26	294,37	144,94
Aula ESO 4	6	68,60%	17,99	268,86	286,79	26,73	178,65	205,39	81,40
Aula ESO 5	6	68,60%	17,99	268,86	286,79	26,73	178,65	205,39	81,40
Aula ESO 6	6	68,60%	17,99	268,86	286,79	26,73	178,65	205,39	81,40
Aula Informática	6	68,50%	42,31	494,96	537,28	90,96	191,37	282,33	254,95
Aula Tecnología	6	68,50%	42,31	494,96	537,28	90,96	191,37	282,33	254,95
Aula ESO 7	6	64,70%	21,31	537,36	558,67	17,56	440,17	457,73	100,94
Aula ESO 8	6	64,70%	21,31	537,36	558,67	17,56	440,17	457,73	100,94
Aula ESO 9	6	64,70%	21,31	537,36	558,67	17,56	440,17	457,73	100,94
Lab. Biología	6	67,50%	10,33	492,10	502,43	41,53	150,83	192,36	310,07
Lab. Física-Ciencias	6	67,50%	10,33	492,10	502,43	41,53	150,83	192,36	310,07
Lab. Química	6	67,50%	10,33	492,10	502,43	41,53	150,83	192,36	310,07
Aula ESO 10	6	66,20%	19,83	352,86	372,69	37,75	234,32	272,08	100,61
Aula ESO 11	6	66,20%	19,83	352,86	372,69	37,75	234,32	272,08	100,61
Aula ESO 12	6	66,20%	19,83	352,86	372,69	37,75	234,32	272,08	100,61
				11650,19			8054,40	3595,79	31%

Tabla 5. Demanda anual en Kw-h de sistemas de calefacción y refrigeración del proyecto original y optimizado. Ahorro total del 31 %, 4286,99 Kw-h. Rango de confort entre 18 – 26 grados celsius Elaboración propia.

De forma complementaria, se ha realizado un cálculo aproximativo de las necesidades energéticas para climatizar cada zona analizada, y realmente queda constancia de que las optimizaciones han dado resultados coherentes y para nada despreciables. Cabe destacar de este punto, que depende de la configuración final de la ventilación, ciertos parámetros cambian significativamente aumentando o disminuyendo la demanda energética en gran medida.

## 6. Discusión

### 6.1. Factor humano, uso y mantenimiento

Con todo lo comentado anteriormente, existen parámetros muy importantes que no se han definido de forma detallada en este documento pero que es importante como mínimo hacer una pequeña mención. El factor humano en este tipo de diseños es obviado muchas veces y puede arrojar resultados finales contraproducentes si no se han tenido en cuenta en el momento de diseñarlos, y es por este motivo por el cual todas las modificaciones que se han propuesto en este documento son de carácter fijo y no requieren manipulación por parte del usuario. Es cierto que las ventanas pueden estar abiertas para por salubridad o por temperatura, pero en principio está contemplado como totalmente estanco y dejando trabajar a los aireadores fijos.

Sim embargo, estos aireadores sí que tienen algún tipo de control ya que, de una forma u otra, para conseguir esas renovaciones/hora en invierno diferentes a las de verano, se ha de manipular para conseguir tal efecto. Ciertamente que es este tipo de accionamientos se suelen utilizar de forma manual, aunque la elección de este sistema en concreto es por el simple hecho de que puede ser domotizado, evitando así el control parcial o total del ser humano.

Por otro lado, es importante destacar el correcto mantenimiento del edificio, es decir, el supuesto escogido para la visibilidad y transparencia de los vidrios es del 90 %. Con esto se consigue reducir un 10 % la visibilidad por motivos de limpieza de los elementos transparentes. En este punto, el usuario final juega un papel fundamental, ya que conseguir este valor de transparencia del vidrio requiere un mantenimiento semanal que es difícil de controlar y muchas veces se obvia totalmente, sobre todo en momentos de crisis económica.

Respecto a la iluminancia de las aulas, aunque es cierto que el valor de autonomía optimizado es siempre mejor que el calculado en el proyecto original, otra vez es importante destacar que, aunque el alumbrado está correctamente dividido en 3 filas y varias columnas dependiendo del tipo de aula, muchas veces el uso de estos elementos lumínicos no es el adecuado. Por ejemplo, en muchos casos con solo encender una fila de luces (la de más profundidad del aula) sería más que suficiente para conseguir la iluminancia mínima en toda el aula, pero por motivos más o menos prácticos, se activan todos los interruptores utilizando energía eléctrica de una forma innecesaria. Esto se podría llegar a solucionar colocando correctamente fotocélulas con el fin de detectar el valor mínimo de iluminación en ciertos puntos del aula y activarlo de forma automática.

En resumidas cuentas, la domótica juega un papel crucial de cara a la sostenibilidad de los edificios, sobre todo, si son de carácter público o de uso terciario, ya que el mantenimiento y el uso correcto de las instalaciones es mucho más remarcable que en el ámbito doméstico.

### 6.2. Coste energético y huella de carbono

Para valorar el coste energético y la huella de carbono aproximado de la construcción del instituto se ha llevado a cabo un cálculo de los mismos a través del presupuesto original. Para ello, se ha utilizado la aplicación de presupuestos TCQ 2000 con su extensión MMA (*Mòdul MediAmbiental*), que permite calcular la energía consumida durante la ejecución, por la producción de los materiales y por el uso de la maquinaria, y los kilogramos de CO<sub>2</sub> correspondientes a este consumo energético. El banco de datos utilizados es el BEDEC.

Se han obtenido los valores siguientes (*Véase Anexo 9.7*):

- Coste energético de los materiales: 33.628.374,94 MJ
- Coste energético de la maquinaria: 2.967.443,59 MJ



Cabe destacar, que de los 33.628.374,94 MJ consumidos para la producción de todos los materiales, aproximadamente el 42% corresponde a la producción y colocación de los diferentes tipos y usos del acero empleados en la obra. Los diferentes tipos de hormigón y paneles de hormigón prefabricado, suponen aproximadamente un 23% del coste energético de la ejecución. Respecto a la maquinaria, el uso de gasoil representa un 92% de los 2.967.443,59 MJ.

Una vez analizados estos resultados, se recomienda sustituir, siempre que sea posible, las partidas con mayor entidad energética, es decir, las que contienen hormigón y acero, por otras de similares características, pero con un coste energético menor, ya sea por su fabricación y ejecución. Para reducir el impacto energético de la maquinaria, es interesante analizar el consumo de gasoil en las fichas técnicas proporcionadas por el fabricante, y escoger las que el más reducido.

La huella de carbono permite obtener la cantidad de CO<sub>2</sub> que representa el consumo energético de la construcción del instituto. Se ha calculado dicha huella de carbono con las herramientas antes mencionadas, y se han obtenido los siguientes valores:

- Huella de carbono de los materiales: 3.494.947,11 Kg de CO<sub>2</sub>.
- Coste energético de la maquinaria: 747.700,34 Kg de CO<sub>2</sub>.

La huella de carbono total es de 4.242.647,45 Kg de CO<sub>2</sub>. Teniendo en cuenta que una hectárea de bosque español absorbe 3,92 toneladas de CO<sub>2</sub> al año, se necesitarían 1082,31 ha de bosque español, una superficie equivalente a 1800 campos de fútbol aproximadamente para absorber todo este CO<sub>2</sub> en un año.

Según “Well to tank Report, version 4.0” del Joint Research Intitute, el factor de conversión de Kw·h de calefacción es de 0,311, mientras que para el consumo eléctrico a nivel nacional es de 0,399. Por lo tanto, utilizando estos parámetros podemos calcular el ahorro en Kg de CO<sub>2</sub>, gracias a las optimizaciones a lo largo de su vida útil estimada (75 años). El resultado aproximado es de 97.625,70 Kg de CO<sub>2</sub>.

Por otro lado, con estos mismos parámetros, el ahorro producido por las luminarias del edificio para la misma vida útil del edificio, tiene una reducción de 26.140,99 Kg de CO<sub>2</sub>.

Gracias a la electricidad generada por las lamas fotovoltaicas planteadas en la sección 5.1, con una vida útil de 20 años, se evita un consumo de electricidad equivalente a 277.289,04 Kg de CO<sub>2</sub>.

Finalmente, el ahorro total es de 401.055,73 Kg de CO<sub>2</sub>. Si este valor lo representamos con el total de centros educativos en el territorio español, 27.790 (según MECD), tenemos un resultado de 11.145.338,74 Tn de CO<sub>2</sub>.

### 6.3. Trabajos futuros

En este apartado se van a plantear posibles casos de estudio vinculados al estudio realizado en esta tesis, con el fin de valorar diferentes opciones para posibles investigaciones futuras. Para empezar, una de los conceptos más interesantes relacionados directamente con la sostenibilidad es el análisis de ciclo de vida, por ello, se podría analizar todos los materiales utilizados en este proyecto e intentar analizar su fuente de materia prima, cadena de suministros, uso en el edificio y, posteriormente, el desechado, con el fin de valorar cuál de los materiales utilizados son los más adecuados desde una valoración de Kg de CO<sub>2</sub>.

Paralelamente a este posible estudio, sería muy interesante el plantear posibles cambios en los sistemas constructivos, como pueden ser ventanas, cerramientos opacos, cubiertas, forjados, realizados con materiales pétreos o derivados. Para ello podrían analizarse optativas entre materiales como la madera, PVC, fibra de vidrio, tierra en todas sus variantes, etc.

Otra línea de investigación que podría ser muy interesante es estudiar el complejo comportamiento térmico de cada una de las aulas con el fin de calcular el sistema de ventilación natural (pasiva o mecánica) con el fin de encontrar algún tipo de ratio que permita simplificar el cálculo en base a las cargas internas y la transmitancia de la envolvente.

Con un punto de vista hacia el futuro, se podría estudiar cómo se comportaría en términos de energía y dinero en un futuro próximo, con un coste de los materiales y de la energía más elevado.

Dado que existen varios programas de cálculo de la misma índole que Ecotect, para mí sería muy interesante poder comparar resultados con otros simuladores como pueden ser Energy plus o Green Design, para ver la “validez” de los resultados en base a un marco teórico igual para los tres casos.

Por último, en este documento se ha analizado la demanda del edificio, dejando totalmente de lado el consumo, para ello se podría realizar una auditoria real en base a los consumos reales de energía, ya sea en climatización, luz, gas, etc. Con esto se podría verificar el impacto del factor humano en los diseños arquitectónicos y plantear sistemas más automatizados para evitar la manipulación y el mantenimiento.

## 7. Conclusión

Una vez realizado el análisis y las modificaciones pertinentes se ha podido apreciar que, realizando modificaciones simples, es decir, modificaciones que no afectan a la estructura, configuración y geometría de los espacios, se ha conseguido reducir notablemente la demanda energética, un 18% para la demanda de iluminación artificial y un 31% para la demanda de climatización. Aun así, dado que el único edificio que no consume o no tiene demanda es que el que no se construye y, como este valor este lejos de la demanda energética nula, queda un largo trabajo para mejorar la sostenibilidad en el ámbito de la construcción y cerrar finalmente el ciclo de los recursos, ya sean materiales o energéticos.

Tal y como se planteó en la propuesta, ha resultado muy interesante realizar el estudio sobre un instituto, ya que tiene una tipología de espacios muy diversa, con unas características y demanda variadas, pudiéndose así plantear diferentes modificaciones dependiendo de la zona considerada. Esto resulta muy interesante, pero cabe destacar que el instituto también tiene unas características, tales como horario y calendario, que limitan mucho el alcance de la optimización, además de limitar mucho el tipo de alternativas a plantear, ya sea por motivos técnicos o por la normativa a aplicar por G.I.S.A., como por ejemplo la restricción a la utilización de cubierta ajardinada, una opción ha valorado al comienzo del proyecto.

Analizando las mejoras que se han planteado, se puede apreciar que las herramientas principales para reducir la demanda energética, sobretodo en la climatización en el aula, son la reducción de la transmitancia, la ventilación y, en menor medida, el correcto diseño de la inercia térmica de los cerramientos. Esto supone un regreso a las herramientas utilizadas por nuestros predecesores en la arquitectura tradicional. Por ello, dados los resultados obtenidos en esta tesis, sería conveniente retomar esta serie de herramientas y criterios, utilizándolos como una base a la hora de plantear las diferentes soluciones constructivas de la actualidad, y utilizar la arquitectura bioclimática como pilar fundamental en la reducción de la demanda de los edificios.

Es importante remarcar la importancia que puede llegar a tener los sistemas pasivos de reducción de la demanda, y como pensando primeramente en el estudio de la ventilación y sistemas con o sin inercia térmica, sobre el uso de aislamiento térmico. Parece que el aislamiento térmico viene siendo la panacea para la eficiencia energética, pero como se ha comprobado en este estudio, el hecho de doblar la cantidad de aislamiento, cumpliendo el CTE, no aporta demasiada mejora desde un punto de vista de la demanda.

En la actualidad, los estudios como el que se ha llevado a cabo en este documento no son muy usuales, especialmente el de análisis de la luz natural diurna. Visualizando el ahorro que se podría obtener realizando un análisis previo de este tipo, se puede apreciar la importancia del mismo y, además, el coste económico que supone su realización se ve compensado con creces con el ahorro energético obtenido. Por ello sería conveniente que este tipo de estudios deberían ser una parte más de la memoria de todos los proyectos, y deberían ser analizados de una forma totalmente explícita.

Finalmente, gracias estudio del coste energético y huella de carbono del instituto, cabe destacar el terrible impacto ambiental que tiene la construcción sobre el medio. Aun así, es impensable paralizar el sector de la construcción, ya que su misión es satisfacer una demanda social, aunque sí es cierto que hay que sensibilizar a los diferentes agentes de este sector, para así focalizar todos los esfuerzos en diseñar teniendo en cuenta los recursos disponibles y finitos, y conseguir un desarrollo sostenible.

## 8. Bibliografía

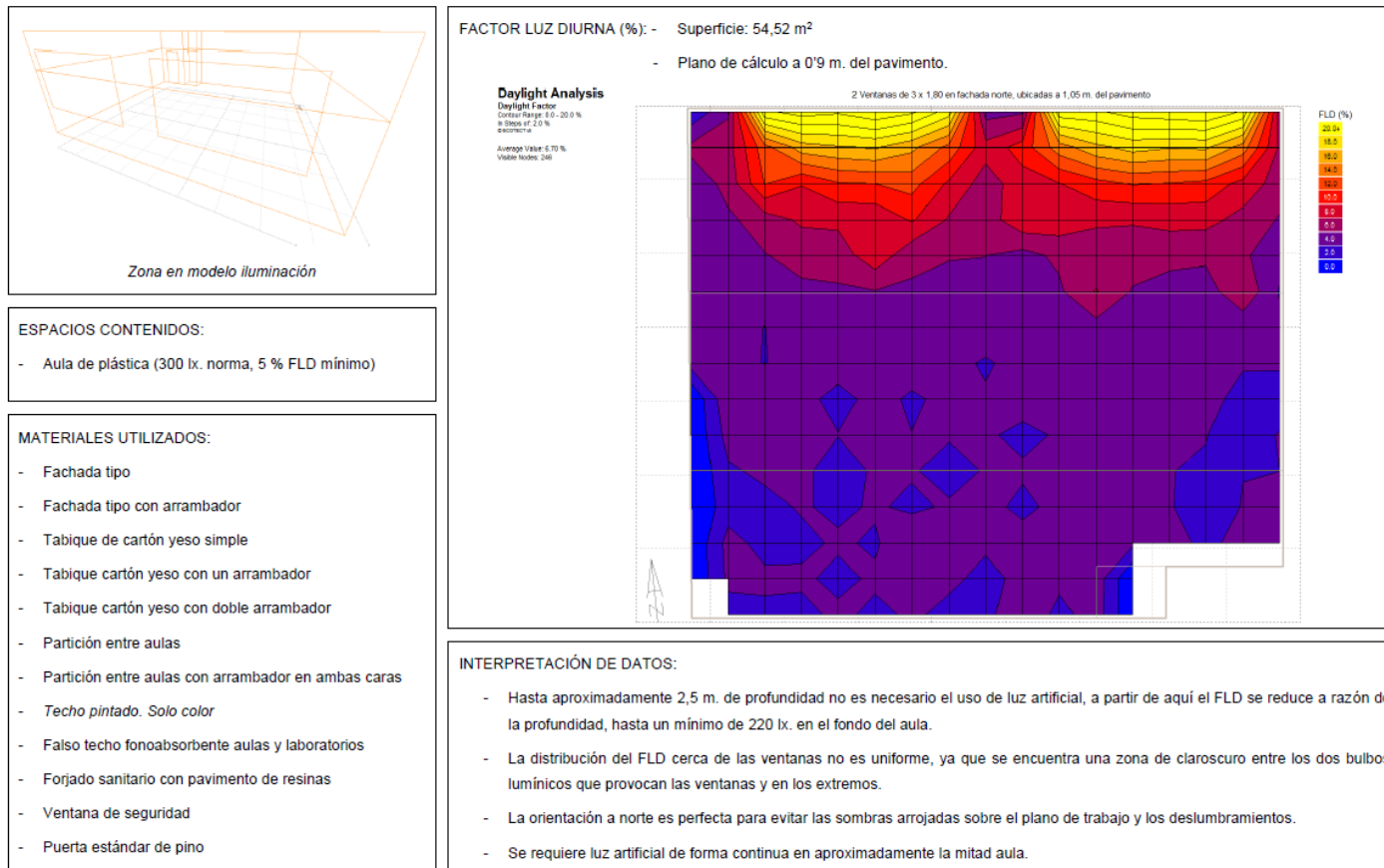
- [1] Odum, H.T. 1981. Energía, economía, ecología. L'Arcobaleno (Italian journal), pp. 6, 11.
- [2] Bedoya, F. G. (2010). Pautas para la construcción sostenible en Colombia. Bogotá-calí-Medellín. Bogotá: Concejo nacional de arquitectura y sus profesiones auxiliares. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca.
- [3] Ramírez, J. (2005). Metodología para el inventario y evaluación de caminos rurales. JCYL, Cons. Medio Ambiente.
- [4] Olgyay, V. (1998). Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.
- [5] Díaz, C. A. (2009). En busca de la protección del patrimonio construido en adobe. Estudio de caso del centro histórico de Villavicencio, Colombia, siglos XIX y XX. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- [6] Helmut Köster (2.004), Dynamic daylighting architecture (Basics, systems, projects). Ed. Birkhäuser.
- [7] Marc Fontoynt (1.999), Daylight performance of buildings. Ed. James & James (Science publishers) for the European Commission Directorate General XII for Science, Research and Development.
- [8] David Anink et al (1.996), Handbook of Sustainable Building. Ed. James & James (Science Publishers).
- [9] Torben Dahl (2.008), Climate and Architecture. Ed. Routledge.
- [10] Dominique Gauzin-Müller (2.001). Arquitectura ecológica. Ed. Gustavo Gili S.A.
- [11] F. Javier Neila González (2.004). Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Ed. Munilla-Lería.
- [12] Givoni B, A. (1969) Man, Climate and Architecture. Elsevier Architectural Science Series. Editor Henry J. Cowan; Professor of Architectural Science; University of Sydney. 444-20039-8. Library of Congress Catalog Card 69-15822
- [13] Grupo de trabajo formado por el Comité Español de Iluminación (C.E.I.) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (I.D.A.E.), Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. Fondo editorial del I.D.A.E.
- [14] Chartered Institution of Building Services Engineers London (C.I.B.S.E.) (1.999), Environmental design C.I.B.S.E. Guide A. Ed. The Yale Press Ltd.
- [15] Manuel Olivares Santiago (1.994), Los vidrios bajo emisivos. Materiales de construcción vol. 44, no 236 Octubre, Noviembre y Diciembre de 1.994.
- [16] G.I.S.A. (Gestió de Infraestructures S.A.), Criteris per a la construcció de nous edificis per a centres docents públics.
- [17] Marco Massetti et al (2.008), Influence of thermal mass in the façade on thermal behavior of residential buildings in the mediterranean climate. PLEA 2.008 – 25th Conference on passive and low energy architecture, Dublín.
- [18] H. Asan (2.005), Numerical computation of time lags and decrement factors for different building materials. Ed. Elsevier Ltd.
- [19] Ma del Carmen Giménez Molina (2.011), Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos. Tesis doctoral ETSA-UPM 2.011.

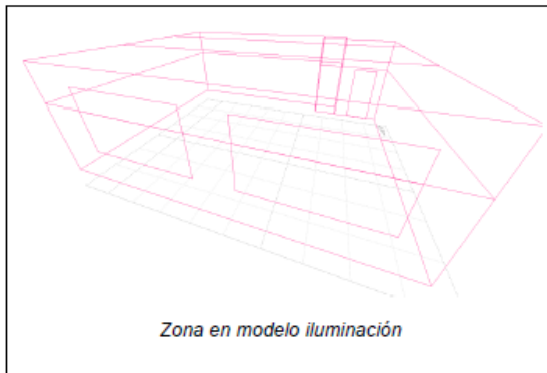
- [20] Fernando Martín Consuegra et al (2.008), Proyecto RECONSOST (Investigación sobre el comportamiento térmico de soluciones constructivas bioclimáticas. Aplicación de nuevas tecnologías para la rehabilitación sostenible de edificios). Proyecto de investigación del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción.

