



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería eléctrica

Análisis del ahorro energético en un edificio de alta eficiencia

Autor:

Sánchez Fernández, Luis Victorino

Tutor:

**Duque Pérez, Óscar
Departamento de Ingeniería
Eléctrica**

Valladolid, julio de 2022.

Resumen

En este trabajo se realiza una evaluación de los aspectos más importantes a la hora de diseñar edificios de consumo casi nulo.

En primer lugar se definen los conceptos clave y se evalúa la disposición de recursos renovables en la región.

Posteriormente se describen las distintas consideraciones y sistemas que convierten un edificio normal en un edificio de consumo casi nulo.

Finalmente se realiza un análisis de las medidas reales para determinar la viabilidad económica y se comparan las medidas reales con las simuladas.

Palabras clave

Eficiencia energética, edificio, consumo nulo, renovables, iluminación

1. Introducción y objetivos	
1.1. Introducción	6
1.2. Objetivos	7
2. Eficiencia energética	
2.1. Definición de eficiencia energética	9
2.2. El pequeño consumidor	9
2.3. Los edificios	10
2.4. La industria	11
2.5. El transporte	12
2.6. Las ciudades e infraestructura	12
2.7. Comportamiento	12
3. Edificios de consumo casi nulo	
3.1. Edificios de consumo casi nulo	15
3.2. Certificación de edificios	16
4. Consideraciones energéticas	
4. Consideraciones energéticas	19
4.1. Energía solar	19
4.2. Biomasa	21
5. Edificio LUCIA	
5. Edificio LUCIA	26
5.1. Descripción general	27
5.2. Iluminación	27
5.3. Generación de energía	28
5.4. Tratamiento de agua	28
5.5. Geotermia y microclima	29
5.6. Certificación LEED	30
6. Descripción específica	32
6.1. Solar	32
6.2. Cogeneración	34
6.3. Sistemas de iluminación	37
6.4. Climatización	41
6.5. Instalación eléctrica	43
7. Medidas	47
7.1. Descripción de las medidas	47
7.2. Medidas de iluminación en planta baja	48
7.3. Potencia demandada por fase en planta baja	51
8. Análisis de medidas	55
8.1. Análisis de medidas en planta baja	55
9. Análisis de histórico de datos	64
9.1. Medidas de la planta baja	64
9.2. Medidas de la planta primera	67
9.5. Producción fotovoltaica	72
9.4. Medidas de todo el edificio y resultados de la simulación	71
10. Conclusiones	75
10.1. En cuanto a los consumos en iluminación	75
10.2. En cuanto al reparto de fases del edificio	75
10.3. En cuanto a los consumos de cada espacio	76
10.4. En cuanto a la simulación de consumos y los consumos reales	76

10.5. En cuanto a la generación fotovoltaica.....	77
10.6. Conclusiones finales.....	77
10.7. Líneas futuras de trabajo.....	78
11. Bibliografía	
11. Bibliografía	80
12. Anexos	
12. Anexos.....	82

1. Introducción y objetivos

1.1. Introducción

Los edificios suponen un 40% del consumo de energía en la Unión Europea y son responsables de gran cantidad de las emisiones perjudiciales para el medio ambiente. La Directiva Europea de Rendimiento de Edificios requiere que los nuevos edificios públicos sean de consumo casi nulo para 2018 y todos los edificios para 2020.

En estos edificios la energía total consumida en el edificio a lo largo de un año es igual a la energía total generada de origen renovable en el propio edificio. El objetivo de estos edificios es reducir las emisiones de efecto invernadero, pero no es solo ecológico, también es económico, tanto por el ahorro en energía como por subvenciones.

Es necesario abordar el concepto de eficiencia energética a la hora de diseñar estos edificios de consumo casi nulo, así como la integración de renovables en edificios.