## 9. Anexos

### 9.1. Fichas de estudio de iluminación natural

#### 9.1.1. Edificio 5 (Planta 1): Fachada Norte Aulas





**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula de música (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique de cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado sanitario con pavimento de resinas
- Ventana de seguridad
- Puerta estándar de pino

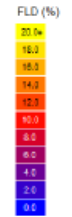
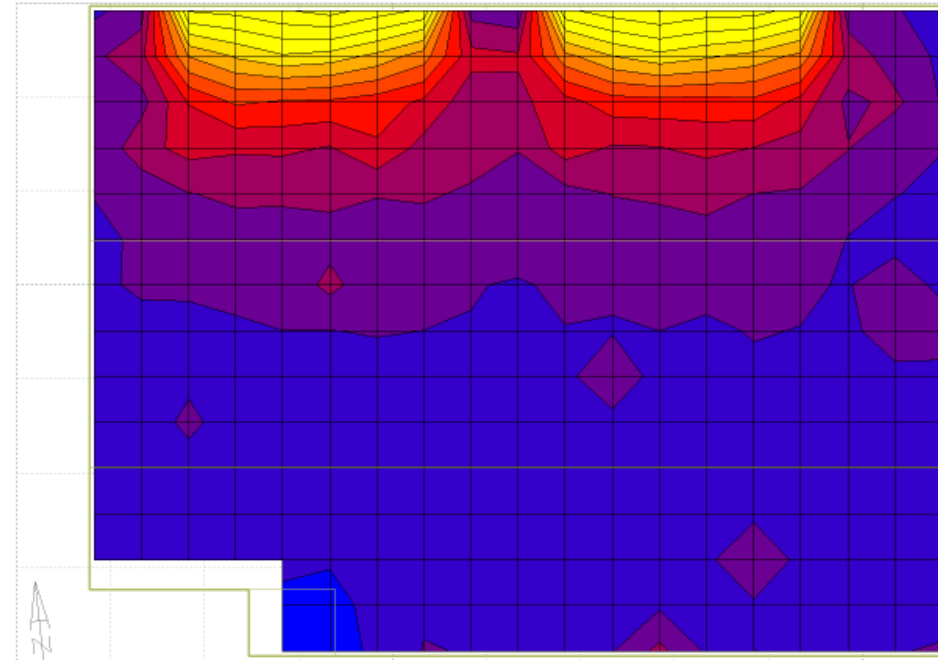
**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 61,82 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

**Daylight Analysis**

Daylight Factor  
 Centour Range: 0.0 - 20.0 %  
 In Steps of: 2.0 %  
 Average Value: 6.94 %  
 Visible Nodes: 277

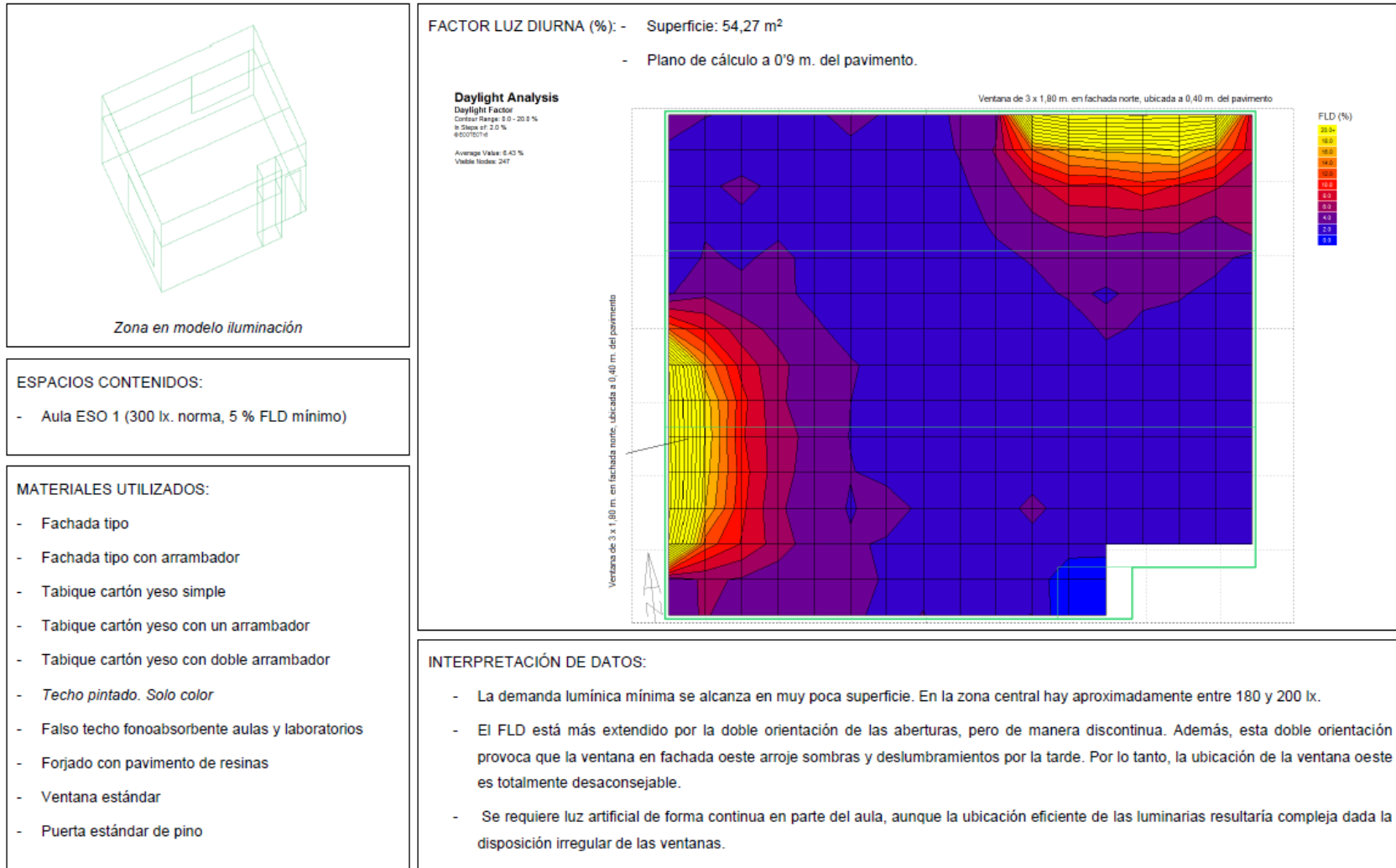
2 Ventanas de 3 x 1,90 m. en fachada norte, ubicadas a 1,05 m. del pavimento



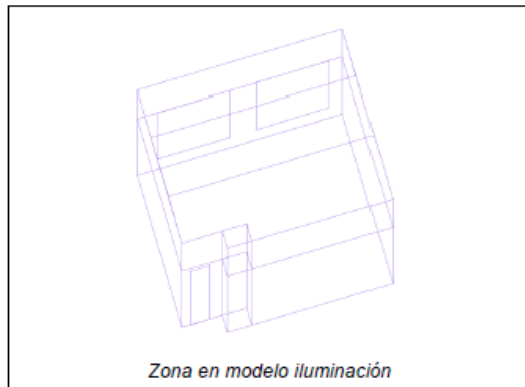
**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta aproximadamente 2,5 m. de profundidad no es necesario el uso de luz artificial, a partir de aquí el FLD se reduce a razón de la profundidad, hasta un mínimo de 240 lx. en el fondo del aula.
- La distribución del FLD cerca de las ventanas no es uniforme, ya que se encuentra una zona de claroscuro entre los dos bulbos lumínicos que provocan las ventanas y en los extremos.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere luz artificial de forma continua en aproximadamente la mitad aula.

### 9.1.2. Edificio 5 (Planta 2): Fachada Norte Aulas







**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula ESO 2 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

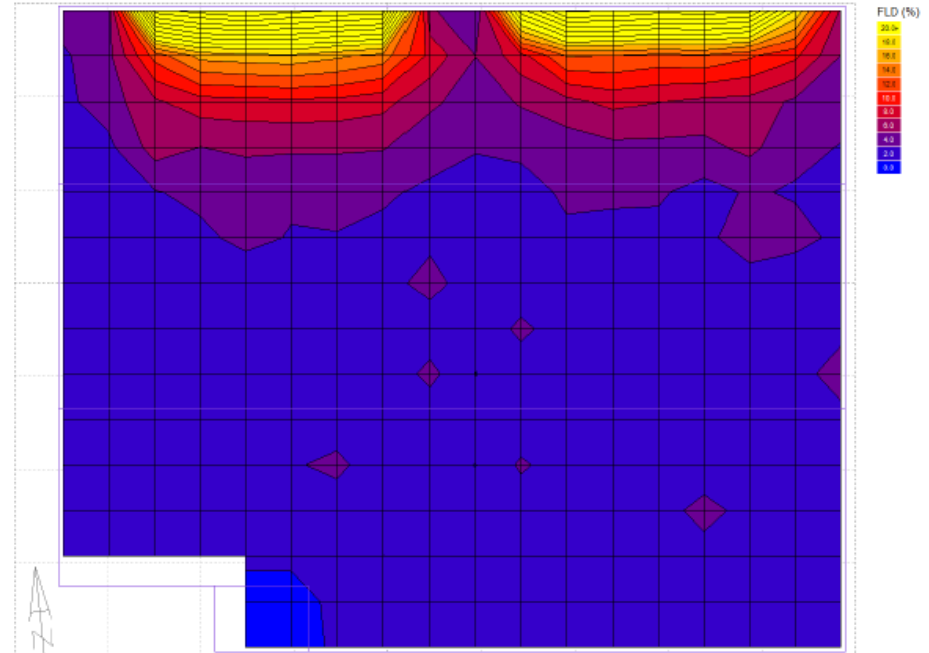
- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrambador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrambador
- Tabique cartón yeso con doble arrambador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrambador en ambas caras
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 57,05 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

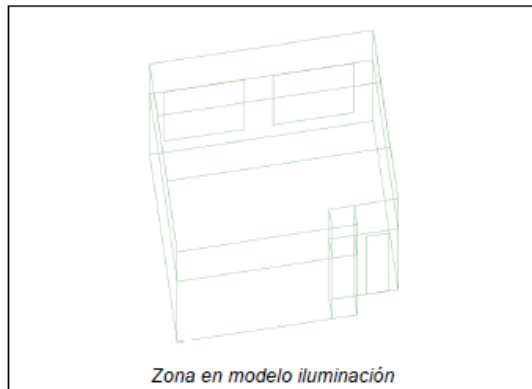
**Daylight Analysis**  
 Daylight Factor  
 Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
 In Steps of: 2.0 %  
 Average Value: 5.52 %  
 Visible Nodes: 262

2 Ventanas de 3 x 1,90 m. en fachada norte, ubicadas a 0,40 m. del pavimento



**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta aproximadamente 2 m. de profundidad no es necesario el uso de luz artificial, a partir de aquí el FLD se reduce a razón de la profundidad, hasta un mínimo de 160 lx. en el fondo del aula.
- La distribución del FLD cerca de las ventanas no es uniforme, ya que se encuentra una zona de claroscuro entre los dos bulbos lumínicos que provocan las ventanas y en los extremos.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere luz artificial de forma continua en aproximadamente la mitad aula.



**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula ESO 3 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

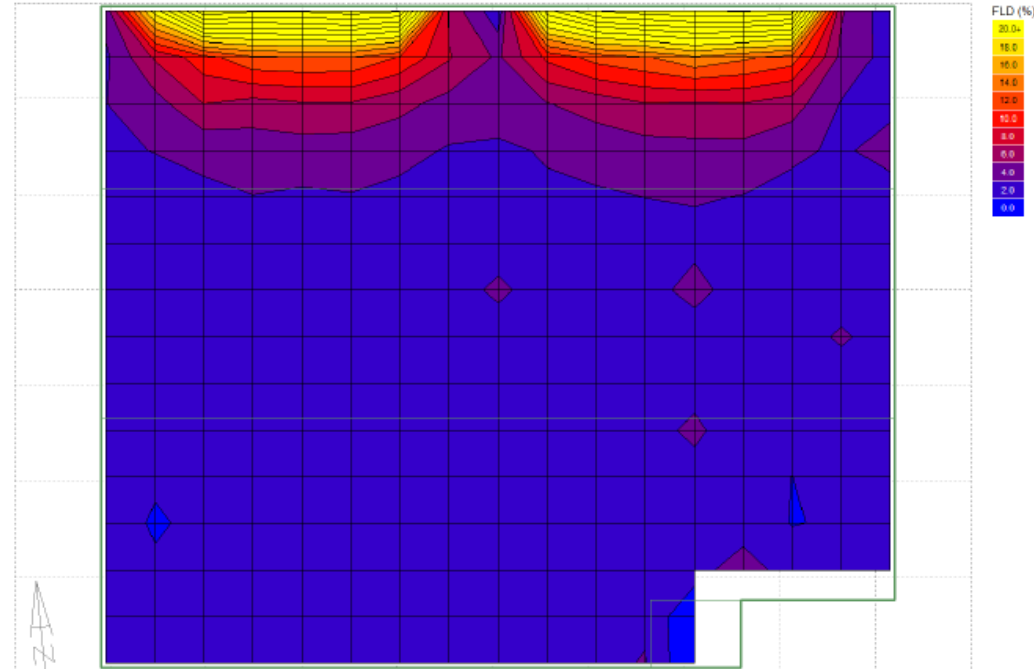
- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrabador en ambas caras
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 56,25 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

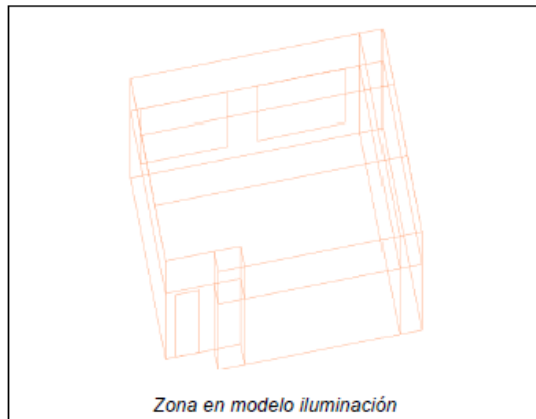
**Daylight Analysis**  
 Daylight Factor  
 Contrast Range: 0.0 - 20.0 %  
 In Steps of: 2.0 %  
 ©2007ECAD  
 Average Value: 5.14 %  
 Visible Nodes: 247

2 Ventanas de 3 x 1,80 m. en fachada norte, ubicadas a 0,40 m. del pavimento



**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta aproximadamente 2 m. de profundidad no es necesario el uso de luz artificial, a partir de aquí el FLD se reduce a razón de la profundidad, hasta un mínimo de 160 lx. en el fondo del aula.
- La distribución del FLD cerca de las ventanas no es uniforme, ya que se encuentra una zona de claroscuro entre los dos bulbos lumínicos que provocan las ventanas y en los extremos.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere luz artificial de forma continua en aproximadamente la mitad aula.



**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula complementaria (300 lx. norma, 5% FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 58,87 m<sup>2</sup>

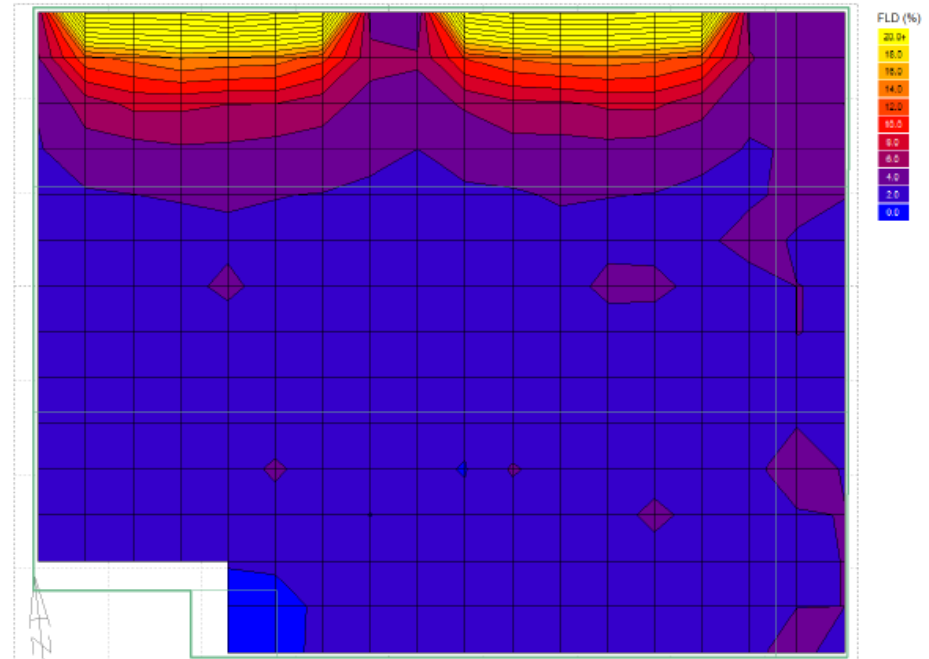
- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

**Daylight Analysis**

Daylight Factor  
Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
In Steps of 2.0 %  
Accuracy: a

Average Value: 5.37 %  
Visible Nodes: 262

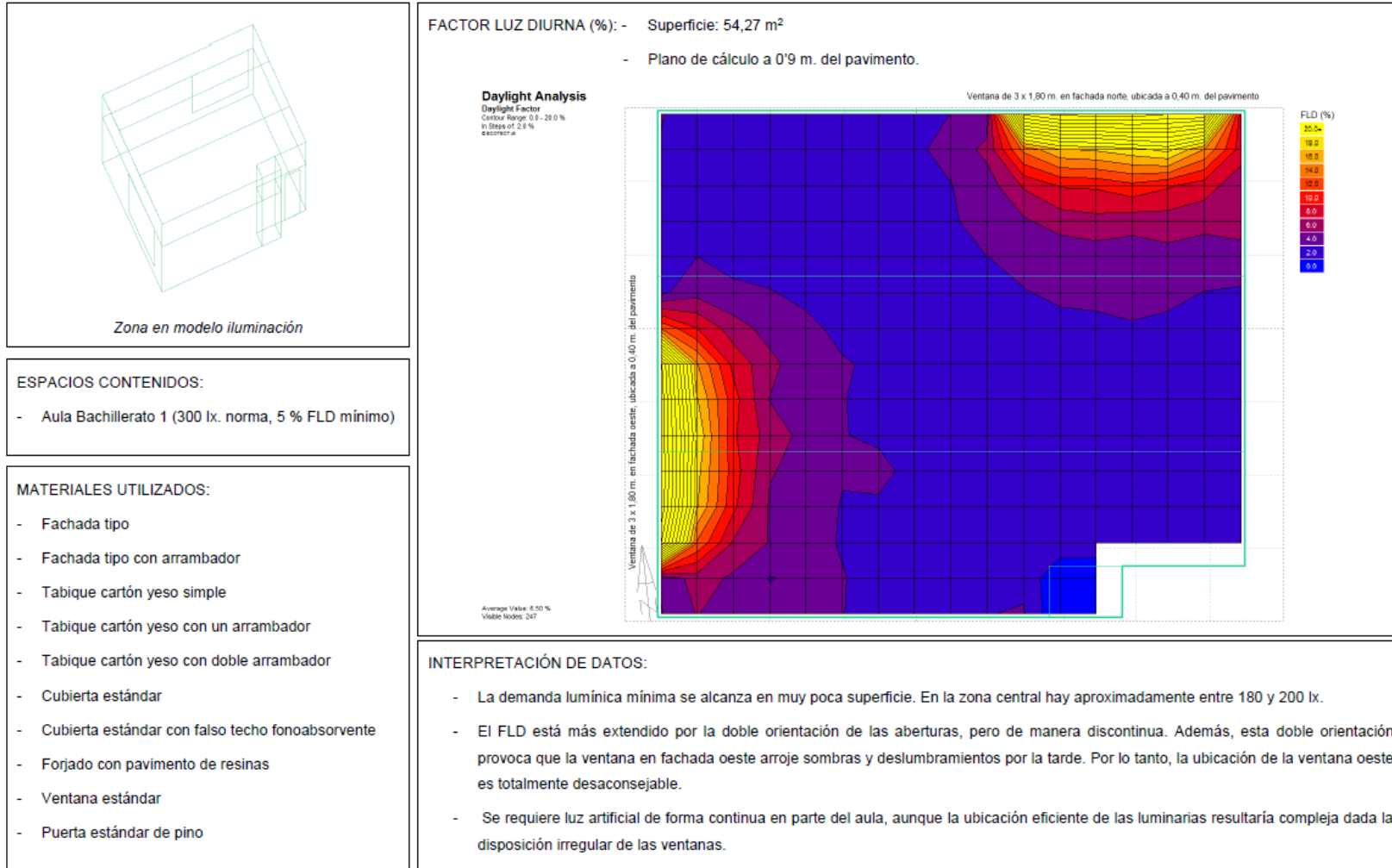
2 Ventanas de 3 x 1,80 m. en fachada norte, ubicadas a 0,40 m. del pavimento

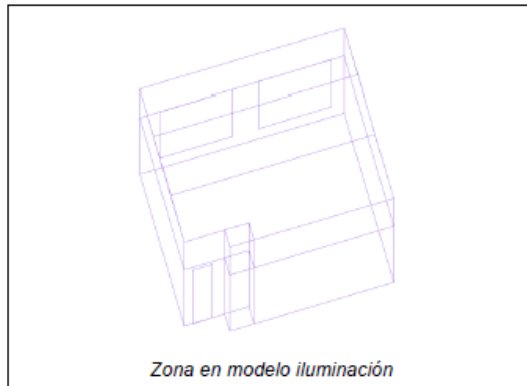


**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta aproximadamente 2 m. de profundidad no es necesario el uso de luz artificial, a partir de aquí el FLD se reduce a razón de la profundidad, hasta un mínimo de 160 lx. en el fondo del aula.
- La distribución del FLD cerca de las ventanas no es uniforme, ya que se encuentra una zona de claroscuro entre los dos bulbos luminicos que provocan las ventanas y en los extremos.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere luz artificial de forma continua en aproximadamente la mitad aula.

### 9.1.3. Edificio 5 (Planta 3): Fachada Norte Aulas





**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula Bachillerato 2 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrambador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrambador
- Tabique cartón yeso con doble arrambador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrambador en ambas caras
- Cubierta estándar
- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 57,05 m<sup>2</sup>

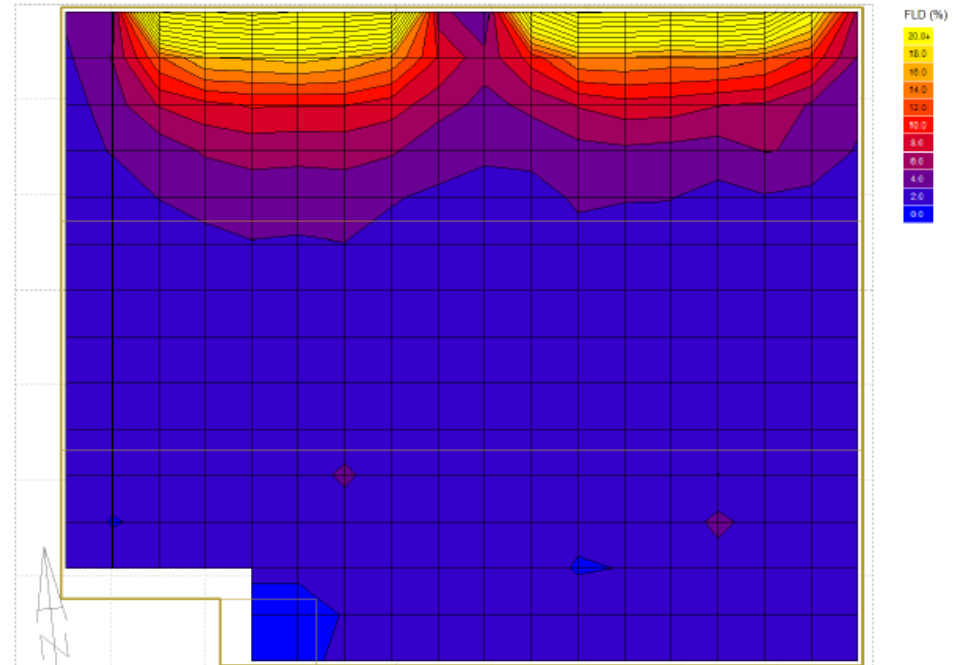
- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

**Daylight Analysis**

Daylight Factor  
 Contrast Range: 0.0 - 20.0 %  
 In Steps of: 2.0 %  
 #60075014

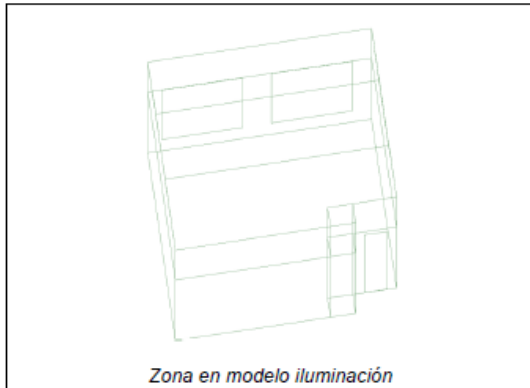
Average Value: 5.03 %  
 Visible Nodes: 202

2 Ventanas de 3 x 1,80 m. en fachada norte, ubicadas a 0,40 m. del pavimento



**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta aproximadamente 2 m. de profundidad no es necesario el uso de luz artificial, a partir de aquí el FLD se reduce a razón de la profundidad, hasta un mínimo de 160 lx. en el fondo del aula.
- La distribución del FLD cerca de las ventanas no es uniforme, ya que se encuentra una zona de claroscuro entre los dos bulbos luminicos que provocan las ventanas y en los extremos.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere luz artificial de forma continua en aproximadamente la mitad aula.



**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula Bachillerato 3 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrabador en ambas caras
- Cubierta estándar
- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 56,25 m<sup>2</sup>

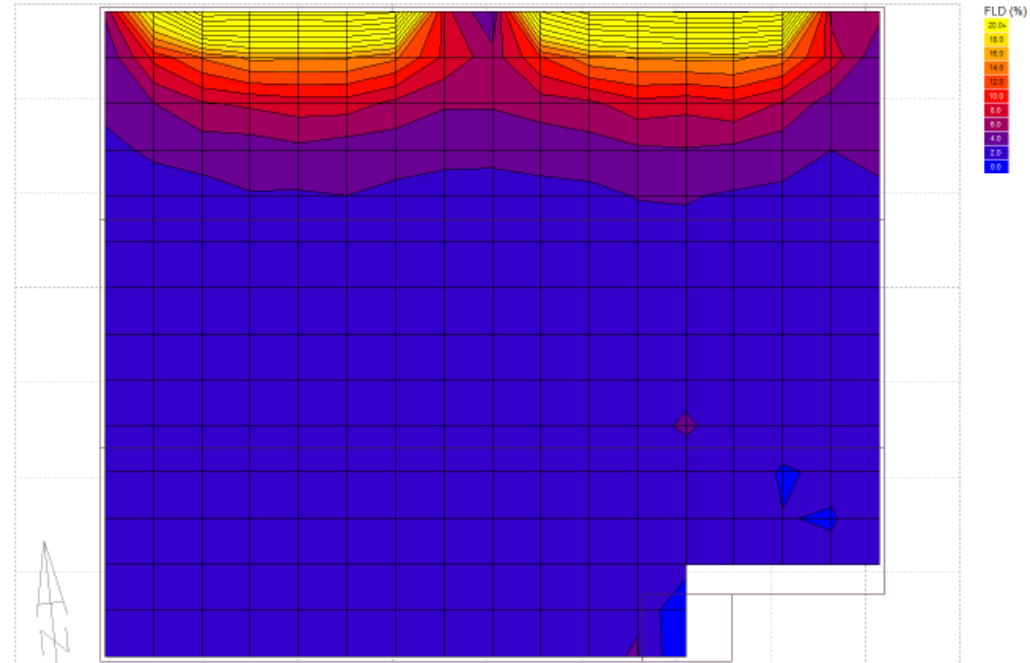
- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

**Daylight Analysis**

Daylight Factor  
 Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
 In Steps of 2.0 %  
 # EDU00716

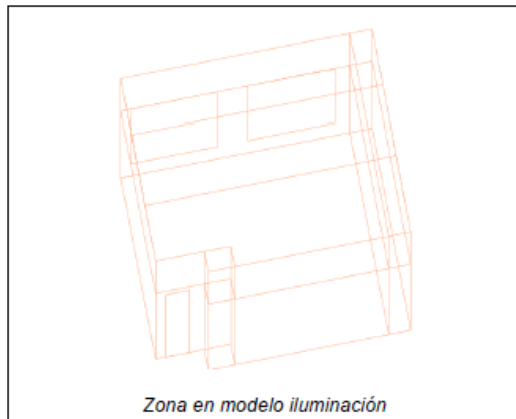
Average Value: 5.46 %  
 Visible Nodes: 247

2 Ventanas de 3 x 1,80 m. en fachada norte, ubicadas a 0,40 m. del pavimento



**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta aproximadamente 2 m. de profundidad no es necesario el uso de luz artificial, a partir de aquí el FLD se reduce a razón de la profundidad, hasta un mínimo de 160 lx. en el fondo del aula.
- La distribución del FLD cerca de las ventanas no es uniforme, ya que se encuentra una zona de claroscuro entre los dos bulbos lumínicos que provocan las ventanas y en los extremos.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere luz artificial de forma continua en aproximadamente la mitad aula.



ESPACIOS CONTENIDOS:

- Aula Bachillerato 4 (300 lx. norma, 5% FLD mínimo)

MATERIALES UTILIZADOS:

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrambador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrambador
- Tabique cartón yeso con doble arrambador
- Cubierta estándar
- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 58,87 m<sup>2</sup>

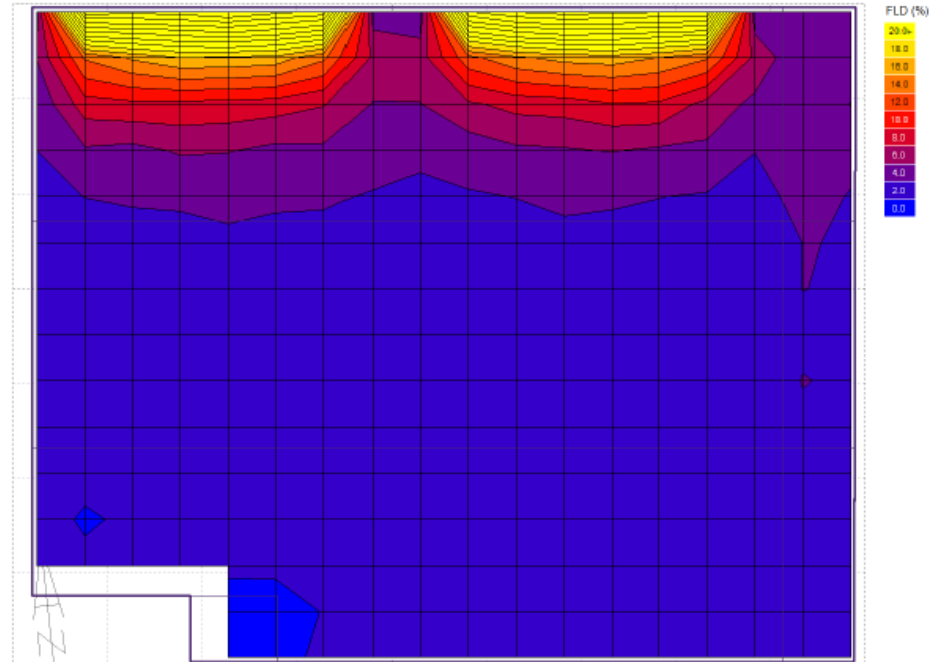
- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

Daylight Analysis

Daylight Factor  
Contrast Range: 0.0 - 20.0 %  
In Steps of 2.0 %  
corrected

Average Value: 5.63 %  
Visible Nodes: 262

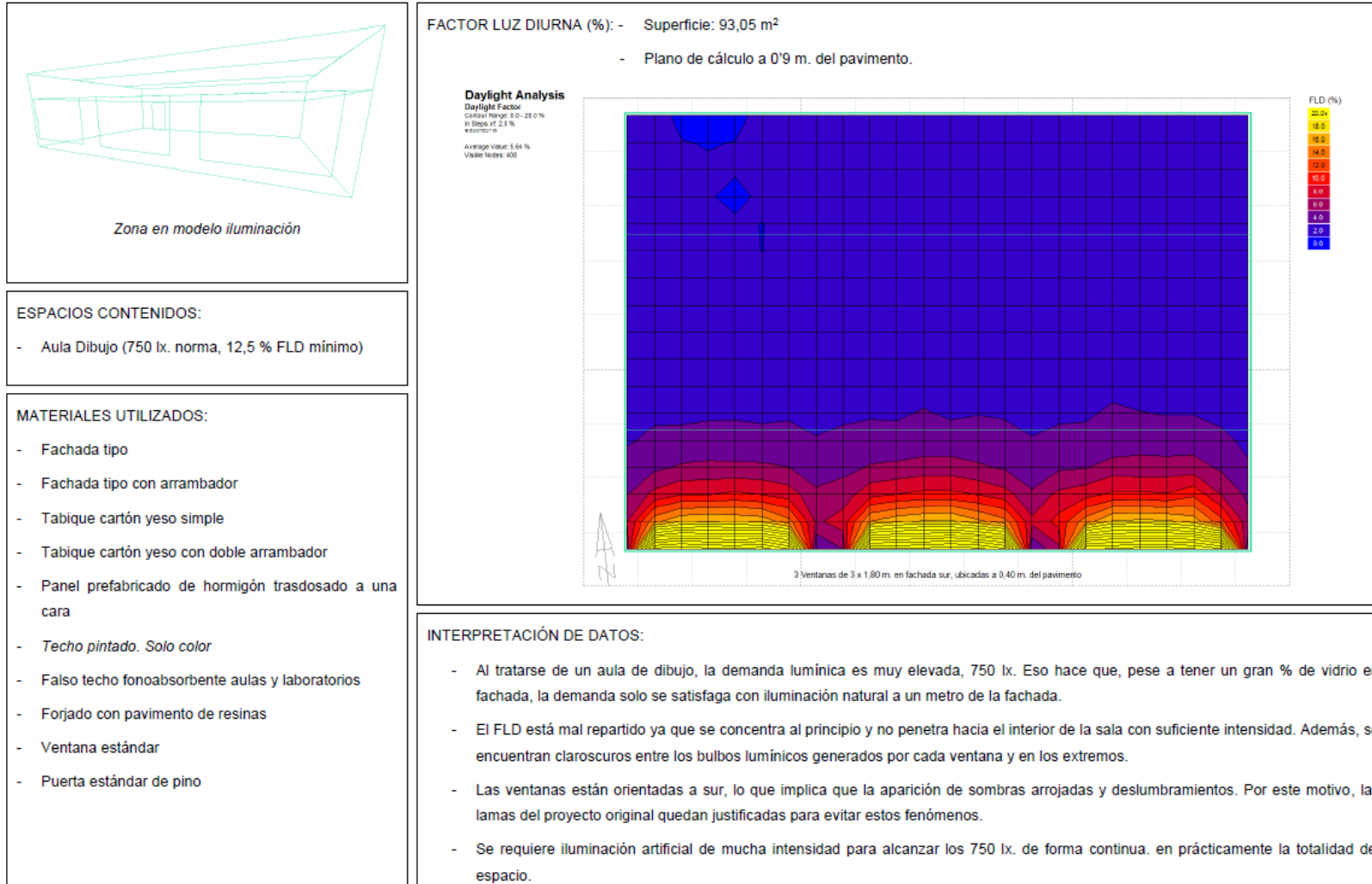
2 Ventanas de 3 x 1,80 m. en fachada norte, ubicadas a 0,40 m. del pavimento



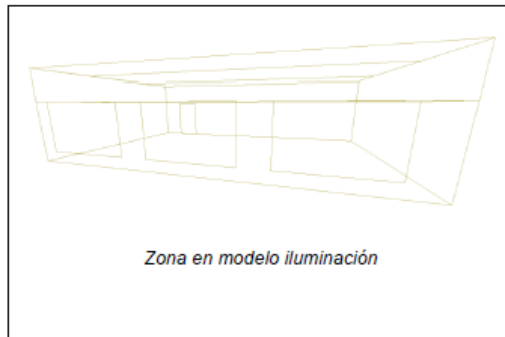
INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- Hasta aproximadamente 2 m. de profundidad no es necesario el uso de luz artificial, a partir de aquí el FLD se reduce a razón de la profundidad, hasta un mínimo de 160 lx. en el fondo del aula.
- La distribución del FLD cerca de las ventanas no es uniforme, ya que se encuentra una zona de claroscuro entre los dos bulbos luminicos que provocan las ventanas y en los extremos.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere luz artificial de forma continua en aproximadamente la mitad aula.

### 9.1.4. Edificio 6 (Planta 2): Fachada Sur Aulas







ESPACIOS CONTENIDOS:

- Aula Taller (500 lx. norma, 8,33 % FLD mínimo)

MATERIALES UTILIZADOS:

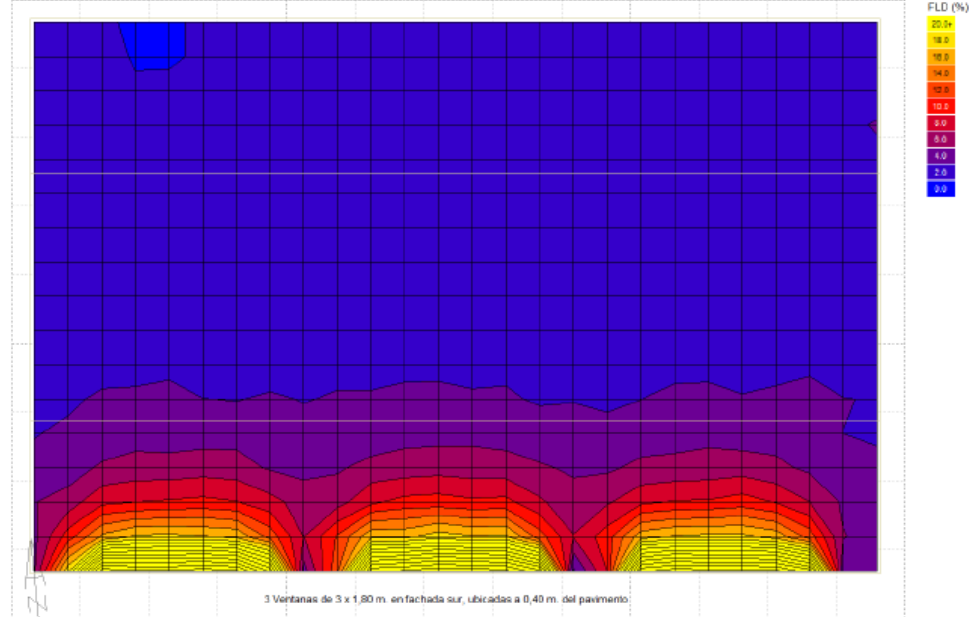
- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Panel prefabricado de hormigón trasdosado a una cara
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 99,88 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

Daylight Analysis

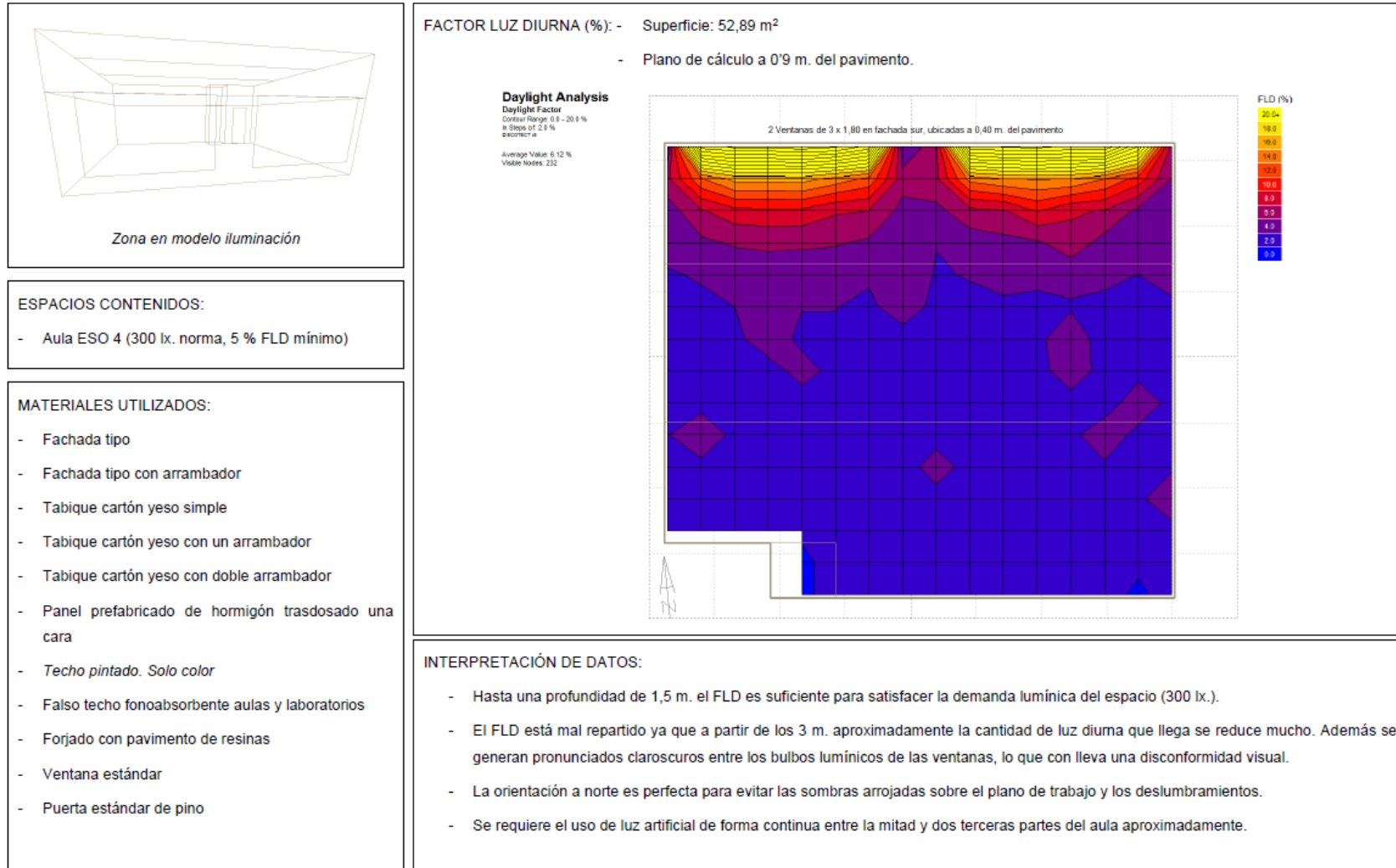
Daylight Factor  
Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
In Steps of 2.0 %  
Average Value: 5.82 %  
Visible Light: 412

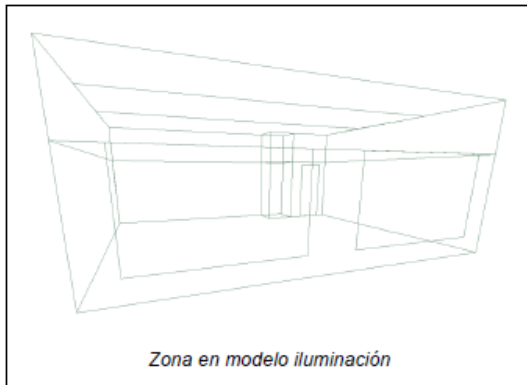


INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- La demanda lumínica es elevada, 500 lx. Eso hace que, pese a tener un gran % de vidrio en fachada, la demanda solo se satisfaga con iluminación natural a un metro de la fachada.
- El FLD está mal repartido ya que se concentra al principio y no penetra hacia el interior de la sala con suficiente intensidad. Además, se encuentran claroscuros entre los bulbos lumínicos generados por cada ventana y en los extremos.
- Las ventanas están orientadas a sur, lo que implica que la aparición de sombras arrojadas y deslumbramientos. Por este motivo, las lamas del proyecto original quedan justificadas para evitar estos fenómenos.
- Se requiere iluminación artificial de mucha elevada para alcanzar los 500 lx. de forma continua. en aproximadamente la mitad o dos tercios del espacio.

### 9.1.5. Edificio 6 (Planta 2): Fachada Norte Aulas





**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula ESO 5 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

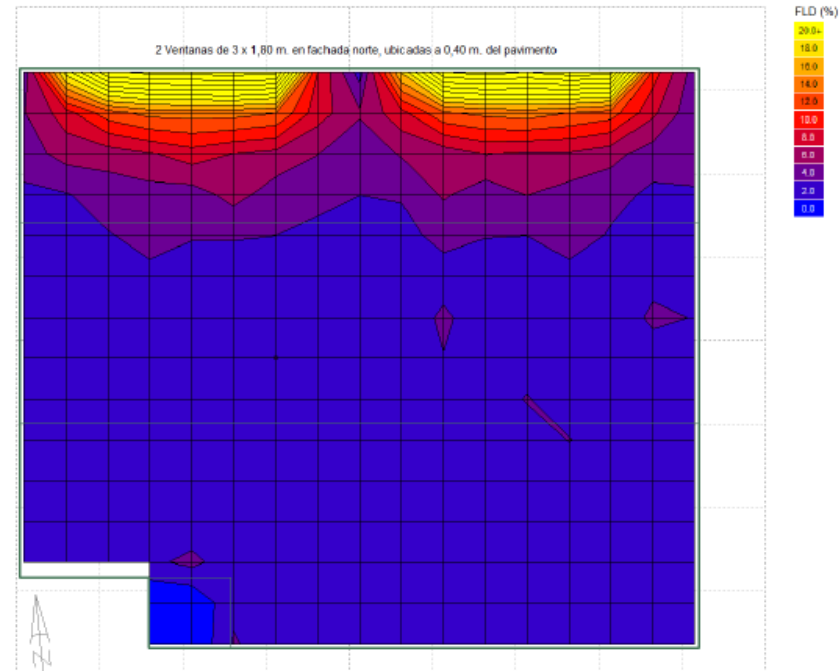
- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrambador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrambador
- Tabique cartón yeso con doble arrambador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrambador en ambas caras
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 55,42 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

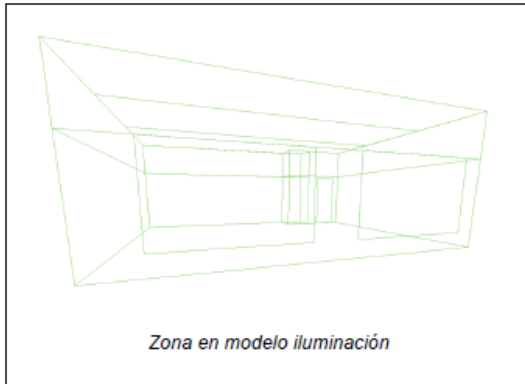
**Daylight Analysis**  
Daylight Factor  
Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
In Steps of: 2.0 %  
000070210

Average Value: 5.10 %  
Visible Nodes: 249



**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta una profundidad de 1,5 m. el FLD es suficiente para satisfacer la demanda lumínica del espacio (300 lx.).
- El FLD está mal repartido ya que a partir de los 3 m. aproximadamente la cantidad de luz diurna que llega se reduce mucho. Además se generan pronunciados clarososcuros entre los bulbos lumínicos de las ventanas, lo que con lleva una disconformidad visual.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere el uso de luz artificial de forma continua entre la mitad y dos terceras partes del aula aproximadamente.