Las energías renovables son aquellas que se caracterizan por la utilización de recursos prácticamente inagotables y por la no utilización de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica. Las energías renovables que se pueden integrar en edificios son la solar, tanto fotovoltaica como térmica, y la biomasa.

Durante mi asignatura de prácticas en empresa de la universidad, tuve la oportunidad de trabajar en un edificio de estas características que usa precisamente energía solar fotovoltaica, biomasa y en cierto modo, energía solar térmica.

El edificio de consumo casi nulo de la universidad de Valladolid se conoce como Edificio LUCIA, se encuentra en el Campus Miguel Delibes, se diseñó como base para investigar sobre los aspectos sociales de la edificación sostenible.

Su construcción se terminó en 2013 y cuenta con varios premios a la edificación sostenible.

1.2. Objetivos

- Estimar el impacto de los detectores de presencia, detectores de iluminación y reguladores de intensidad
- Evaluar el equilibrio de fases del edificio
- Determinar la utilidad de los equipos de medida integrados en la instalación eléctrica del edificio
- Comparar los resultados obtenidos en el estudio con los obtenidos en la aplicación real
- Evaluar la generación solar fotovoltaica
- Determinar el o los componentes más importantes para conseguir el consumo 0

2. Eficiencia energética

2.1. Definición de eficiencia energética

Un concepto clave a la hora de hablar de edificios de consumo casi nulo es el de eficiencia energética.

La eficiencia energética se puede definir como el conjunto de acciones y estrategias que optimizan la energía consumida sin perder calidad de producción o calidad de vida. En otras palabras: supone ahorrar sin repercusión en el producto final.

Se puede considerar incluso un combustible, ya que al aumentar las políticas de eficiencia energética, se consigue reducir el consumo de otros combustibles. Es más, la Agencia Internacional de la Energía ha calculado que las políticas de eficiencia energética aplicadas entre 1974 y 2010 han tenido más éxito evitando el consumo de energía en sus estados miembros que en la reducción del consumo de otros combustibles, tales como el petróleo, el gas o el carbón.

Además de los beneficios económicos asociados a la reducción del gasto energético, existen otras ventajas asociadas de gran importancia, como los beneficios para el medio ambiente, la salud y calidad de vida de las personas y la estabilidad de la red eléctrica.

La eficiencia energética se traduce en la reducción del uso de combustibles fósiles, que significa una reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. Estas emisiones son las principales causantes del cambio climático y la contaminación atmosférica. La reducción de estas emisiones por tanto supone un aumento de la calidad del aire, del agua y de la tierra que tienen un impacto directo sobre la salud de las personas.

También supone una mejora de las condiciones en el interior de edificios al reducirse el consumo en iluminación y climatización artificial en favor de luz natural y mantenimiento de una temperatura de confort.

La infraestructura de las ciudades se ve afectada de forma positiva, ya que las estrategias de eficiencia energética implican un cambio hacia los espacios verdes, mejora del transporte público o fomento del uso de bicicleta.

La reducción de la demanda de energía implica mayor seguridad energética, menor carga de la red eléctrica, aumentando su estabilidad y reducción del riesgo de mercado para los consumidores de energía.

2.2. El pequeño consumidor

La eficiencia energética empieza con el consumidor más pequeño: el individuo. Los beneficios de la eficiencia energética para el individuo son principalmente económicos, pues reduce el coste de comprar energía.

Los electrodomésticos modernos utilizan menos energía que los más antiguos, un frigorífico moderno de consumo eficiente utiliza un 40% menos de energía que un frigorífico convencional de 2001. Con este precedente, se estima que si todos los hogares europeos cambiaran sus electrodomésticos de más de 10 años de edad por electrodomésticos modernos, se ahorrarían 20.000.000.000 kWh anualmente y 18.000.000.000 kg de CO₂.

En Europa los electrodomésticos se marcan con la Etiqueta energética de la Unión Europea, cuyo objetivo es informar al comprador del consumo energético esperable del producto. Recientemente se ha actualizado la etiqueta, concretamente en marzo de 2021. La escala empleada en la nueva etiqueta energética emplea cálculos más estrictos y más realistas.