ESPACIOS CONTENIDOS:

- Aula ESO 6 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

MATERIALES UTILIZADOS:

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrabador en ambas caras
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

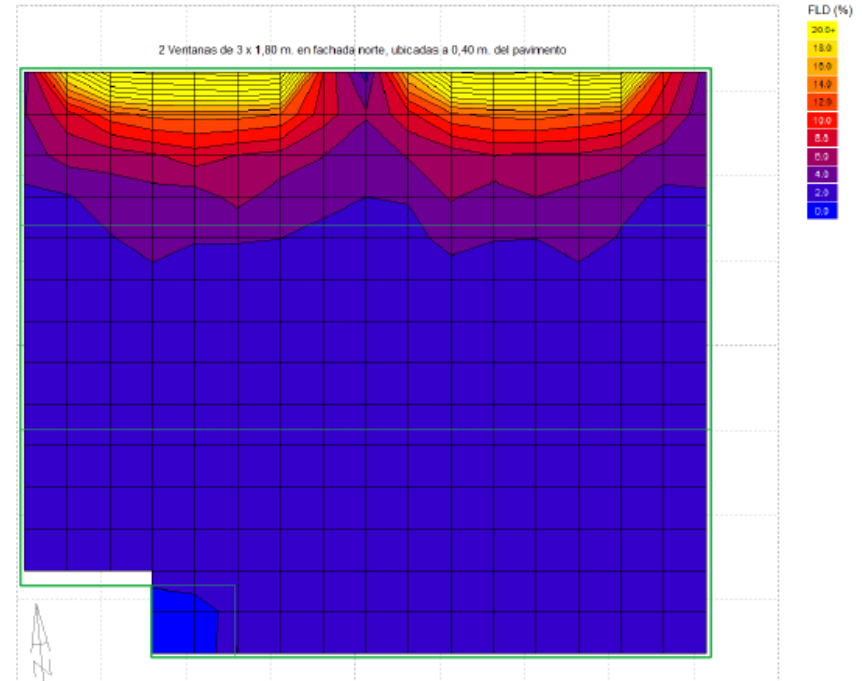
FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 57,73 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

Daylight Analysis

Daylight Factor  
Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
a Steps: 2.0 %  
©2007TST 6

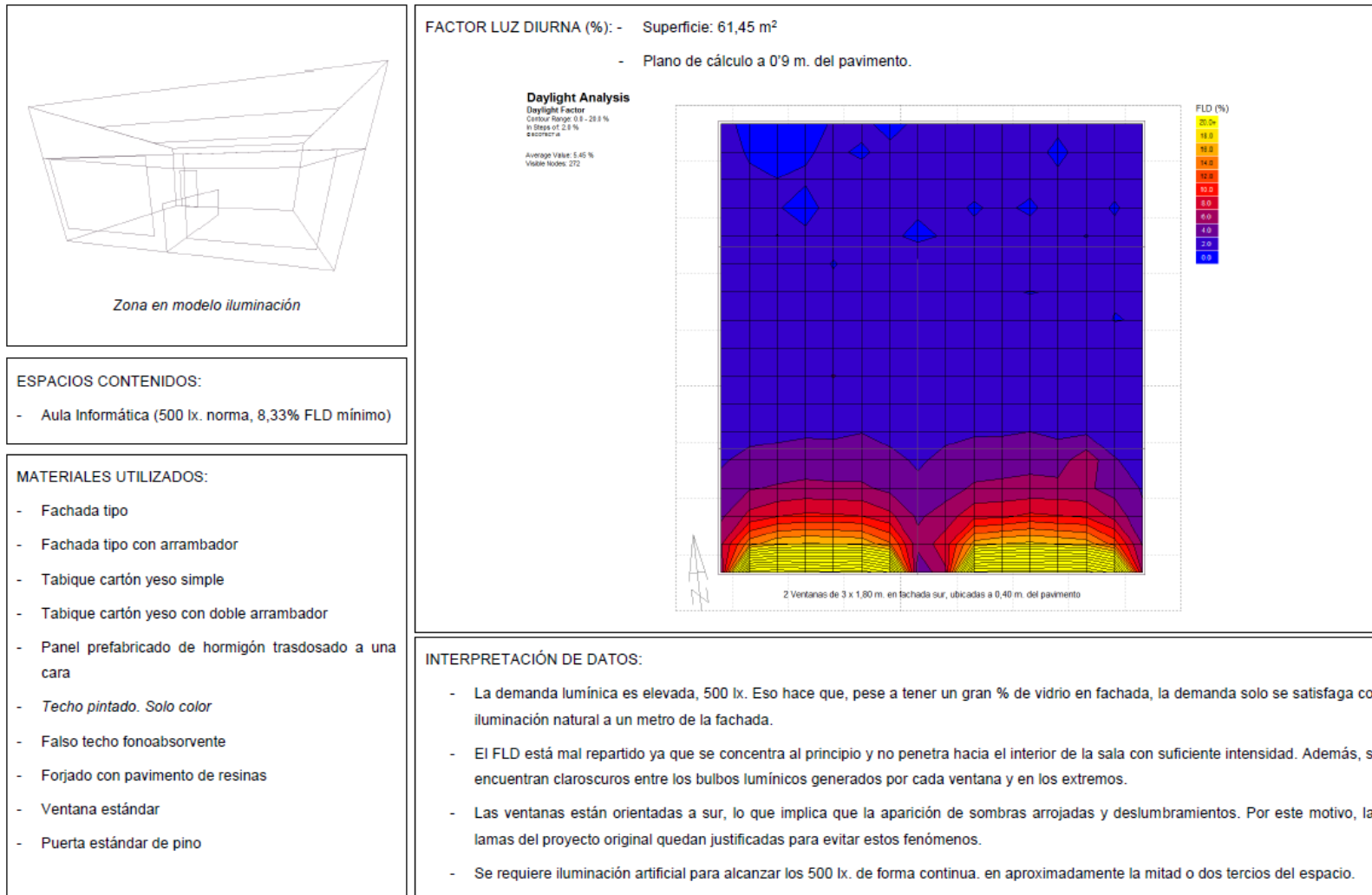
Average Value: 5.15 %  
Visible Nodes: 249

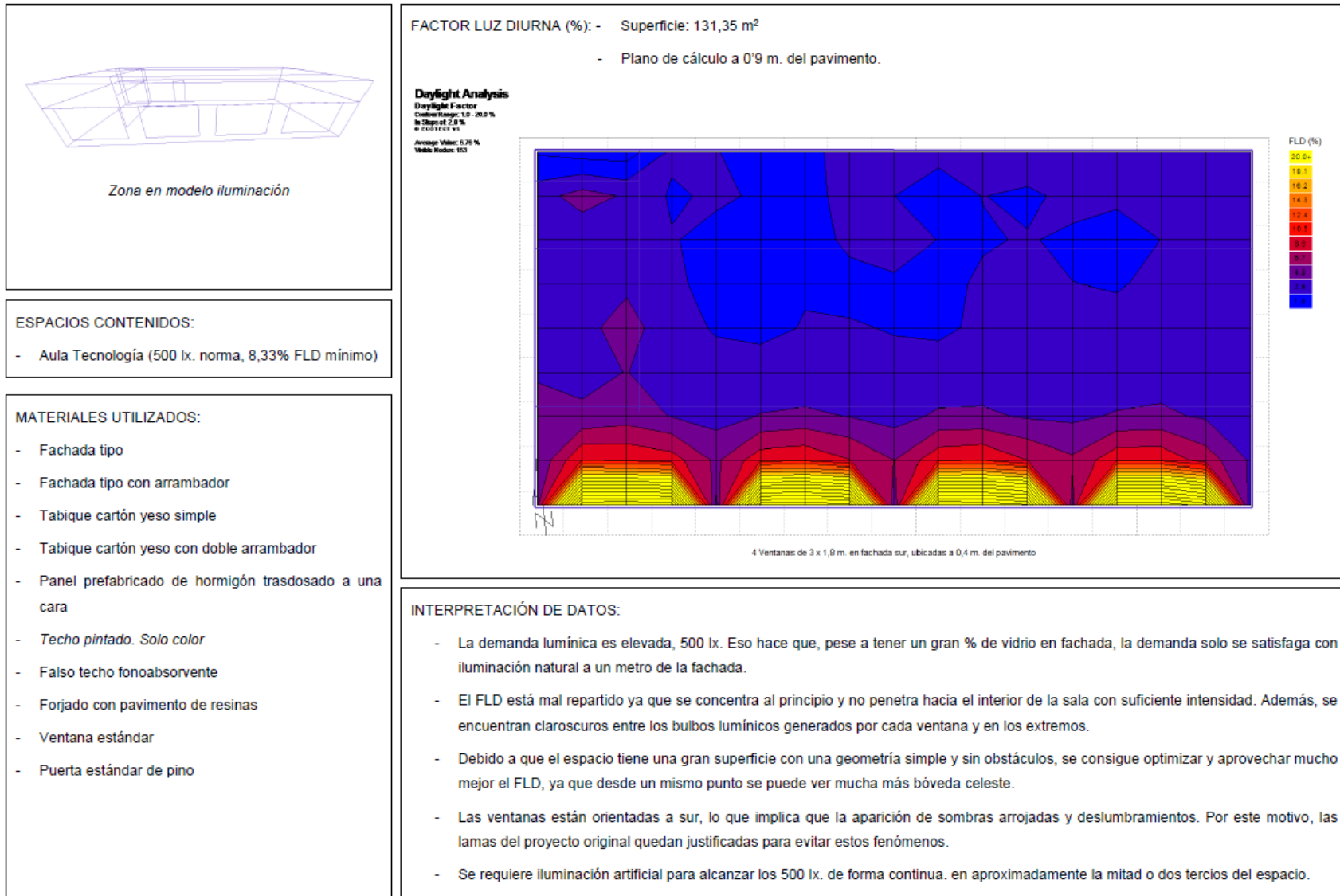


INTERPRETACIÓN DE DATOS:

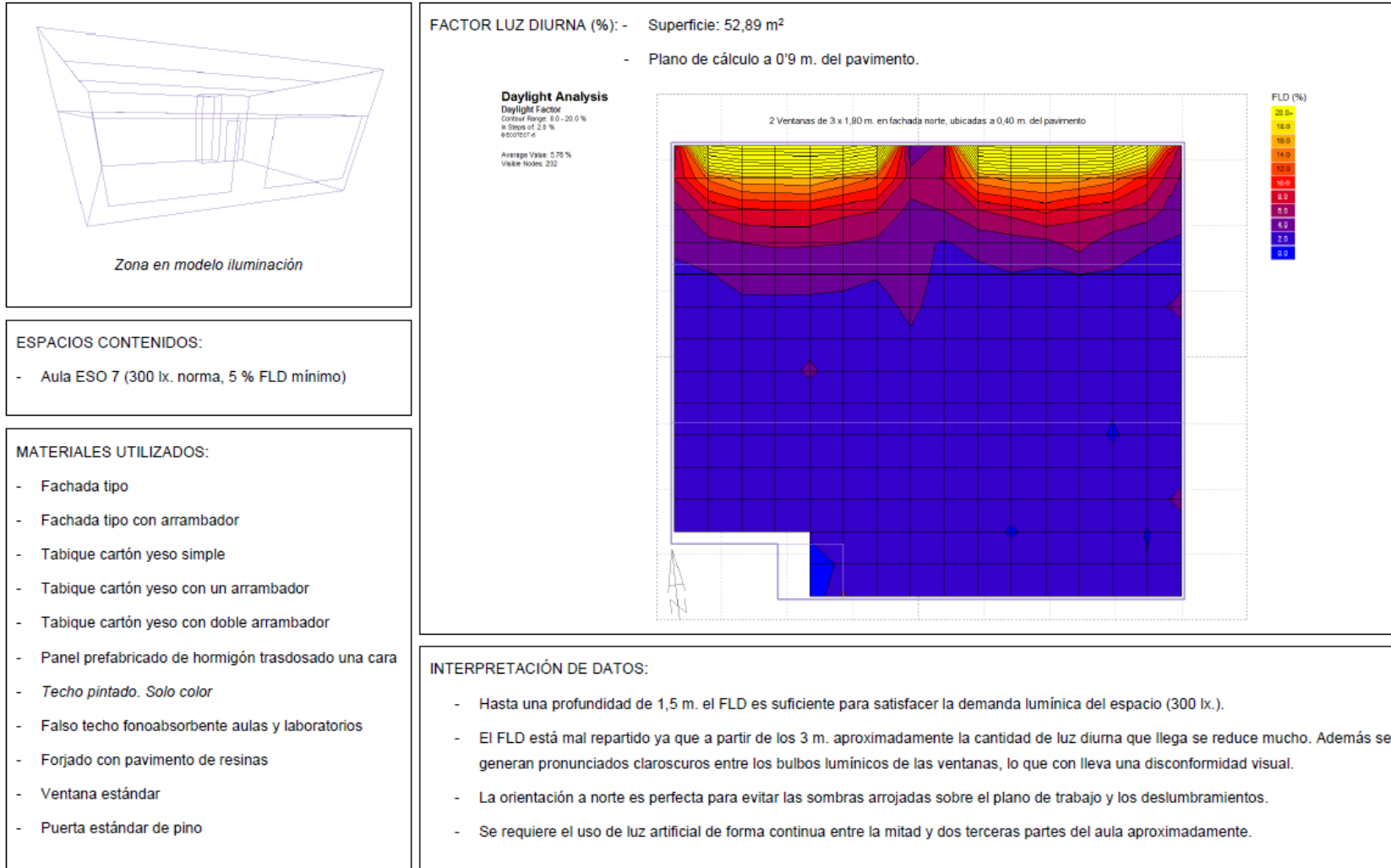
- Hasta una profundidad de 1,5 m. el FLD es suficiente para satisfacer la demanda lumínica del espacio (300 lx.).
- El FLD está mal repartido ya que a partir de los 3 m. aproximadamente la cantidad de luz diurna que llega se reduce mucho. Además se generan pronunciados clarososcuros entre los bulbos lumínicos de las ventanas, lo que con lleva una disconformidad visual.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere el uso de luz artificial de forma continua entre la mitad y dos terceras partes del aula aproximadamente.

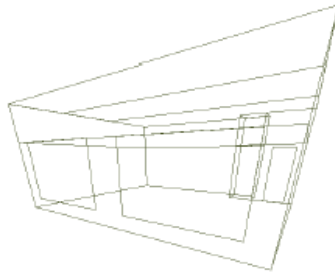
### 9.1.6. Edificio 6 (Planta 3): Fachada Sur Aulas





### 9.1.7. Edificio 6 (Planta 3): Fachada Norte Aulas





Zona en modelo iluminación

**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula ESO 8 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrabador en ambas caras
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 55,42 m<sup>2</sup>

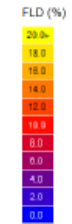
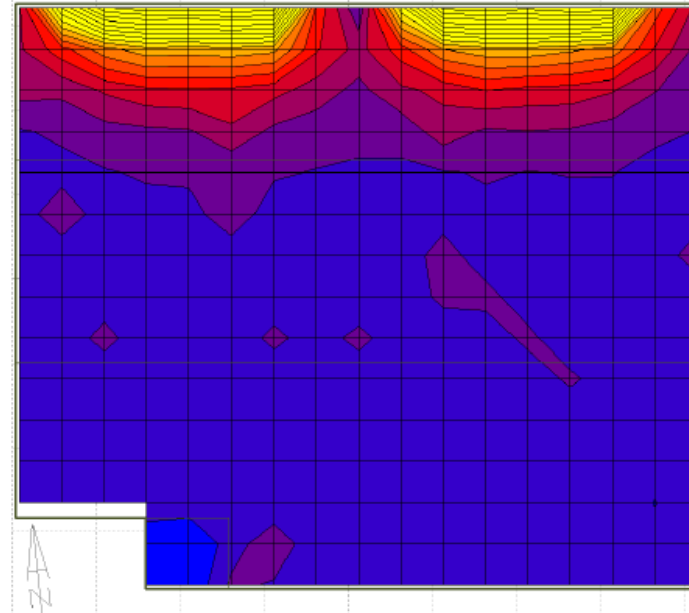
- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

**Daylight Analysis**

Daylight Factor  
Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
# Steps of 2.0 %  
©2007 Ecotect

Average Value: 5.00 %  
Visible Nodes: 249

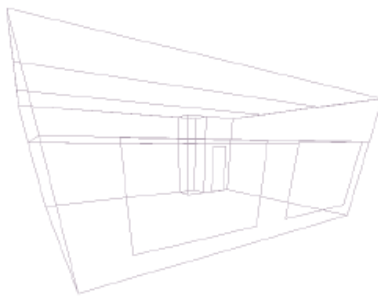
2 Ventanas de 3 x 1,80 m. en fachada norte, ubicadas a 0,40 m. del pavimento



**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta una profundidad de 1,5 m. el FLD es suficiente para satisfacer la demanda lumínica del espacio (300 lx.).
- El FLD está mal repartido ya que a partir de los 3 m. aproximadamente la cantidad de luz diurna que llega se reduce mucho. Además se generan pronunciados clarososcuros entre los bulbos lumínicos de las ventanas, lo que con lleva una disconformidad visual.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere el uso de luz artificial de forma continua entre la mitad y dos terceras partes del aula aproximadamente.





Zona en modelo iluminación

ESPACIOS CONTENIDOS:

- Aula ESO 9 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

MATERIALES UTILIZADOS:

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrabador en ambas caras
- *Techo pintado. Solo color*
- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

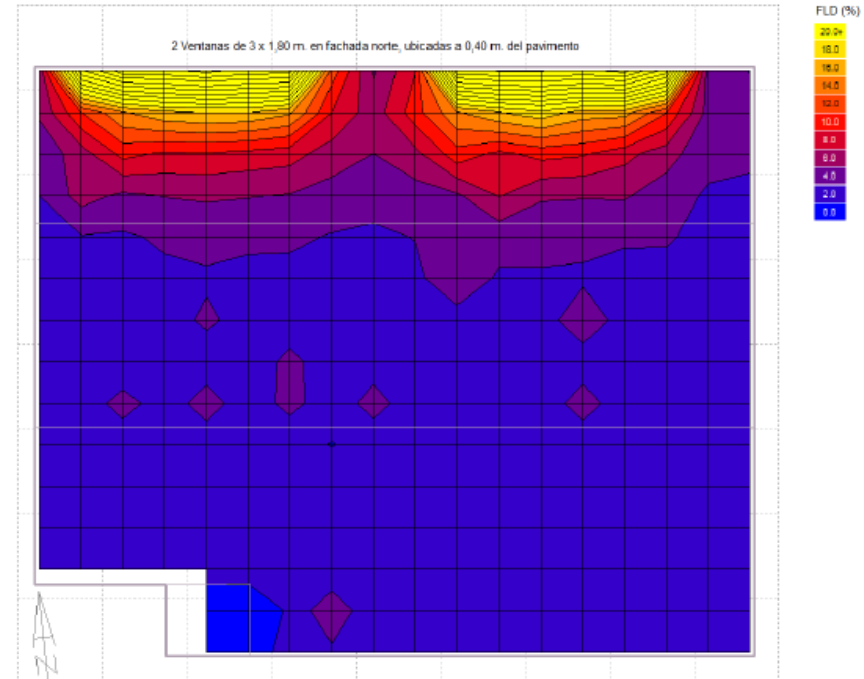
FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 57,73 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

Daylight Analysis

Daylight Factor  
 Contrast Range: 1.0 - 20.0 %  
 in Steps of 2.0 %  
 #2007237 6

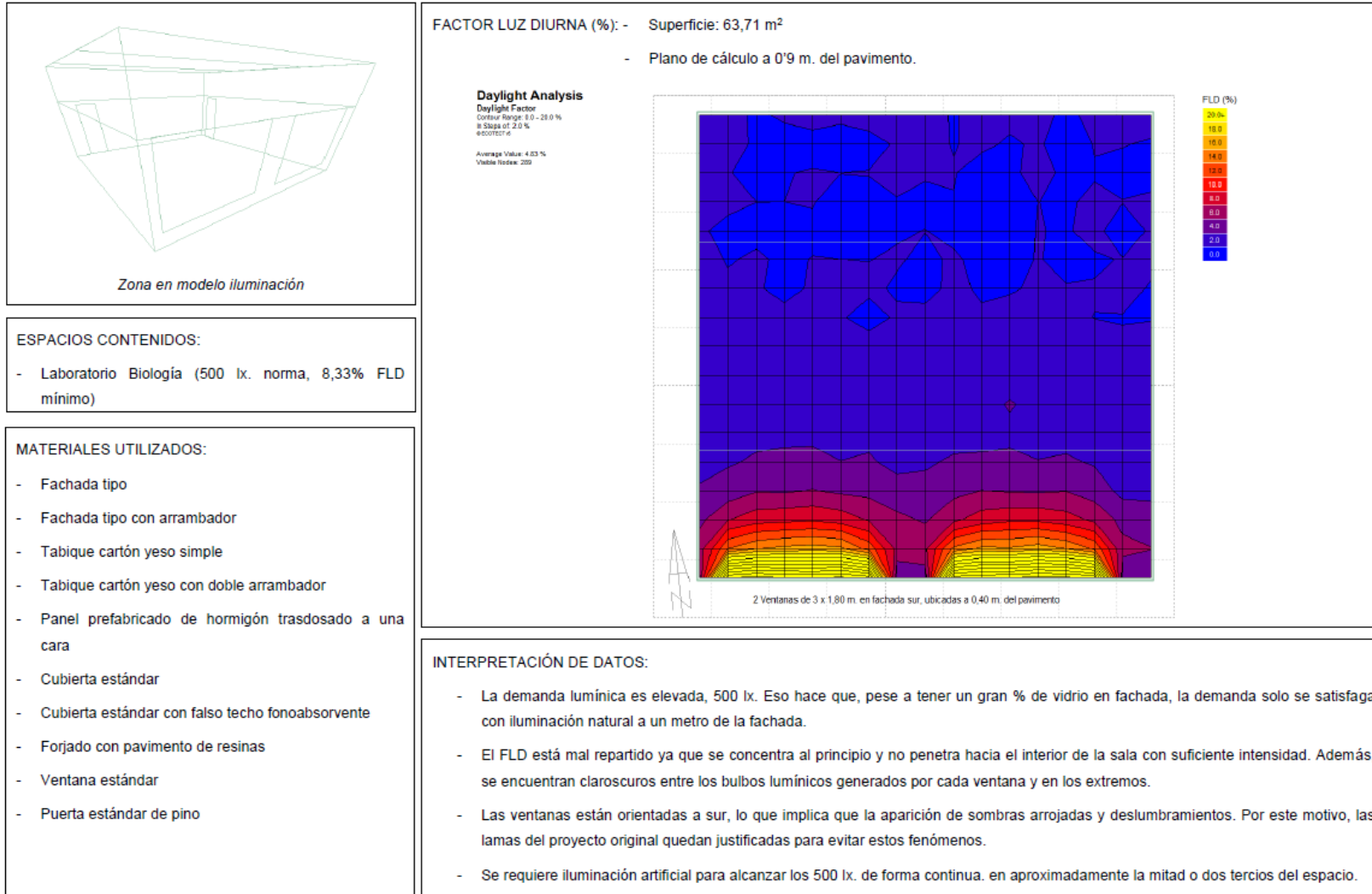
Average Value: 5.88 %  
 Visible Nodes: 262

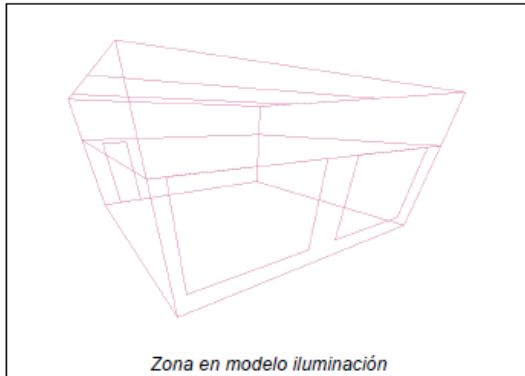


INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- Hasta una profundidad de 1,5 m. el FLD es suficiente para satisfacer la demanda lumínica del espacio (300 lx.).
- El FLD está mal repartido ya que a partir de los 3 m. aproximadamente la cantidad de luz diurna que llega se reduce mucho. Además se generan pronunciados clarosucos entre los bulbos lumínicos de las ventanas, lo que con lleva una disconformidad visual.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere el uso de luz artificial de forma continua entre la mitad y dos terceras partes del aula aproximadamente.

### 9.1.8. Edificio 6 (Planta 4): Fachada Sur Aulas





ESPACIOS CONTENIDOS:

- Laboratorio Física-Ciencias (500 lx. norma, 8,33% FLD mínimo)

MATERIALES UTILIZADOS:

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Cubierta estándar
- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

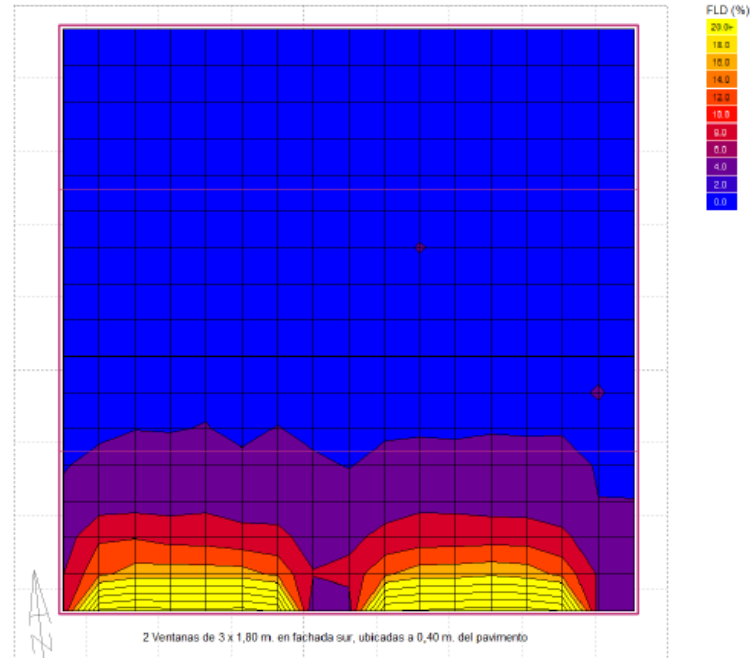
FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 64,2 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

Daylight Analysis

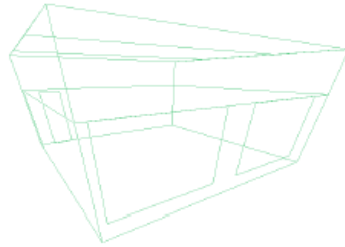
Daylight Factor  
Color Range: 0.0 - 20.0 %  
It Steps of: 4.0 %  
Algorithm: eIC

Average Value: 5.56 %  
Visible Nodes: 200



INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- La demanda lumínica es elevada, 500 lx. Eso hace que, pese a tener un gran % de vidrio en fachada, la demanda solo se satisfaga con iluminación natural a un metro de la fachada.
- El FLD está mal repartido ya que se concentra al principio y no penetra hacia el interior de la sala con suficiente intensidad. Además, se encuentran clarosucos entre los bulbos lumínicos generados por cada ventana y en los extremos.
- Las ventanas están orientadas a sur, lo que implica que la aparición de sombras arrojadas y deslumbramientos. Por este motivo, las lamas del proyecto original quedan justificadas para evitar estos fenómenos.
- Se requiere iluminación artificial para alcanzar los 500 lx. de forma continua. en aproximadamente la mitad o dos tercios del espacio.



Zona en modelo iluminación

ESPACIOS CONTENIDOS:

- Laboratorio Química (500 lx. norma, 8,33% FLD mínimo)

MATERIALES UTILIZADOS:

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Panel prefabricado de hormigón trasdosado a una cara
- Cubierta estándar
- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

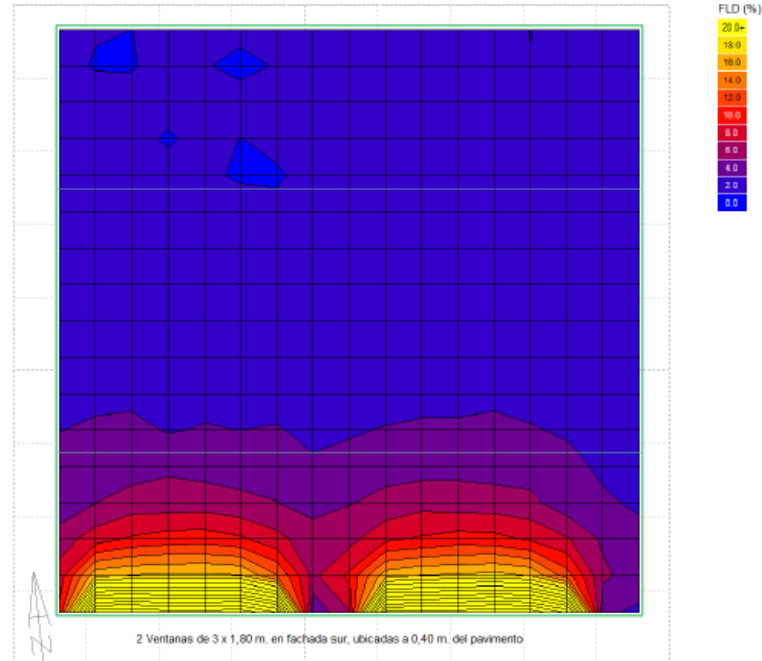
FACTOR LUZ DIURNA (%): - Superficie: 65 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

Daylight Analysis

Daylight Factor  
Control Range: 0.0 - 20.0 %  
in Steps of: 2.0 %  
precision: 1

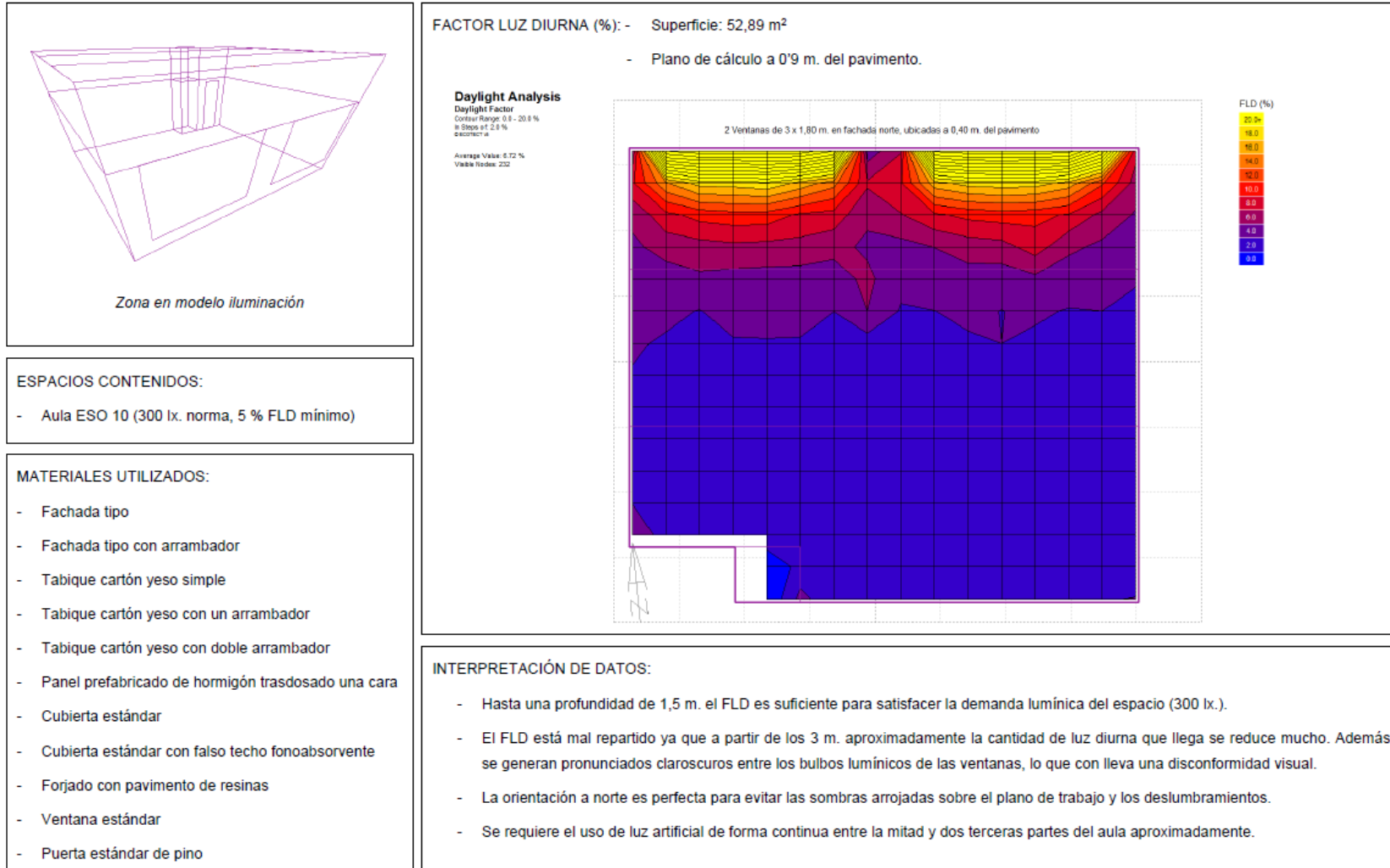
Average Value: 5.66 %  
Value Nodes: 289

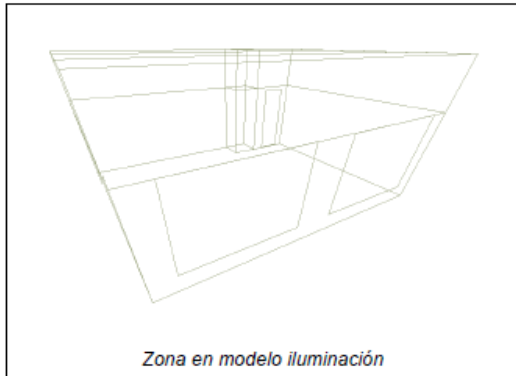


INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- La demanda lumínica es elevada, 500 lx. Eso hace que, pese a tener un gran % de vidrio en fachada, la demanda solo se satisfaga con iluminación natural a un metro de la fachada.
- El FLD está mal repartido ya que se concentra al principio y no penetra hacia el interior de la sala con suficiente intensidad. Además, se encuentran clarosucos entre los bulbos lumínicos generados por cada ventana y en los extremos.
- Las ventanas están orientadas a sur, lo que implica que la aparición de sombras arrojadas y deslumbramientos. Por este motivo, las lamas del proyecto original quedan justificadas para evitar estos fenómenos.
- Se requiere iluminación artificial para alcanzar los 500 lx. de forma continua. en aproximadamente la mitad o dos tercios del espacio.

### 9.1.9. Edificio 6 (Planta 4): Fachada Norte Aulas





**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula ESO 11 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrabador en ambas caras
- Cubierta estándar
- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

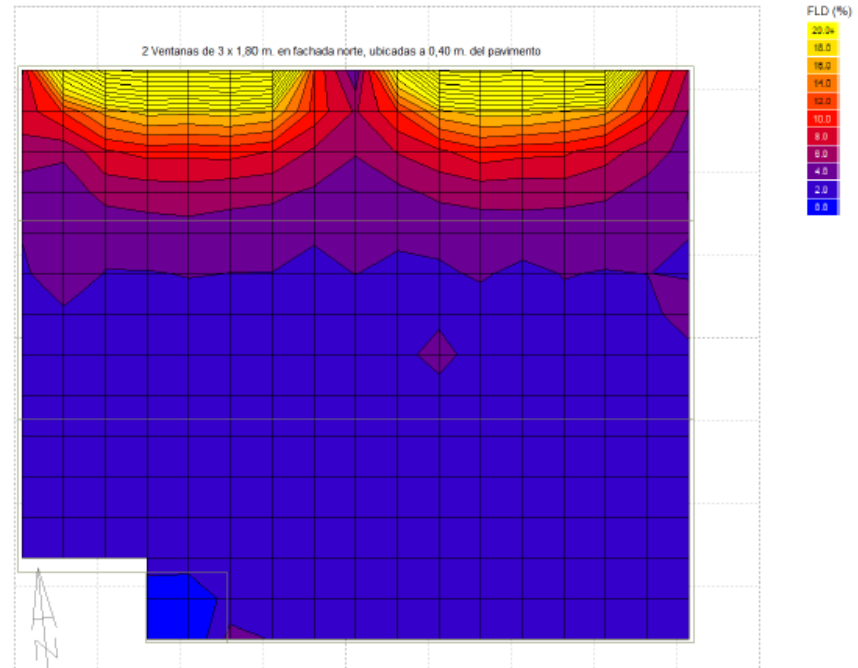
**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 55,42 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

**Daylight Analysis**

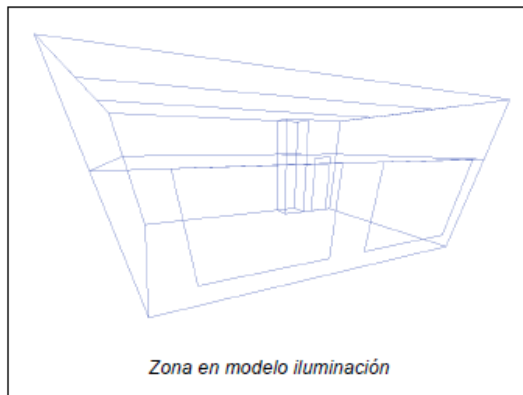
**Daylight Factor**  
Control Range: 0.0 - 20.0 %  
In Steps of: 2.0 %  
©2007/07/16

Average Value: 6.22 %  
Visible Nodes: 240



**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta una profundidad de 1,5 m. el FLD es suficiente para satisfacer la demanda lumínica del espacio (300 lx.).
- El FLD está mal repartido ya que a partir de los 3 m. aproximadamente la cantidad de luz diurna que llega se reduce mucho. Además se generan pronunciados claroscurros entre los bulbos lumínicos de las ventanas, lo que con lleva una disconformidad visual.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere el uso de luz artificial de forma continua entre la mitad y dos terceras partes del aula aproximadamente.



**ESPACIOS CONTENIDOS:**

- Aula ESO 12 (300 lx. norma, 5 % FLD mínimo)

**MATERIALES UTILIZADOS:**

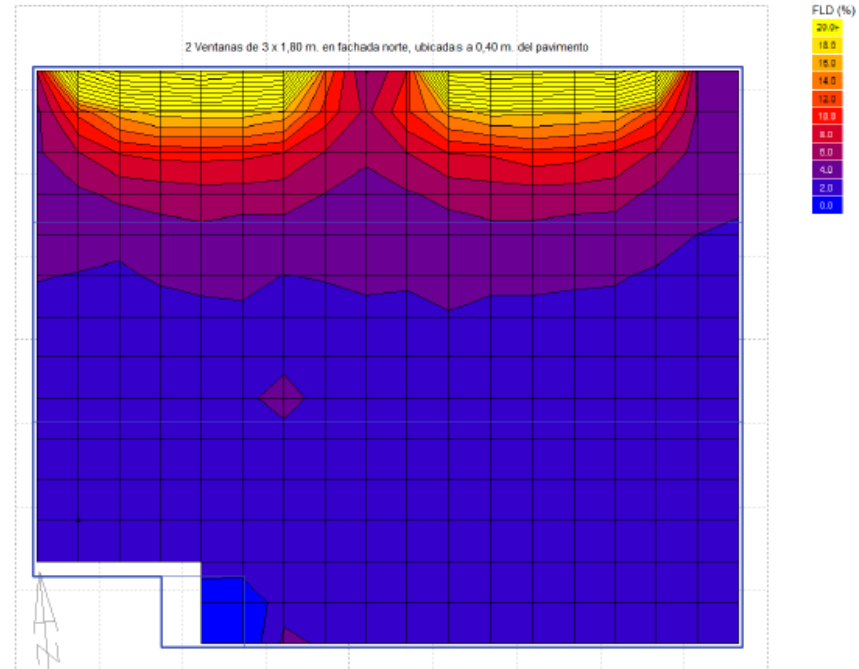
- Fachada tipo
- Fachada tipo con arrabador
- Tabique cartón yeso simple
- Tabique cartón yeso con un arrabador
- Tabique cartón yeso con doble arrabador
- Partición entre aulas
- Partición entre aulas con arrabador en ambas caras
- Cubierta estándar
- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente
- Forjado con pavimento de resinas
- Ventana estándar
- Puerta estándar de pino

**FACTOR LUZ DIURNA (%):** - Superficie: 57,73 m<sup>2</sup>

- Plano de cálculo a 0'9 m. del pavimento.

**Daylight Analysis**

Daylight Factor  
 Contour Range: 0.0 - 20.0 %  
 # Steps: 11, 2.0 %  
 # Corrected:  
 Average Value: 0.31 %  
 Visible Nodes: 252

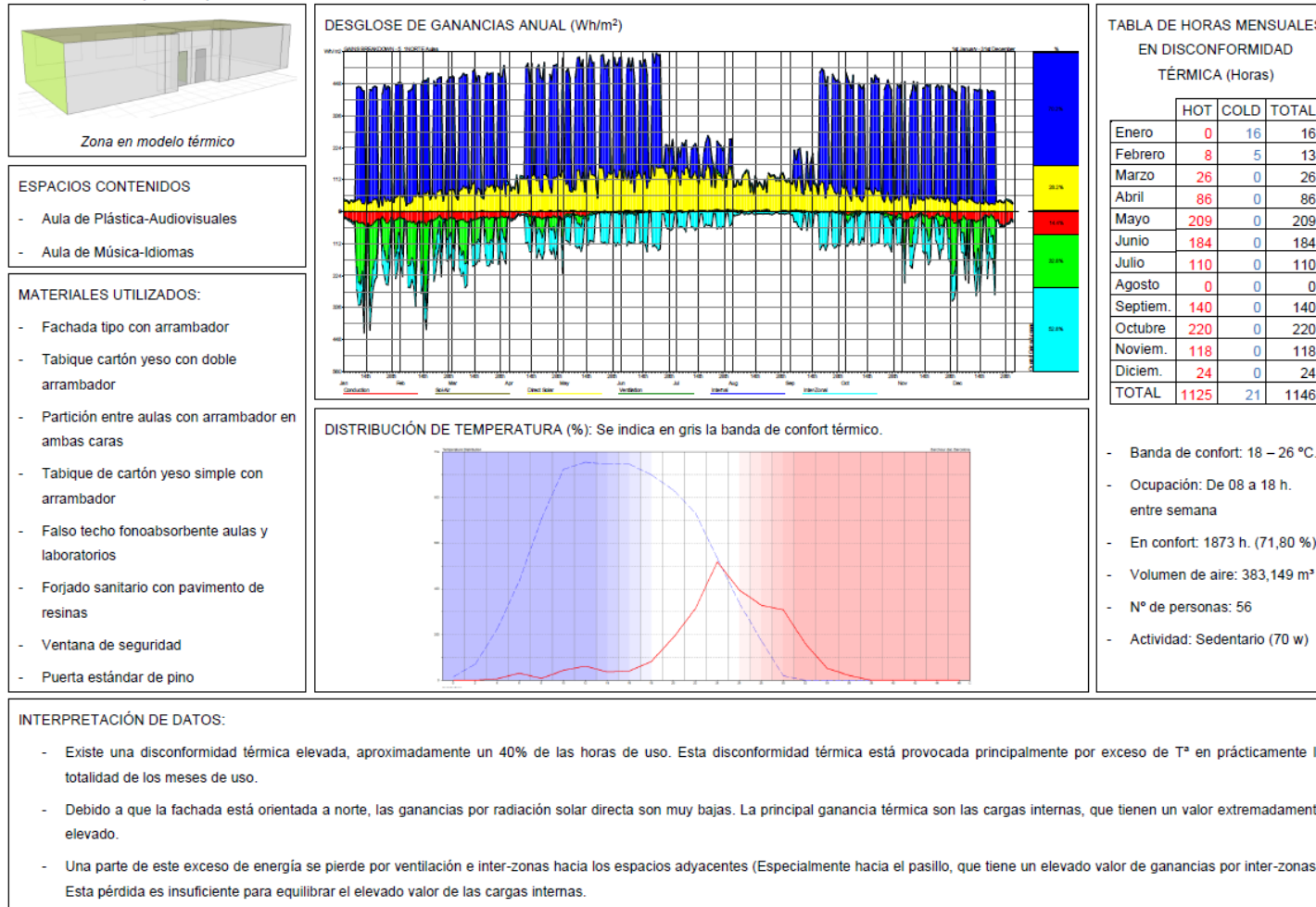


**INTERPRETACIÓN DE DATOS:**

- Hasta una profundidad de 1,5 m. el FLD es suficiente para satisfacer la demanda lumínica del espacio (300 lx.).
- El FLD está mal repartido ya que a partir de los 3 m. aproximadamente la cantidad de luz diurna que llega se reduce mucho. Además se generan pronunciados claroscuros entre los bulbos lumínicos de las ventanas, lo que con lleva una disconformidad visual.
- La orientación a norte es perfecta para evitar las sombras arrojadas sobre el plano de trabajo y los deslumbramientos.
- Se requiere el uso de luz artificial de forma continua entre la mitad y dos terceras partes del aula aproximadamente.