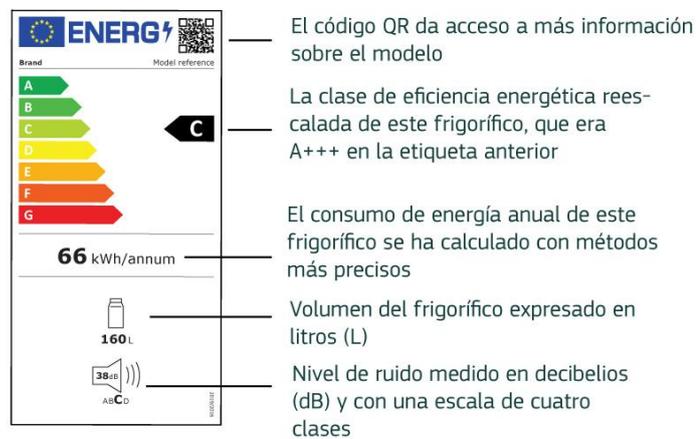


Figura 1: Etiqueta energética de la Unión Europea [26]

2.3. Los edificios

En la construcción de edificios también es muy importante la eficiencia energética, ya que son grandes consumidores de energía. Todos los sistemas que se encargan de que las condiciones en el interior de los edificios sean agradables para el usuario consumen energía. La eficiencia energética de un edificio se suele medir con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Energía consumida}}{\text{Superficie construida}}$$

Es una fórmula bastante simple que no tiene en cuenta la energía propia de los materiales con los que se construye el edificio y que pueden ser reutilizados tras su desmantelamiento o usados para producir energía.

Tampoco tiene en cuenta el uso que se le da al edificio, que pueden afectar a las condiciones y calidad del interior y al uso y porcentaje de ocupación.

Una fórmula más compleja que tiene en cuenta todos esos factores es la siguiente:

$$\frac{\text{Energía intrínseca} \times \text{Energía consumida} - \text{Energía recuperada}}{\text{Superficie construida} \times \text{Ratio de utilización} \times \text{Factor de calidad}}$$

Las medidas necesarias para garantizar la mayor eficiencia energética son por tanto muy diversas.

Típicamente se busca reducir los consumos de manera pasiva, como reducir las necesidades de climatización utilizando materiales aislantes o aumentar la luz natural que llega al interior con la propia arquitectura del edificio.

El entorno también es importante, la localización geográfica y el clima condicionan el diseño. Los edificios en el hemisferio norte se deben diseñar mirando al sur para maximizar la energía absorbida del sol que entra al edificio. El empleo de materiales oscuros en la cubierta en climas más fríos o materiales reflectantes en climas más soleados supone un ahorro en climatización. Los edificios y árboles de los alrededores dan sombra y reducen el viento y las zonas verdes en suelos y cubiertas reducen el efecto de isla de calor.

Diseños cerrados con ventanas, muros y suelos aislantes sirven para mantener la temperatura en el interior. Además, la localización y orientación de las ventanas tanto en muros y tejados como que la arquitectura del edificio favorezca la entrada de luz exterior reduce la energía necesaria para iluminar el interior, además de que diversos estudios concluyen que la luz natural aumenta la productividad en oficinas y escuelas. Continuando con la iluminación, las lámparas LED utilizan un 10% de la energía que emplean las bombillas incandescentes.

La utilización de sistemas automáticos para regular temperatura en el interior no solo suponen una reducción del consumo energético, también aumentan el confort en el interior. Otros sistemas automáticos que reducen el consumo energético son detectores de presencia en baños y pasillos y también detectores de iluminación, reguladores de intensidad y lámparas regulables. De forma complementaria a estos sistemas también se instalan medidores inteligentes que permiten mostrar estadísticas de uso y controlar las variables para reducir consumos.

2.4. La industria

Es la gran consumidora de energía. Hay tantas maneras de buscar la eficiencia energética en la industria como diferentes procesos industriales, pero una cosa que tienen en común muchos de esos procesos es que requieren potencia mecánica y calorífica, la cual se obtiene del gas natural, petróleo o electricidad. Un método común de generación de energía eléctrica es a través de vapor de agua, que se puede utilizar posteriormente en intercambiadores de calor en la propia industria. Esto se conoce como cogeneración y permite aprovechar hasta un 90% del combustible frente al 30% de los sistemas de generación de energía convencionales.

Los mantenimientos preventivos de líneas de vapor y de aire comprimido, comunes en las industrias, pueden suponer un ahorro energético significativo, detectando y previniendo fugas.

2.5. El transporte

La eficiencia energética en los automóviles se consigue mediante la mejora del aerodinamismo, ruedas más modernas y su correcta presión, los turbocompresores permiten reducir el tamaño del motor y el mantenimiento periódico como cambiar el filtro del aire puede aumentar el rendimiento en un 10% en los vehículos más antiguos.

Los vehículos más modernos pueden alcanzar el doble de la eficiencia energética que los vehículos normales.

Los nuevos vehículos eléctricos e híbridos son más eficientes que los convencionales y permiten la recuperación de energía con el freno regenerativo.

2.6. Las ciudades e infraestructura

El uso eficiente del terreno y un diseño que permita todos los medios de transporte: caminar, bicicleta y transporte público; son formas esenciales del aumento de la eficiencia energética y la reducción de la huella de carbono.

El desarrollo compacto conserva el espacio abierto en los barrios. Los edificios de viviendas alojan a más personas por m² que las viviendas unifamiliares.

Combinación de áreas residenciales, comerciales, centros de trabajo, escuelas, servicios sociales, instituciones públicas... La posibilidad de satisfacer las necesidades personales sin alejarse mucho del hogar reduce considerablemente la demanda de transporte. Menos viajes significan menos uso de combustible.

Construcción de edificios públicos de bajo consumo, como explicaré más adelante.

Espacios verdes, vegetación natural y árboles contribuyen a reducir el efecto isla de calor. Los árboles proporcionan sombras y reducen el viento y las zonas ajardinadas disipan mejor el calor que el hormigón y el asfalto. Es importante que la vegetación sea de bajo mantenimiento.

2.7. Comportamiento

Todas las estrategias descritas arriba mejoran la eficiencia energética mediante tecnología y diseño. No obstante, el uso que le den las personas a esas tecnologías es lo que decidirá su efectividad.

Las estrategias de eficiencia energética son algo relativamente nuevo, por lo que son importantes las campañas de concienciación y educación. Muchas

veces se subestima el impacto que tienen pequeños ajustes de los comportamientos diarios en el consumo de energía.

Aspectos como el uso eficiente del termostato, ajustar la temperatura a aproximadamente 5 grados por debajo de la temperatura habitual en las horas en las que no se está en casa o se está durmiendo supone un ahorro sin sacrificar el confort. En cuanto al aire acondicionado, es común seleccionar temperaturas por debajo de los niveles normales pensando que así tardará menos en enfriarse el espacio, pero el resultado real es una excesiva refrigeración y por tanto un gasto innecesario, además de ser perjudicial para la salud por el contraste térmico.

O el uso correcto de los sistemas automáticos en los edificios, ya que de poco sirve tener reguladores de intensidad asociados a detectores de iluminación si siempre se tiene el modo de máxima intensidad.

3. Edificios de consumo casi nulo

3.1. Edificios de consumo casi nulo

Un edificio de consumo casi nulo es un edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, la cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno. Otros términos comúnmente utilizados para referirse a este tipo de edificios son: edificio de energía cero, edificio de energía neta cero, edificio de carbono cero o edificio pasivo.