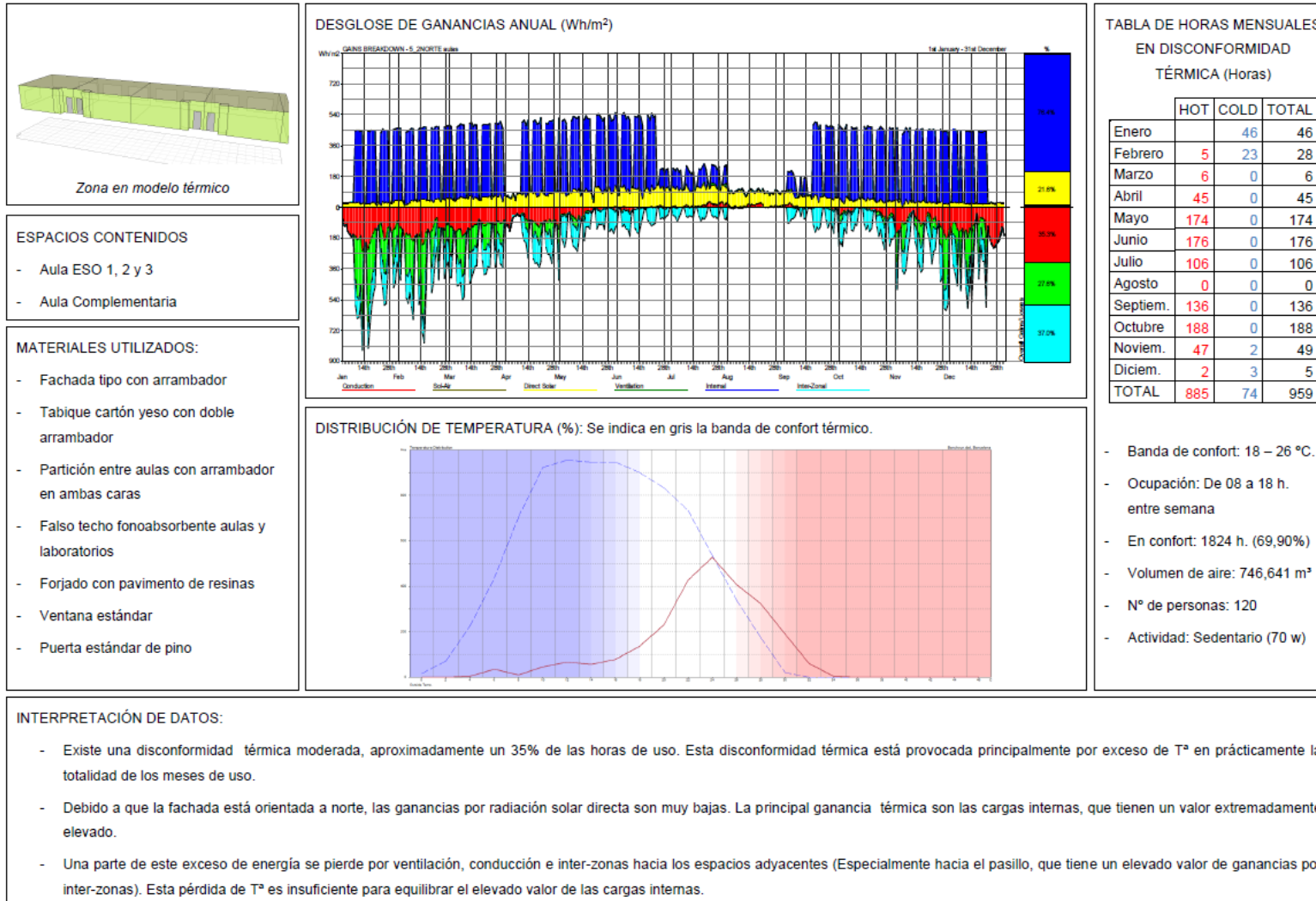
## 9.2. Fichas de estudio térmico

### 9.2.1. Edificio 5 (Planta 1): Fachada Norte Aulas





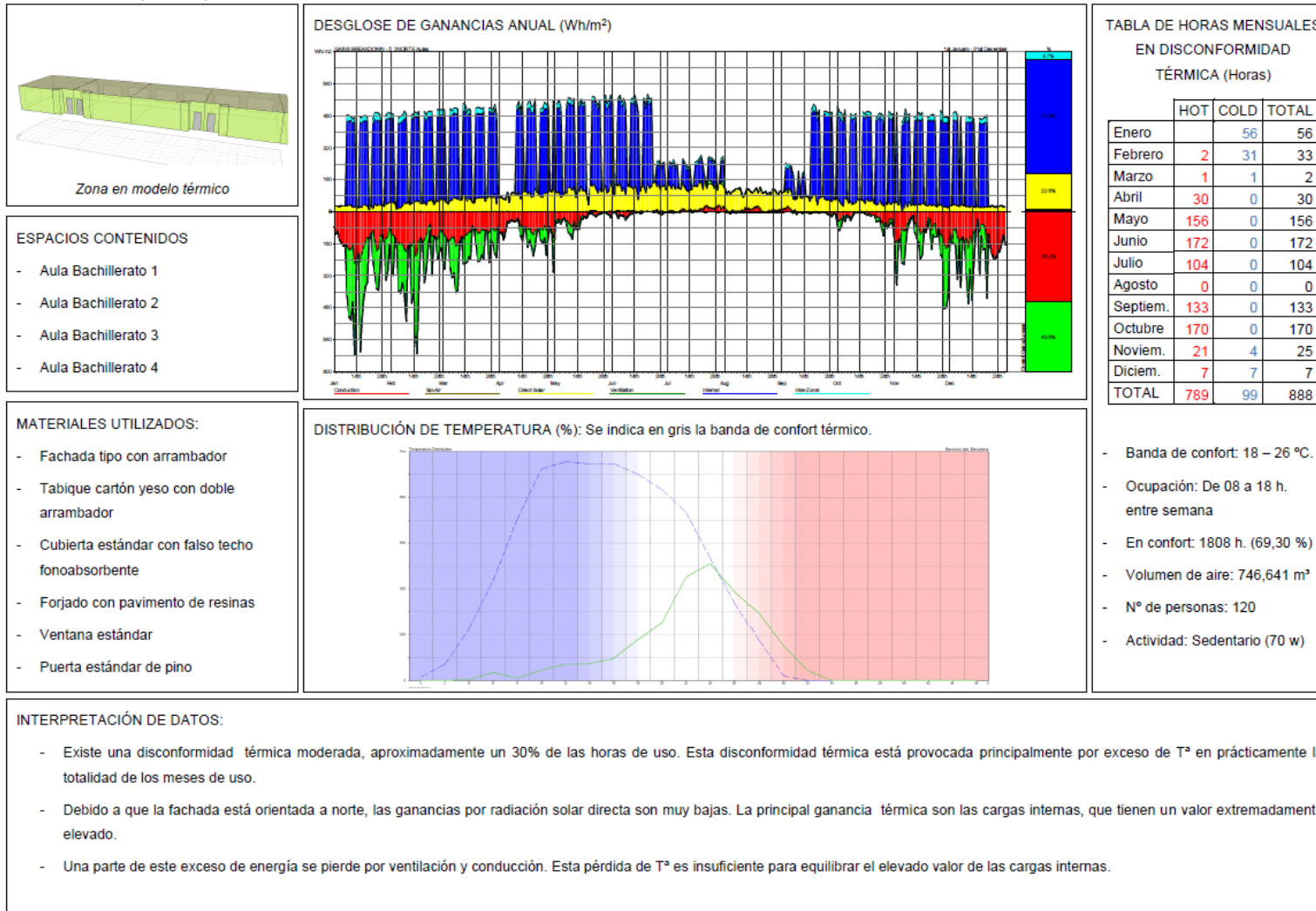
### 9.2.2. Edificio 5 (Planta 2): Fachada Norte Aulas



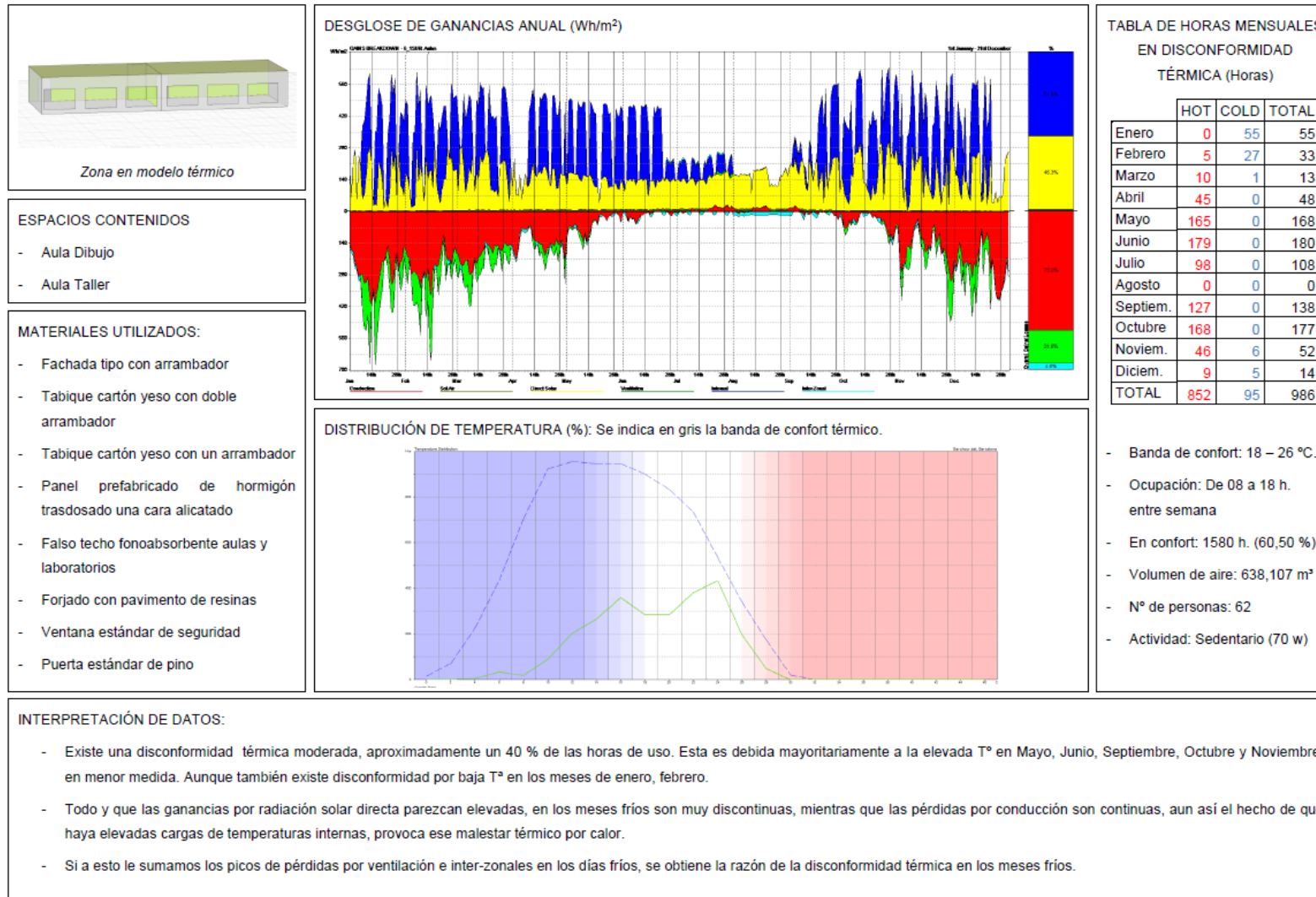
INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- Existe una disconformidad térmica moderada, aproximadamente un 35% de las horas de uso. Esta disconformidad térmica está provocada principalmente por exceso de T<sup>a</sup> en prácticamente la totalidad de los meses de uso.
- Debido a que la fachada está orientada a norte, las ganancias por radiación solar directa son muy bajas. La principal ganancia térmica son las cargas internas, que tienen un valor extremadamente elevado.
- Una parte de este exceso de energía se pierde por ventilación, conducción e inter-zonas hacia los espacios adyacentes (Especialmente hacia el pasillo, que tiene un elevado valor de ganancias por inter-zonas). Esta pérdida de T<sup>a</sup> es insuficiente para equilibrar el elevado valor de las cargas internas.

### 9.2.3. Edificio 5 (Planta 3): Fachada Norte Aulas



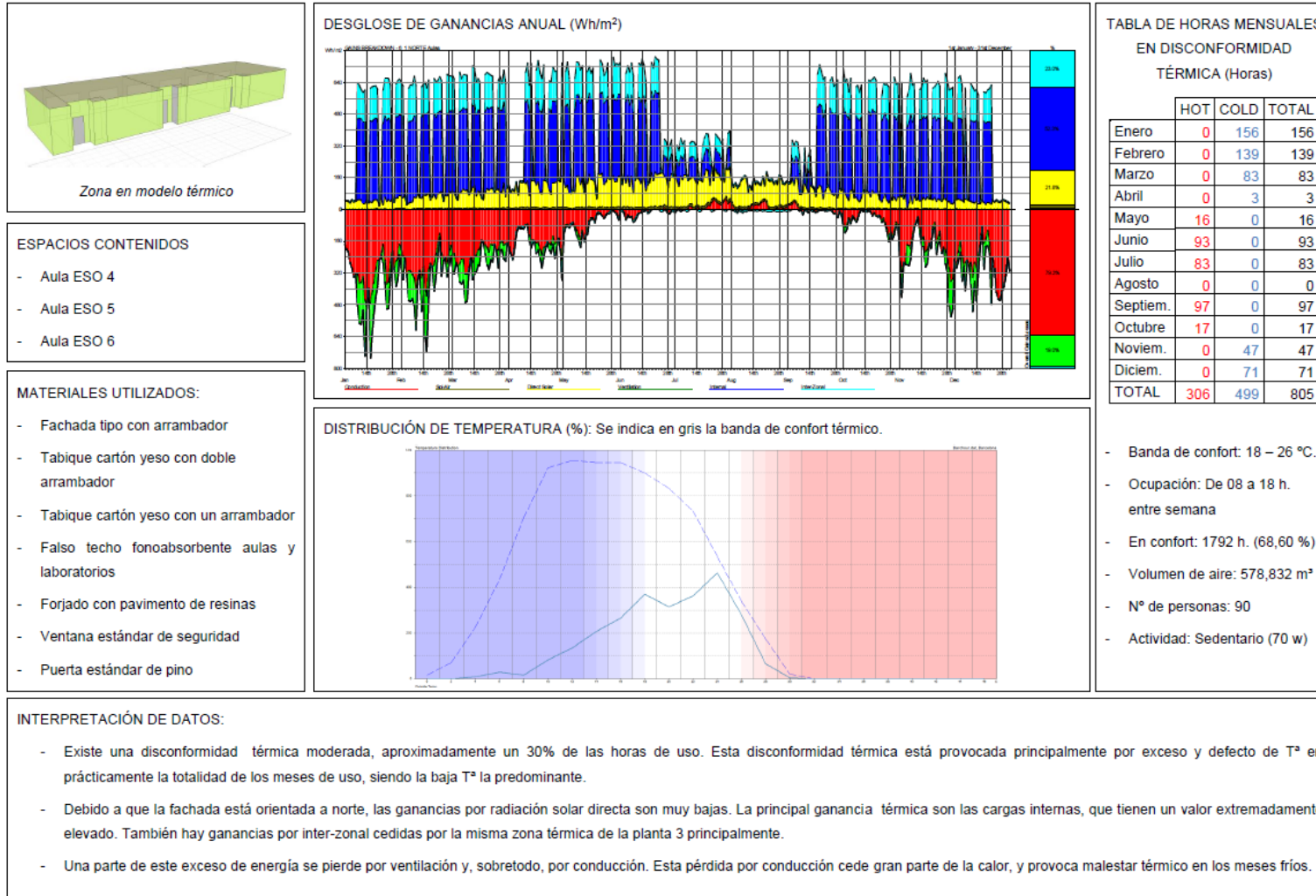
### 9.2.4. Edificio 6 (Planta 2): Fachada Sur Aulas



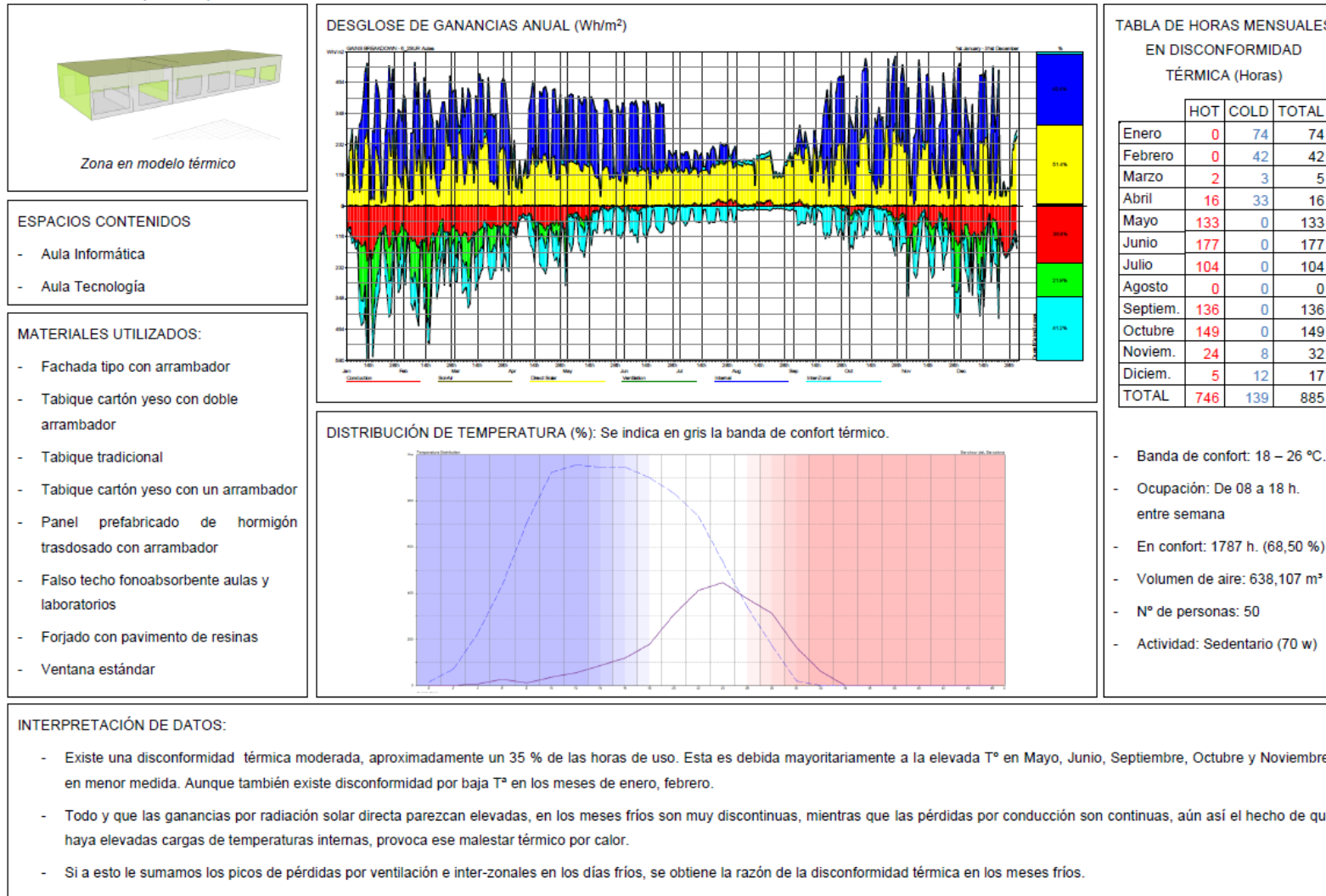
INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- Existe una disconformidad térmica moderada, aproximadamente un 40 % de las horas de uso. Esta es debida mayoritariamente a la elevada T° en Mayo, Junio, Septiembre, Octubre y Noviembre, en menor medida. Aunque también existe disconformidad por baja T° en los meses de enero, febrero.
- Todo y que las ganancias por radiación solar directa parezcan elevadas, en los meses fríos son muy discontinuas, mientras que las pérdidas por conducción son continuas, aun así el hecho de que haya elevadas cargas de temperaturas internas, provoca ese malestar térmico por calor.
- Si a esto le sumamos los picos de pérdidas por ventilación e inter-zonales en los días fríos, se obtiene la razón de la disconformidad térmica en los meses fríos.

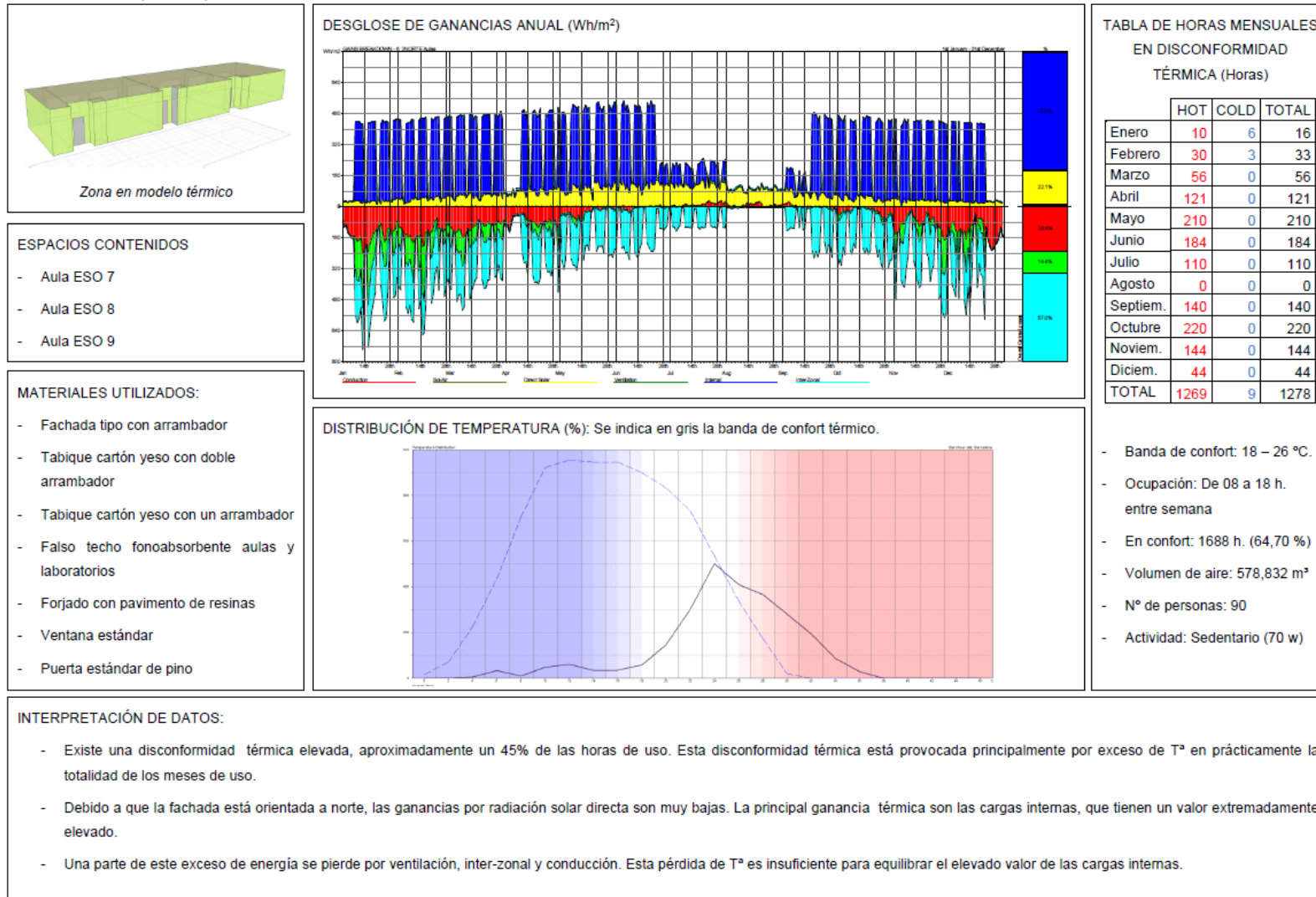
### 9.2.5. Edificio 6 (Planta 2): Fachada Norte Aulas