Aunque el foco suele estar en la energía, ya que tanto la electricidad como la calefacción implican mayores gastos y son los que mayor huella de carbono tienen, el concepto de consumo cero se puede aplicar también a otros recursos, tales como aguas, residuos o las emisiones intrínsecas del transporte de materiales, construcción y desmantelamiento del edificio, que suponen un 11% de las emisiones totales de CO₂.

Es por eso que los pasos más importantes para alcanzar el consumo cero se dan en el proceso de diseño. Los diseños más eficientes incluyen sistemas para el aprovechamiento eficiente de la energía solar pasiva en forma de muros, suelos, ventanas que absorben, almacenan o reflejan energía solar en forma de calor en invierno y también evitando el calor del sol en verano. Se denominan pasivos porque no dependen de equipos eléctricos o mecánicos. Los elementos más importantes a tener en cuenta son: forma y orientación del edificio; número, tamaño y posición de las ventanas; aislamiento térmico y sombreado.

En cuanto a los sistemas activos, para conseguir el mayor ahorro energético se emplean equipos de alto rendimiento que suponen un mayor coste inicial tales como: bombas de calor en lugar de calderas, aislamiento térmico, ventanas de alta eficiencia, leds de alta eficiencia o ventilación natural entre otros.

Finalmente, la generación de energía, los edificios pasivos necesitan generar energía para cubrir sus demandas eléctricas y de climatización. Hay dos sistemas clave:

El más común es la integración de paneles fotovoltaicos en la estructura del edificio, práctica que se lleva haciendo para todos los edificios de nueva construcción desde 2007 y a la que se han sumado muchas comunidades y empresas para reducir sus gastos energéticos.

El otro es la cogeneración, que se trata de aprovechar la energía térmica que se genera cuando se produce electricidad en determinados procesos, aumentando así el rendimiento considerablemente.

Otros sistemas comunes son colectores solares para calentar el agua, biomasa para calentar espacios y geotermia para calentar o enfriar el aire.

Se ha conseguido reducir el gasto energético en climatización hasta en un 90% en algunos lugares solo con sistemas de conservación de energía, pero pocos profesionales son capaces de conseguir esos números y el coste aumenta exponencialmente, por lo que suele ser recomendable incluir la generación.

3.2. Certificación de edificios

LEED (Leadership in Energy & Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental en español) es un sistema de certificación de edificios sostenibles desarrollado por el consejo de construcción verde de los Estados Unidos.

La certificación LEED se centra en el uso de la energía, los edificios reciben puntos cuando demuestran prácticas sostenibles en diversas categorías. Por encima de 80 recibe la certificación LEED platinum, el máximo son 110.

Se evalúan:

- Localización sostenible: se valoran cosas como el acceso a transporte público y la cercanía a servicios básicos. 26 puntos.
- Eficiencia del agua: reducción del consumo de agua, tecnologías de aprovechamiento del agua de lluvia y residuales. 10 puntos.
- Energía y atmósfera: energía renovable in situ, rendimiento óptimo de la energía entre otros. 35.
- Materiales y recursos: materiales regionales, reciclaje, reducción de residuos de construcción... 14.
- Calidad ambiental interior: ventilación, uso de materiales de baja emisión, control de iluminación y temperatura, luz solar... 15 puntos.
- Innovación: diseño innovador. 2 puntos.
- Créditos regionales: se valoran en función de lo que las autoridades regionales han considerado importante en la zona. 4 puntos.

En España existe el GBCe (Global Building Council España), que proporciona las herramientas VERDE (Valoración de Eficiencia de Referencia De Edificios), cuyo objetivo es dotar de una metodología de evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Estas herramientas pretenden cubrir todas las necesidades del sector de edificación en España. Las herramientas son accesibles al público, aunque para la certificación es necesario contar con un evaluador acreditado, con el objetivo de garantizar la calidad.

Para la certificación VERDE se evalúan 46 cuestiones divididas en 5 categorías:

- Parcela y emplazamiento: proximidad al transporte público, proximidad y equipamientos y servicios, facilidades para la bicicleta, capacidad de carga de vehículos eléctricos, clasificación de residuos sólidos urbanos, gestión y restauración del hábitat, uso de plantas para crear sombras, efecto isla de calor y la contaminación lumínica.

- Energía y atmósfera: consumo de energía primaria, generación distribuida, consumo en zonas comunes y elección responsable de refrigerantes.
- Recursos naturales: consumo de agua en aparatos sanitarios, necesidades de riego en jardines, consumos de agua singulares, uso de agua no potable, uso de materiales reciclados, elección responsable de materiales, uso de materiales de producción local, el edificio como banco de materiales, gestión de los residuos de la construcción, nivel de intervención en rehabilitaciones, impacto de los materiales de construcción y ecoetiquetado del producto.
- Ambiente interior: limitación de las emisiones de COV, control de calidad del aire, iluminación natural, iluminación artificial y protección frente al ruido.
- Aspectos sociales: espacios para todas las personas, espacios para la comunicación, derecho al sol, derecho a la intimidad, contacto visual con el exterior, acceso a espacios abiertos privados, diseño inclusivo, conexión con la naturaleza, el edificio como una herramienta de educación, diseño pasivo, control parcial de los sistemas de clima, control local de la iluminación, calidad de la construcción, puesta en marcha sistemática, custodia de la documentación del proyecto y certificaciones voluntarias del edificio.

La valoración VERDE va de 0 a 5 hojas, siendo 5 el mejor resultado.

4. Consideraciones energéticas

4.1. Energía solar

La energía solar se obtiene directamente del Sol, por lo que tiene un costo de materia prima nulo. La energía del Sol se puede utilizar de diferentes maneras: en forma de calor, de iluminación o de electricidad.

La energía eléctrica obtenida del sol se denomina energía fotovoltaica. Los paneles fotovoltaicos se fabrican con silicio, que es un material semiconductor, esto significa que cuando se cumplan ciertas condiciones, conducirá la electricidad. En este caso, se necesita dopar al silicio con elementos como el boro, que aporta un hueco y se denomina positivo (p); y el fósforo, que aporta un electrón y se denomina negativo (n). La parte p tiene una media de electrones menor que la n.

Cuando se unen ambas partes, los electrones y los huecos se recombinan: los electrones pasan de la parte n a la p y rellenan los huecos, dejando por tanto la parte n cargada positivamente y la p cargada negativamente mientras dure la unión. También existirá un campo eléctrico entre n y p que permite el paso de electrones solo de p a n.

Cuando la radiación electromagnética del Sol incide sobre el panel, lo que ocurre es que los fotones chocan con los electrones y los arrancan, creando pares electrón libre – hueco. Los electrones se acumulan en la parte n y los huecos en la parte p, creando los polos negativo y positivo respectivamente y así es como se genera la electricidad.