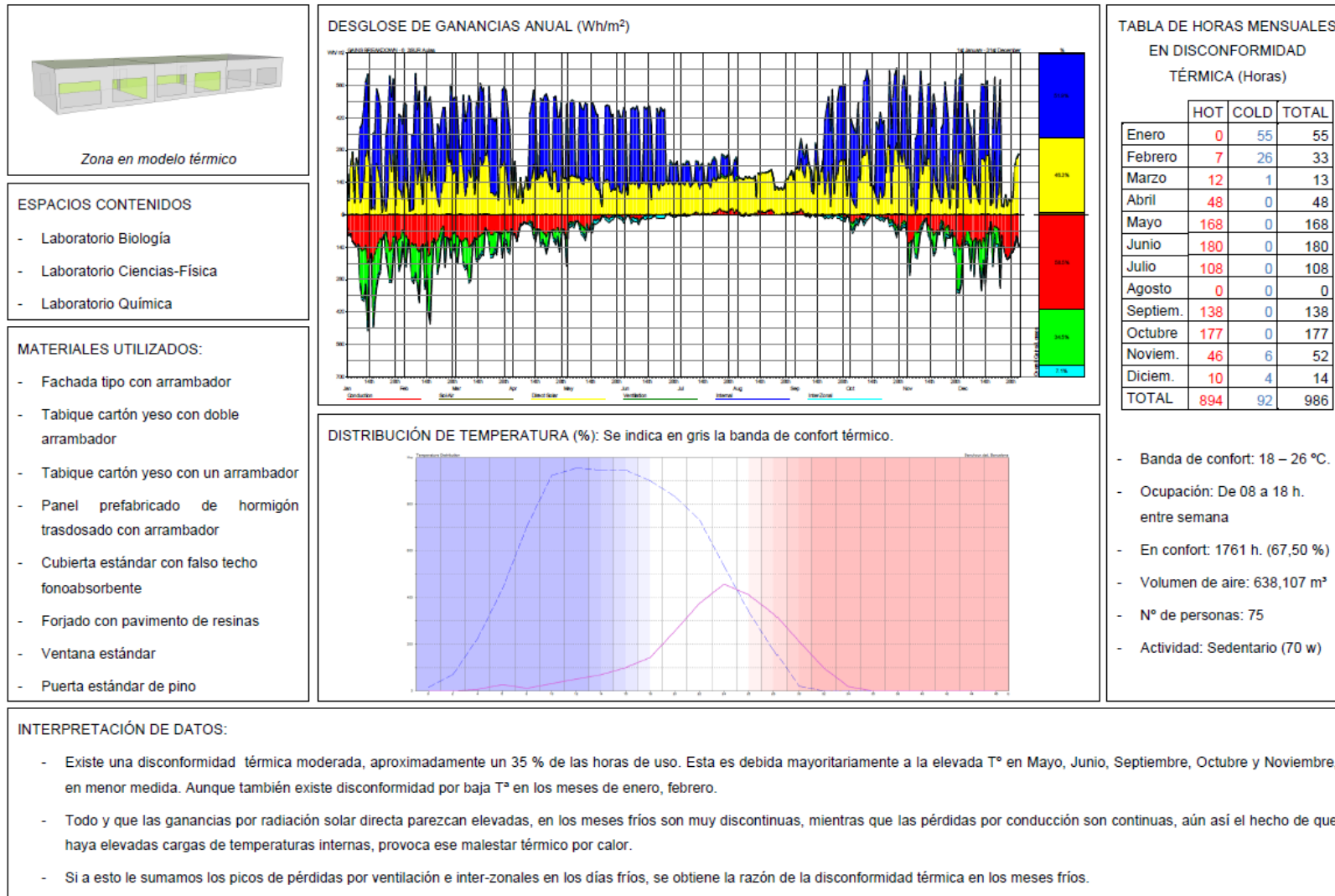
### 9.2.6. Edificio 6 (Planta 3): Fachada Sur Aulas



### 9.2.7. Edificio 6 (Planta 3): Fachada Norte Aulas



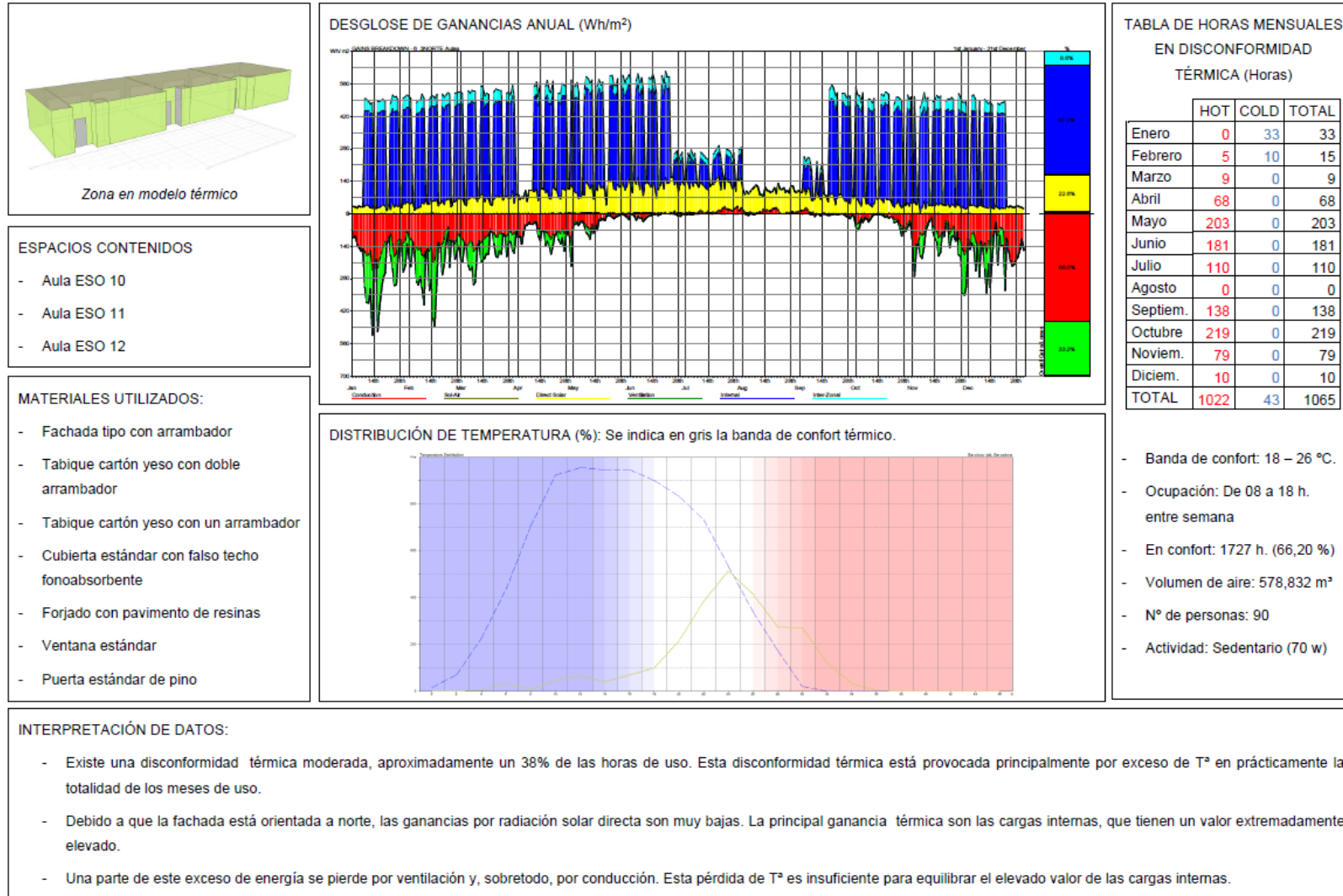
### 9.2.8. Edificio 6 (Planta 4): Fachada Sur Aulas



INTERPRETACIÓN DE DATOS:

- Existe una disconformidad térmica moderada, aproximadamente un 35 % de las horas de uso. Esta es debida mayoritariamente a la elevada T° en Mayo, Junio, Septiembre, Octubre y Noviembre, en menor medida. Aunque también existe disconformidad por baja T° en los meses de enero, febrero.
- Todo y que las ganancias por radiación solar directa parezcan elevadas, en los meses fríos son muy discontinuas, mientras que las pérdidas por conducción son continuas, aún así el hecho de que haya elevadas cargas de temperaturas internas, provoca ese malestar térmico por calor.
- Si a esto le sumamos los picos de pérdidas por ventilación e inter-zonales en los días fríos, se obtiene la razón de la disconformidad térmica en los meses fríos.

### 9.2.9. Edificio 6 (Planta 4): Fachada Norte Aulas





### 9.3. Programa operacional del instituto

Espacio	Superficie	Ocupación	Horario	Uso	Orientación
<b>PLANTA BAJA</b>					
Aula Plástica - Audiovisual	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Música - Idiomas	52,5 m <sup>2</sup>	33 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
<b>PLANTA PRIMERA Ed.5</b>					
Aula Eso 1	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte - Oeste
Aula Eso 2	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Eso 3	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Complementaria	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
<b>PLANTA PRIMERA Ed.6</b>					
Aula Bachillerato 1	53,3 m <sup>2</sup>	35 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte - Oeste
Aula Bachillerato 2	52,5 m <sup>2</sup>	35 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Bachillerato 3	52,5 m <sup>2</sup>	35 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Bachillerato 4	52,5 m <sup>2</sup>	35 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
<b>PLANTA PRIMERA Ed.6</b>					
Aula Eso 4	52,6 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Eso 5	52,6 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Eso 6	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Dibujo	89,1 m <sup>2</sup>	36 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Sur
Aula Taller	96,6 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Sur
<b>PLANTA SEGUNDA Ed.6</b>					
Aula Eso 7	52,6 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Eso 8	52,6 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Eso 9	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Informática	60,2 m <sup>2</sup>	25 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Sur
Aula Tecnología	125,8 m <sup>2</sup>	25 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Sur
<b>PLANTA TERCERA Ed.6</b>					
Aula Eso 10	52,6 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Eso 11	52,6 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Aula Eso 12	52,5 m <sup>2</sup>	31 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Norte
Laboratorio Biología	61,2 m <sup>2</sup>	25 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Sur
Laboratorio Física-Ciencias	61,6 m <sup>2</sup>	25 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Sur
Laboratorio Química	61,2 m <sup>2</sup>	25 per	8 a 13 h - 15 a 18 h	Aula	Sur

## 9.4. Tabla de zonificación y parámetros para el cálculo térmico

CONDICIONES INTERNAS				
Ubicación	Zona térmica (Ecotect)	LUX	Actividad (Watt.)	Renovaciones/hora
PLANTA BAJA				
Aula Plástica - Audiovisual	5_1NORTE Aulas	300	Sedentaria - 70	1,5
Aula Música - Idiomas				
PLANTA PRIMERA Ed.5				
Aula Eso 1	5_2NORTE Aulas	300	Sedentaria - 70	1,5
Aula Eso 2				
Aula Eso 3				
Aula Complementaria				
PLANTA PRIMERA Ed.6				
Aula Bachillerato 1	5_3NORTE Aulas	300	Sedentaria - 70	1,5
Aula Bachillerato 2				
Aula Bachillerato 3				
Aula Bachillerato 4				
PLANTA PRIMERA Ed.6				
Aula Eso 4	6_1NORTE Aulas	300	Sedentaria - 70	1,5
Aula Eso 5				
Aula Eso 6				
Aula Dibujo	6_1SUR Aulas	750	Sedentaria - 70	1,5
Aula Taller				
PLANTA SEGUNDA Ed.6				
Aula Eso 7	6_2NORTE Aulas	300	Sedentaria - 70	1,5
Aula Eso 8				
Aula Eso 9				
Aula Informática	6_2SUR Aulas	750	Sedentaria - 70	1,5
Aula Tecnología				
PLANTA TERCERA Ed.6				
Aula Eso 10	6_3NORTE Aulas	300	Sedentaria - 70	1,5
Aula Eso 11				
Aula Eso 12				
Laboratorio Biología	6_3SUR Aulas	750	Sedentaria - 70	1,5
Laboratorio Física-Ciencias				
Laboratorio Química				

## 9.5. Calendario lectivo

Wk	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
01	Jan01	Jan02	Jan03	Jan04	Jan05	Jan06	Jan07
02	Jan08	Jan09	Jan10	Jan11	Jan12	Jan13	Jan14
03	Jan15	Jan16	Jan17	Jan18	Jan19	Jan20	Jan21
04	Jan22	Jan23	Jan24	Jan25	Jan26	Jan27	Jan28
05	Jan29	Jan30	Jan31	Feb01	Feb02	Feb03	Feb04
06	Feb05	Feb06	Feb07	Feb08	Feb09	Feb10	Feb11
07	Feb12	Feb13	Feb14	Feb15	Feb16	Feb17	Feb18
08	Feb19	Feb20	Feb21	Feb22	Feb23	Feb24	Feb25
09	Feb26	Feb27	Feb28	Mar01	Mar02	Mar03	Mar04
10	Mar05	Mar06	Mar07	Mar08	Mar09	Mar10	Mar11
11	Mar12	Mar13	Mar14	Mar15	Mar16	Mar17	Mar18
12	Mar19	Mar20	Mar21	Mar22	Mar23	Mar24	Mar25
13	Mar26	Mar27	Mar28	Mar29	Mar30	Mar31	Apr01
14	Apr02	Apr03	Apr04	Apr05	Apr06	Apr07	Apr08
15	Apr09	Apr10	Apr11	Apr12	Apr13	Apr14	Apr15
16	Apr16	Apr17	Apr18	Apr19	Apr20	Apr21	Apr22
17	Apr23	Apr24	Apr25	Apr26	Apr27	Apr28	Apr29
18	Apr30	May01	May02	May03	May04	May05	May06
19	May07	May08	May09	May10	May11	May12	May13
20	May14	May15	May16	May17	May18	May19	May20
21	May21	May22	May23	May24	May25	May26	May27
22	May28	May29	May30	May31	Jun01	Jun02	Jun03
23	Jun04	Jun05	Jun06	Jun07	Jun08	Jun09	Jun10
24	Jun11	Jun12	Jun13	Jun14	Jun15	Jun16	Jun17
25	Jun18	Jun19	Jun20	Jun21	Jun22	Jun23	Jun24
26	Jun25	Jun26	Jun27	Jun28	Jun29	Jun30	Jul01
27	Jul02	Jul03	Jul04	Jul05	Jul06	Jul07	Jul08
28	Jul09	Jul10	Jul11	Jul12	Jul13	Jul14	Jul15
29	Jul16	Jul17	Jul18	Jul19	Jul20	Jul21	Jul22
30	Jul23	Jul24	Jul25	Jul26	Jul27	Jul28	Jul29
31	Jul30	Jul31	Aug01	Aug02	Aug03	Aug04	Aug05
32	Aug06	Aug07	Aug08	Aug09	Aug10	Aug11	Aug12
33	Aug13	Aug14	Aug15	Aug16	Aug17	Aug18	Aug19
34	Aug20	Aug21	Aug22	Aug23	Aug24	Aug25	Aug26
35	Aug27	Aug28	Aug29	Aug30	Aug31	Sep01	Sep02
36	Sep03	Sep04	Sep05	Sep06	Sep07	Sep08	Sep09
37	Sep10	Sep11	Sep12	Sep13	Sep14	Sep15	Sep16
38	Sep17	Sep18	Sep19	Sep20	Sep21	Sep22	Sep23
39	Sep24	Sep25	Sep26	Sep27	Sep28	Sep29	Sep30
40	Oct01	Oct02	Oct03	Oct04	Oct05	Oct06	Oct07
41	Oct08	Oct09	Oct10	Oct11	Oct12	Oct13	Oct14
42	Oct15	Oct16	Oct17	Oct18	Oct19	Oct20	Oct21
43	Oct22	Oct23	Oct24	Oct25	Oct26	Oct27	Oct28
44	Oct29	Oct30	Oct31	Nov01	Nov02	Nov03	Nov04
45	Nov05	Nov06	Nov07	Nov08	Nov09	Nov10	Nov11
46	Nov12	Nov13	Nov14	Nov15	Nov16	Nov17	Nov18
47	Nov19	Nov20	Nov21	Nov22	Nov23	Nov24	Nov25
48	Nov26	Nov27	Nov28	Nov29	Nov30	Dec01	Dec02
49	Dec03	Dec04	Dec05	Dec06	Dec07	Dec08	Dec09
50	Dec10	Dec11	Dec12	Dec13	Dec14	Dec15	Dec16
51	Dec17	Dec18	Dec19	Dec20	Dec21	Dec22	Dec23
52	Dec24	Dec25	Dec26	Dec27	Dec28	Dec29	Dec30
53	Dec31						

Días no lectivos:

Se indica en azul claro los periodos vacacionales y los días festivos:

- 6 de enero : Reyes
- 6 de abril: Viernes santo
- 9 de abril: Lunes de Pascua
- 1 de mayo: Día del trabajador
- 18 de mayo: La ascensión
- 11 de septiembre: Diada de Catalunya
- 14 de septiembre: Fiesta mayor de Corró d'Avall
- 12 de octubre: Día de la Hispanidad
- 1 de noviembre: Días de todos los Santos
- 6 de diciembre: Día de la Constitución
- 8 de diciembre: Día de la Inmaculada Concepción

Se indica en azul oscuro los fines de semana.

Se indica en verde los días previstos de uso de “Casal de verano”.

## 9.6. Banco de materiales Ecotect (se indica entre paréntesis la nomenclatura en el programa)

### 9.6.1. Suelos

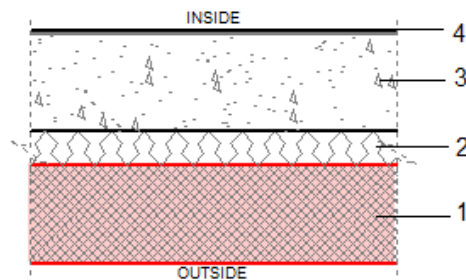
U-Value (W/m2.K):	0.630
Admittance (W/m2.K):	6.000
Solar Absorption (0-1):	0.465
Visible Transmittance (0-1):	0.21
Thermal Decrement (0-1):	0.14
Thermal Lag (hrs):	11.47
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	355.0
Weight (kg):	676.500

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.753)	(R:0.753)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

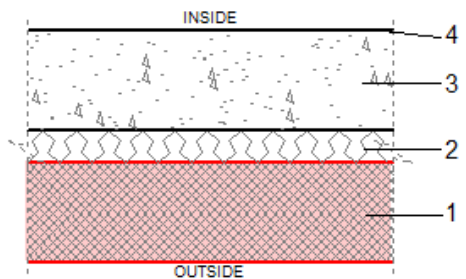
U-Value (W/m2.K):	0.630
Admittance (W/m2.K):	6.110
Solar Absorption (0-1):	0.465
Visible Transmittance (0-1):	0.21
Thermal Decrement (0-1):	0.15
Thermal Lag (hrs):	11.42
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	352.0
Weight (kg):	672.800

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.753)	(R:0.753)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel Or	150.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Prefoamed Rigid	50.0	40.0	1130.000	0.042
3. Dense	150.0	2200.0	840.000	1.700
4. Ceramic Floor Tiles	5.0	1700.0	850.000	0.800



Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel Or	150.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Prefoamed Rigid	50.0	40.0	1130.000	0.042
3. Dense	150.0	2200.0	840.000	1.700
4. Composite, Flooring	2.0	2400.0	1000.000	0.850



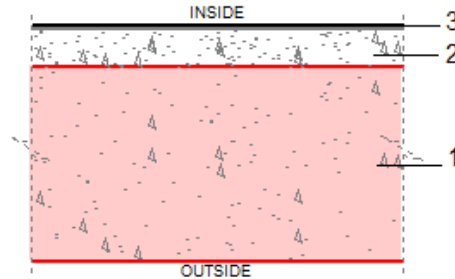
- Forjado sanitario con pavimento de gres  
(Solera grava general gres): Pavimento de gres 5 mm + Capa de compresión 150 mm + 5 mm poliestireno extruido + 150 encachado de grava.

- Forjado sanitario con pavimento de resinas  
(Solera grava general pavimento tipo): Pavimento de resinas 2 mm + Capa de compresión 150 mm + 50 mm poliestireno extruido + 150 mm encachado de grava.

U-Value (W/m2.K):	2.900
Admittance (W/m2.K):	5.620
Solar Absorption (0-1):	0.465
Visible Transmittance (0-1):	0.21
Thermal Decrement (0-1):	0.35
Thermal Lag (hrs):	7.54
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	305.0
Weight (kg):	693.500

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.753)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	250.0	2300.0	840.000	1.900
2. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
3. Ceramic Floor Tiles	5.0	1700.0	850.000	0.800

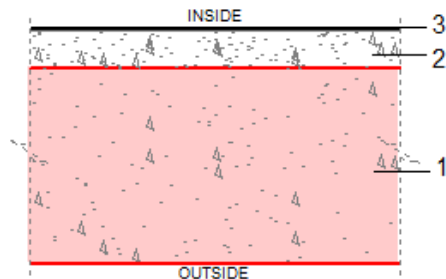


- Forjado con pavimento de gres (Suelo gres estándar): Pavimento de gres 5 mm + Capa de compresión 50 mm + Losa prefabricada hormigón armado 250 mm

U-Value (W/m2.K):	2.580
Admittance (W/m2.K):	5.650
Solar Absorption (0-1):	0.465
Visible Transmittance (0-1):	0.21
Thermal Decrement (0-1):	0.32
Thermal Lag (hrs):	8.31
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	302.0
Weight (kg):	689.800

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.753)	(R:0.753)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	250.0	2300.0	840.000	1.400
2. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
3. Composite, Flooring	2.0	2400.0	1000.000	0.850



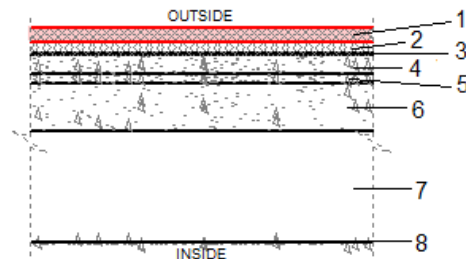
- Forjado con pavimento de resinas (Suelo estándar): Pavimento de resinas de 2 mm + Capa de compresión 50 mm + Losa prefabricada hormigón armado 250 mm

### 9.6.2. Cubiertas

U-Value (W/m2.K):	0.390
Admittance (W/m2.K):	0.750
Solar Absorption (0-1):	0.478
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0
Thermal Lag (hrs):	17.78
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	1143.0
Weight (kg):	977.563

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.580)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel)	80.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Preformed F	60.0	40.0	1130.000	0.042
3. Polyethylene (High Dens)	3.0	950.0	2301.000	0.502
4. Concrete Lightweight	100.0	950.0	656.900	0.209
5. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
6. Dense, Reinforced	250.0	2300.0	840.000	1.900
7. Air Gap	587.0	1.3	1004.000	5.560
8. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160

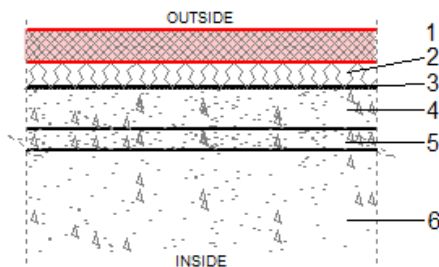


- Cubierta estándar y falso techo ampa y vestuario (Cubierta ampa vestuarios): Placa de cartón yeso de 13 mm + Cámara de aire de 587 mm + Forjado de 250 mm + Capa de compresión de 50 mm + Hormigón ligero para formación de pendientes 100mm promedio + Lámina impermeable de polietileno 3 mm + Placas de poliestireno 60 mm + Encachado de grava de 80 mm

U-Value (W/m2.K):	0.430
Admittance (W/m2.K):	5.960
Solar Absorption (0-1):	0.478
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.06
Thermal Lag (hrs):	16.99
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	543.0
Weight (kg):	964.450

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.580)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0.05	0.05
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel)	80.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Preformed F	60.0	40.0	1130.000	0.042
3. Polyethylene (High Dens)	3.0	950.0	2301.000	0.502
4. Concrete Lightweight	100.0	950.0	656.900	0.209
5. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
6. Dense, Reinforced	250.0	2300.0	840.000	1.900

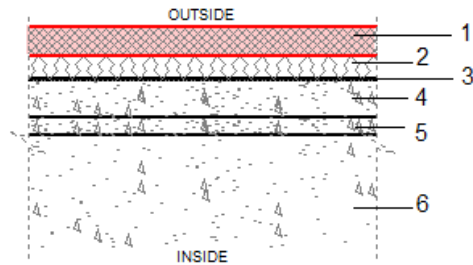


- Cubierta estándar (Cubierta basica): Forjado de 250 mm + Capa de compresión de 50 mm + Hormigón ligero para formación de pendientes 100 mm promedio + Lámina impermeable de polietileno 3 mm + Placas de poliestireno 60 mm + Encachado de grava de 80 mm

U-Value [W/m2.K]:	0.430
Admittance [W/m2.K]:	5.920
Solar Absorption (0-1):	0.478
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.04
Thermal Lag (hrs):	18.34
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	593.0
Weight (kg):	1079.450

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.580)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0.05	0.05
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel)	80.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Prefoamed F	60.0	40.0	1130.000	0.042
3. Polyethylene (High Dens)	3.0	950.0	2301.000	0.502
4. Concrete Lightweight	100.0	950.0	656.900	0.209
5. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
6. Dense, Reinforced	300.0	2300.0	840.000	1.900

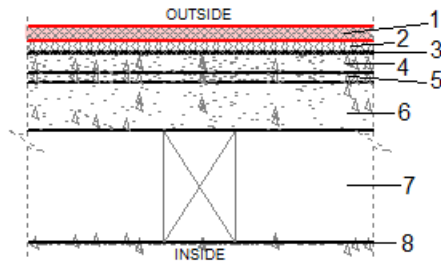


- Cubierta estándar cocina y gimnasio (Cubierta cocina gimnasio):  
Forjado de 300 mm + Capa de compresión de 50 mm + Hormigón ligero para formación de pendientes 100mm promedio + Lámina impermeable de polietileno 3 mm + Placas de poliestireno 60 mm + Encachado de grava de 80 mm

U-Value [W/m2.K]:	0.400
Admittance [W/m2.K]:	0.690
Solar Absorption (0-1):	0.478
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0
Thermal Lag (hrs):	17.78
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	1143.0
Weight (kg):	976.417

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.580)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel)	80.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Prefoamed F	60.0	40.0	1130.000	0.042
3. Polyethylene (High Dens)	3.0	950.0	2301.000	0.502
4. Concrete Lightweight	100.0	950.0	656.900	0.209
5. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
6. Dense, Reinforced	250.0	2300.0	840.000	1.900
7. Air Gap	590.0	1.3	1004.000	5.560
8. Plaster Ceiling Tiles	10.0	1120.0	840.000	0.380

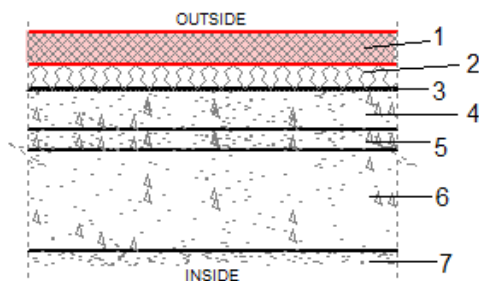


- Cubierta estándar y falso techo baño (Cubierta con pladur vinílico):  
Placa de cartón yeso con acabado vinílico de 10 mm + Cámara de aire de 590 mm + Forjado de 250 mm + Capa de compresión de 50 mm + Hormigón ligero para formación de pendientes 100mm promedio + Lámina impermeable de polietileno 3 mm + Placas de poliestireno 60 mm + Encachado de grava de 80 mm

U-Value (W/m2.K):	0.340
Admittance (W/m2.K):	1.250
Solar Absorption (0-1):	0.478
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.02
Thermal Lag (hrs):	17.86
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	578.0
Weight (kg):	975.650

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.599)	(R:0.580)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0.05	0.05
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel)	80.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Prefoamed F	60.0	40.0	1130.000	0.042
3. Polyethylene (High Dens	3.0	950.0	2301.000	0.502
4. Concrete Lightweight	100.0	950.0	656.900	0.209
5. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
6. Dense, Reinforced	250.0	2300.0	840.000	1.900
7. Wood Fibres, Compressed	35.0	320.0	100.000	0.055

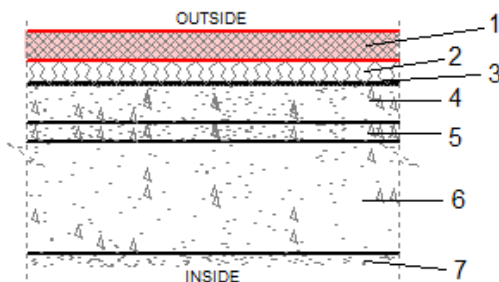


- Cubierta estándar con falso techo fonoabsorbente (Cubierta fonoabsorbente): Panel fonoabsorbente tipo heraklith 35 mm + Cámara de aire de 590 mm + Forjado de 250 mm + Capa de compresión de 50 mm + Hormigón ligero para formación de pendientes 100mm promedio + Lámina impermeable de polietileno 3 mm + Placas de poliestireno 60 mm + Encachado de grava de 80 mm

U-Value (W/m2.K):	0.340
Admittance (W/m2.K):	1.250
Solar Absorption (0-1):	0.478
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.01
Thermal Lag (hrs):	18.34
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	628.0
Weight (kg):	1090.650

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.599)	(R:0.580)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0.05	0.05
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Aggregate (Sand, Gravel)	80.0	2240.0	920.000	1.300
2. Polystyrene Prefoamed F	60.0	40.0	1130.000	0.042
3. Polyethylene (High Dens	3.0	950.0	2301.000	0.502
4. Concrete Lightweight	100.0	950.0	656.900	0.209
5. Dense	50.0	2200.0	840.000	1.700
6. Dense, Reinforced	300.0	2300.0	840.000	1.900
7. Wood Fibres, Compressed	35.0	320.0	100.000	0.055



- Cubierta estándar fonoabsorbente cocina y gimnasio (Cubierta fonoabsorbente cocina gim): Panel fonoabsorbente tipo heraklith 35 mm + Cámara de aire de 590 mm + Forjado de 300 mm + Capa de compresión de 50 mm + Hormigón ligero para formación de pendientes 100mm promedio + Lámina impermeable de polietileno 3 mm + Placas de poliestireno 60 mm + Encachado de grava de 80 mm

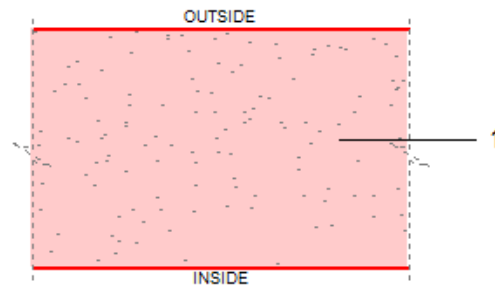


### 9.6.3. Falsos techos

U-Value (W/m2.K):	1.230
Admittance (W/m2.K):	1.230
Solar Absorption (0-1):	0.461
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	1
Thermal Lag (hrs):	0.05
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	35.0
Weight (kg):	11.200

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.599)	(R:0.599)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0.05	0.05
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Wood Fibres, Compressed	35.0	320.0	100.000	0.055

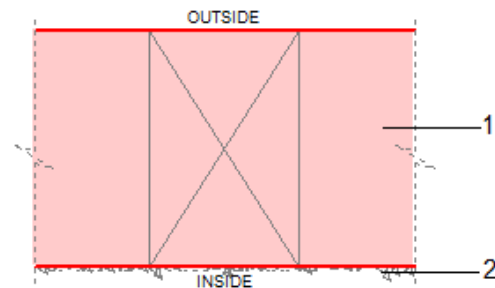


- Falso techo fonoabsorbente aulas y laboratorios (Techo aulas laboratorios fonoabsorvente): Panel tipo Heraklith de 35 mm adosado directamente al forjado.

U-Value (W/m2.K):	2.600
Admittance (W/m2.K):	2.630
Solar Absorption (0-1):	0.245
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	1
Thermal Lag (hrs):	0.23
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	600.0
Weight (kg):	11.967

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.839)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

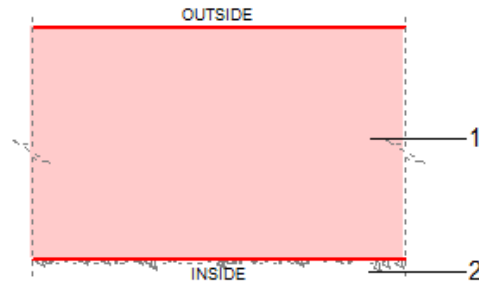
Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Air Gap	590.0	1.3	1004.000	5.560
2. Plaster Ceiling Tiles	10.0	1120.0	840.000	0.380



- Falso techo baños (Techo baños pladur vinilico): Placa de cartón yeso con acabado vinílico de 10 mm + Cámara de aire de 590 mm

U-Value (W/m2.K):	2.280
Admittance (W/m2.K):	0.750
Solar Absorption (0-1):	0.322
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.07
Thermal Lag (hrs):	0.23
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	600.0
Weight (kg):	13.113

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Air Gap	587.0	1.3	1004.000	5.560
2. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160



	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.753)	(R:0.753)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

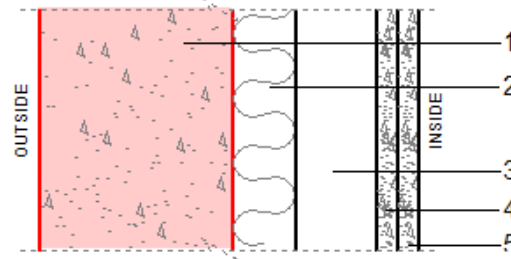
- Falso techo cartón yeso  
(Techo secretaria ampa cocina y vestuarios): Placa de cartón yeso de 13 mm + Cámara de aire de 587 mm

### 9.6.4. Fachadas

U-Value (W/m2.K):	0.560
Admittance (W/m2.K):	1.480
Solar Absorption (0-1):	0.244706
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.57
Thermal Lag (hrs):	5.48
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	236.0
Weight (kg):	302.365

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.839)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	120.0	2300.0	840.000	1.400
2. Polyurethane Foamed-In-Pla	40.0	40.0	1674.000	0.032
3. Air Gap	50.0	1.3	1004.000	5.560
4. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.250
5. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160

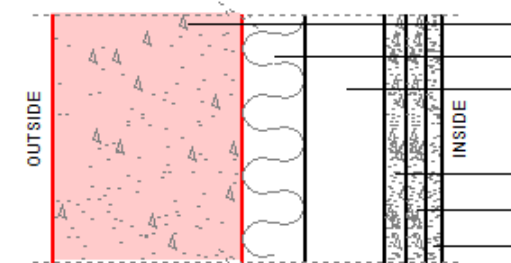


- **Fachada tipo (Fachada tipo):** Panel prefabricado de hormigón de 120 mm + Poliuretano proyectado 40 mm + Cámara de aire de 50 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm

U-Value (W/m2.K):	0.520
Admittance (W/m2.K):	1.900
Solar Absorption (0-1):	0.244706
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.54
Thermal Lag (hrs):	6.33
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	246.0
Weight (kg):	310.365

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.813)	(R:0.839)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	120.0	2300.0	840.000	1.400
2. Polyurethane Foamed-In	40.0	40.0	1674.000	0.032
3. Air Gap	50.0	1.3	1004.000	5.560
4. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.250
5. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160
6. Particle Board	10.0	800.0	1300.000	0.120

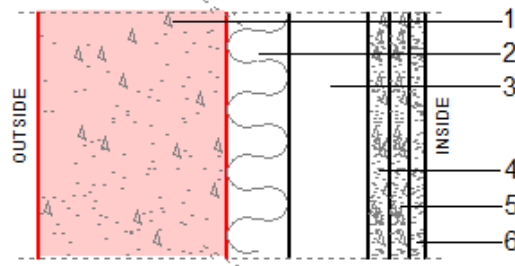


- **Fachada tipo con arrimadero (Fachada tipo con arrimadero):** Panel prefabricado de hormigón de 120 mm + Poliuretano proyectado 40 mm + Cámara de aire de 50 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm + Tablero DM de 10 mm

U-Value (W/m2.K):	0.520
Admittance (W/m2.K):	1.900
Solar Absorption (0-1):	0.244706
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.54
Thermal Lag (hrs):	6.33
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	246.0
Weight (kg):	310.365

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.598)	(R:0.839)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	120.0	2300.0	840.000	1.400
2. Polyurethane Foamed-In	40.0	40.0	1674.000	0.032
3. Air Gap	50.0	1.3	1004.000	5.560
4. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.250
5. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160
6. Particle Board	10.0	800.0	1300.000	0.120

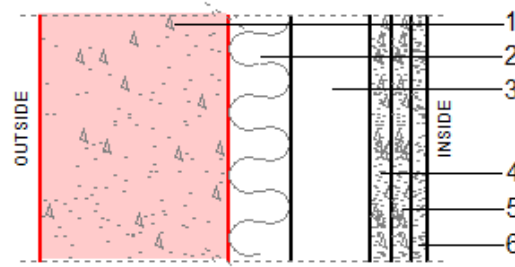


- Fachada tipo con arrimadero gimnasio (Fachada tipo con arrimadero gimnasio): Panel prefabricado de hormigón de 120 mm + Poliuretano proyectado 40 mm + Cámara de aire de 50 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm + Tablero DM de 10 mm

U-Value (W/m2.K):	0.540
Admittance (W/m2.K):	2.410
Solar Absorption (0-1):	0.244706
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.55
Thermal Lag (hrs):	6.14
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	246.0
Weight (kg):	322.365

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.839)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	120.0	2300.0	840.000	1.400
2. Polyurethane Foamed-In	40.0	40.0	1674.000	0.032
3. Air Gap	50.0	1.3	1004.000	5.560
4. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.250
5. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160
6. Ceramic Tiles	10.0	2000.0	850.000	1.200

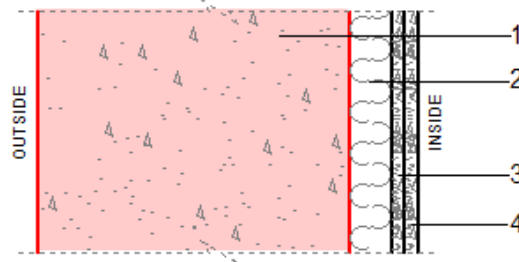


- Fachada tipo con alicatado (Fachada tipo alicatado): Panel prefabricado de hormigón de 120 mm + Poliuretano proyectado 40 mm + Cámara de aire de 50 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm + Placa de cartón yeso de 13 mm + Alicatado cerámico de 10 mm

U-Value (W/m2.K):	0.580
Admittance (W/m2.K):	1.460
Solar Absorption (0-1):	0.421
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.2
Thermal Lag (hrs):	9.53
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	366.0
Weight (kg):	716.300

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.812)	(R:0.643)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Dense, Reinforced	300.0	2300.0	840.000	1.900
2. Polyurethane Foamed-In-Pla	40.0	40.0	1674.000	0.032
3. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160
4. Plasterboard	13.0	950.0	840.000	0.160

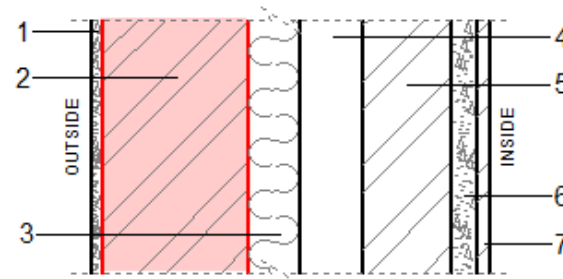


- Muro de contención trasdosado (Muro 300 mm trasdosado cartón yeso): Muro de contención de hormigón armado de 300 mm + Poliuretano proyectado 40 mm + Placa cartón yeso de 13 mm + Placa cartón yeso de 13 mm

U-Value (W/m2.K):	0.470
Admittance (W/m2.K):	4.300
Solar Absorption (0-1):	0.421
Visible Transmittance (0-1):	0
Thermal Decrement (0-1):	0.36
Thermal Lag (hrs):	9.54
[SBEM] CM 1:	0
[SBEM] CM 2:	0
Thickness (mm):	315.0
Weight (kg):	314.915

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(R:0.839)	(R:0.643)
Emissivity:	0.9	0.9
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1. Cement Mortar	10.0	1650.0	920.000	0.720
2. Brick, Mediumweight	115.0	1550.0	840.000	0.540
3. Polyurethane Foamed-In	40.0	40.0	1674.000	0.032
4. Air Gap	50.0	1.3	1004.000	5.560
5. Brick, Lightweight	70.0	950.0	840.000	0.270
6. Cement / Lime Plaster	20.0	1600.0	840.000	0.800
7. Ceramic Tiles	10.0	2000.0	850.000	1.200



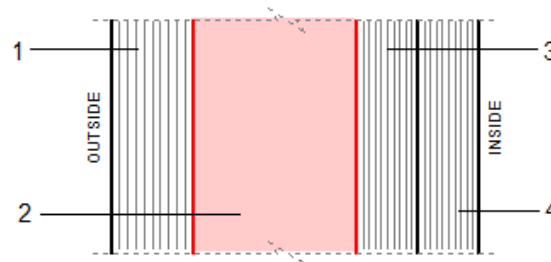
- Fachada doble hoja  
(Fachada doble hoja Entrada vestuarios y cocina): Rebozado de hormigón Portland 10 mm + Ladrillo tipo gero 115 mm + Poliuretano proyectado 40 mm + Cámara de aire 50 mm + Tabique formación de cámara 70 mm + Mortero de cal 20 mm+ Alicatado cerámico 10 mm

### 9.6.5. Ventanas

U-Value (W/m <sup>2</sup> .K):	3.280
Admittance (W/m <sup>2</sup> .K):	3.280
Solar Heat Gain Coeff. (0-1):	0.73
Visible Transmittance (0-1):	0.8
Refractive Index of Glass:	1.74
Alt Solar Gain (Heavywt):	0.7
Alt Solar Gain (Lightwt):	0.12
Thickness (mm):	18.0
Weight (kg):	24.410

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(T:0.804)	(T:0.804)
Emissivity:	0.78	0.78
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1.	Glass Standard	4.0	2500.0	836.800	1.046
2.	Air Gap	8.0	1.3	1004.000	5.560
3.	Glass Standard	3.0	2500.0	836.800	1.046
4.	Glass Standard	3.0	2300.0	836.800	1.046

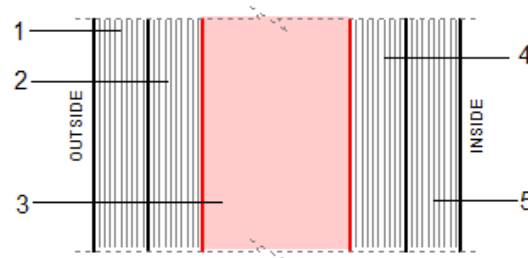


- Ventana estándar (Vidrio 4 8 3 3): Vidrio 4 mm + Cámara de aire 8 mm + Vidrio 3 mm + Vidrio 3 mm

U-Value (W/m <sup>2</sup> .K):	3.280
Admittance (W/m <sup>2</sup> .K):	3.280
Solar Heat Gain Coeff. (0-1):	0.73
Visible Transmittance (0-1):	0.8
Refractive Index of Glass:	1.74
Alt Solar Gain (Heavywt):	0.7
Alt Solar Gain (Lightwt):	0.12
Thickness (mm):	20.0
Weight (kg):	28.810

	Internal	External
Colour (Reflect.):	(T:0.804)	(T:0.804)
Emissivity:	0.78	0.78
Specularity:	0	0
Roughness:	0	0

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.
1.	Glass Standard	3.0	2500.0	836.800	1.046
2.	Glass Standard	3.0	2300.0	836.800	1.046
3.	Air Gap	8.0	1.3	1004.000	5.560
4.	Glass Standard	3.0	2500.0	836.800	1.046
5.	Glass Standard	3.0	2300.0	836.800	1.046



- Ventana de seguridad (Vidrio 3 3 8 3 3): Vidrio 3 mm + Vidrio 3 m. + Cámara de aire 8 mm + Vidrio 3 mm + Vidrio 3 mm

## 9.7. Tabla de emisiones de los materiales en Kg de CO2

MATERIAL	Kg CO <sub>2</sub>	%	MATERIAL	Kg CO <sub>2</sub>	%	MATERIAL	Kg CO <sub>2</sub>	%
acer	785092,87	22,46	massilla acrílica	10725,41	0,31	dissolvent	679,56	0,019
ciment	760157,81	21,75	morter prefabricat	10854,69	0,31	fusta	625,61	0,018
formigó prefabricat	398672,75	11,41	acer recuit	9552,55	0,27	acer pintat al forn	555,66	0,016
acer laminat	189767,2	5,43	pols quarç	9470,16	0,27	acer lacat	505,63	0,014
PVC	131132,87	3,75	ABS	9032,71	0,26	llautó cromat	493,79	0,014
acer galvanitzat	129213,37	3,7	llana de vidre	9082,91	0,26	polièster	503,86	0,014
imprimació antioxidant	111149,36	3,18	sulfat de magnesi	8355,47	0,24	poliestirè expandit	451,95	0,013
betum asfàltic	88635,25	2,54	neoprè	5717,22	0,16	zinc	449	0,013
resina sintètica	81118,1	2,32	aglomerat fusta	5333,03	0,15	tauler de partícules de fusta	401,72	0,011
àrid	67025,51	1,92	alumini anoditzat	4538,91	0,13	plom	344,19	0,0098
poliestirè extruït	64983,55	1,86	fosa	4456,63	0,13	polièster reforçat	326,68	0,0093
guix laminat	62867,98	1,8	fibra natural	3950,61	0,11	pintura acrílica	320,49	0,0092
alumini lacat	55113,98	1,58	oli sintètic	3487,15	0,1	butil	314,46	0,009
alumini	53356,71	1,53	gres extruït	3185,03	0,091	bronze	306,98	0,0088
polietilè	47007,46	1,35	terratzo	3085,24	0,088	oxiasfalt	270,72	0,0077
esmalt sintètic	31002,75	0,89	poliamida	3004,45	0,086	aigua	172,95	0,0049
escuma de poliuretà	30523,61	0,87	poliuretà	2965,36	0,085	quitrà	141,91	0,0041
coure	25799,84	0,74	vinil	2651,18	0,076	acer cromat	119,12	0,0034
fibrociment NT	25362,13	0,73	tauler partícules fusta xapada	2630,71	0,075	màstic	107,18	0,0031
terratzo rentat àcid	25470,63	0,73	àrid reciclat	2366,73	0,068	goma elastomèrica	101,36	0,0029
coure recuit	25267,59	0,72	llautó	2338,09	0,067	acer laminat galvanitzat	99,09	0,0028
llana de roca	24437,48	0,7	acer inoxidable	2308	0,066	form.polímer	90,16	0,0026
ceràmica	23733,92	0,68	nylon	2064,36	0,059	poliestirè	74,98	0,0021
additiu	23244,65	0,67	pols seca polivalent	1859,76	0,053	suro aglomerat	71,18	0,002
resina epoxi	16472,55	0,47	acer conformat galvanitzat	1828,28	0,052	cautxú asfàltic	51,28	0,0015
acer negre	15851,29	0,45	adhesiu de cautxú sintètic	1536,62	0,044	policarbonat	15,18	0,000434
vidre	15280,79	0,44	paper	1260,48	0,036	pintura antioxidant	11,37	0,000325
polipropilè	13996,18	0,4	cautxú sintètic	1056,27	0,03	massilla de poliuretà	10,86	0,000311
pintura plàstica	12099,29	0,35	polisulfur	860,48	0,025	massilla de silicona	4,85	0,000139
calç	11406,87	0,33	adhesiu de resines epoxi	747,23	0,021	fibra mineral	0,8	0,0000229
ceràmica esmaltada	11063,11	0,32	guix	711,28	0,02	bentonita	0,095	0,00000258
						TOTAL	3494947,12	100

## 9.8. Reportaje fotográfico