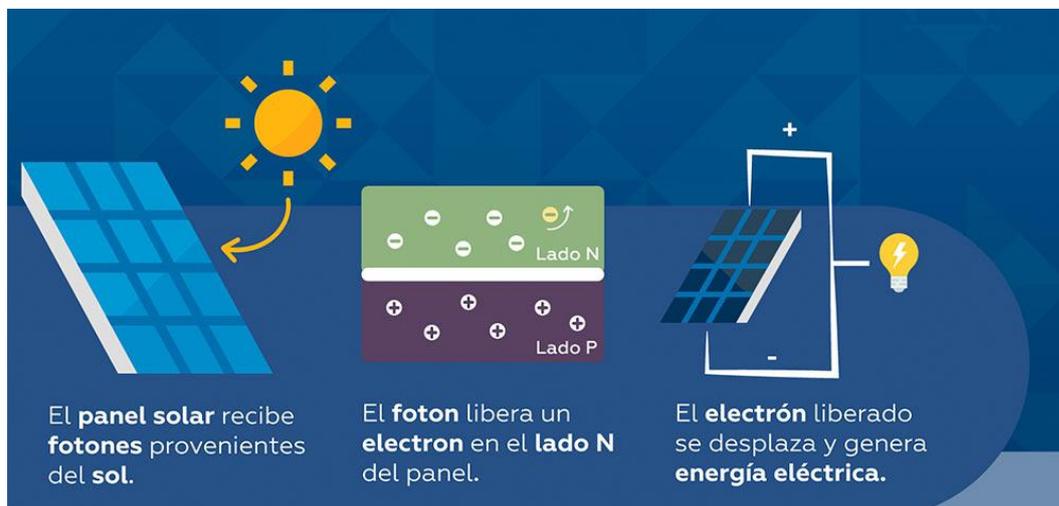


Figura 2: funcionamiento de un panel solar [5]

La electricidad generada es continua, por lo que el inversor es una parte muy importante de cualquier instalación fotovoltaica, ya que se encarga de convertir la onda continua en alterna.

Existen dos tipos principales de instalaciones fotovoltaicas: las instalaciones aisladas, que trabajan de forma independiente sin ningún tipo de conexión a la red eléctrica general; y las instalaciones conectadas a la red, que están conectadas a la red eléctrica para inyectar el excedente de energía o para abastecerse en caso de necesidad. El edificio LUCIA es de este segundo tipo.

El principal inconveniente de la energía fotovoltaica es la disponibilidad de la materia prima. Es imposible controlar cuándo la luz solar incidirá en el ángulo adecuado, si las nubes reducirán la radiación disponible y sobre todo, es imposible generar durante la noche, aunque el edificio LUCIA estará prácticamente inactivo en horario nocturno. Es por ello que el edificio LUCIA cubre su demanda energética no solo mediante las instalaciones fotovoltaicas, sino que también utiliza los generadores de biomasa.

Otro de los inconvenientes de la energía solar es la emisión de CO₂ en su proceso de fabricación. En sus inicios, los costes de fabricación, energía necesaria y la huella de carbono resultante de la producción de paneles fotovoltaicos eran muy elevados, pero los avances tecnológicos han permitido abaratar costes, optimizar el proceso y reducir emisiones. En 2013, el tiempo que un panel tarda en generar la energía que se utilizó en su producción era de 1.96 años para los paneles de silicio monocristalino, 1.24 años para los de silicio policristalino, 1.39 años para los de silicio amorfo, 0.92 años en el caso de los paneles de silicio micromorfo, 0.68 años para los de telururo de cadmio y 1.02 años para los paneles de CIGS (Cobre, Indio, Galio y Selenio); eso asumiendo producción con energía hidráulica, células fotovoltaicas a partir de lingotes y obleas de silicio con electricidad de la Red Síncrona de Europa Continental; una irradiancia de 1700kWh/(m²año) y sin tener en cuenta instalación, operación, mantenimiento y fase de final de vida. Desplazar la producción a China supone unos periodos similares de rendimiento, pero incrementa la huella de carbono en un factor de entre 1.3 y 2.1.

A pesar de todo, la situación geográfica de España, así como su clima, la convirtieron en uno de los primeros países para la investigación, desarrollo y aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica en 2008. Aunque debido a regulaciones legislativas, se frenó la instalación de esta tecnología y por ejemplo, en 2009 se instalaron tan solo 19 MW, en los años posteriores se instalaron 420 MW (2010) y 354 MW (2011). Concretamente en junio de 2013, año en el que se construyó el edificio LUCIA, la energía solar produjo más electricidad que el gas. La potencia instalada de energía solar fotovoltaica en España en 2020 es de 11.259 MW, un 10.2% de la potencia eléctrica total instalada.

MAPA DE RECURSO SOLAR

POTENCIAL ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO
ESPAÑA

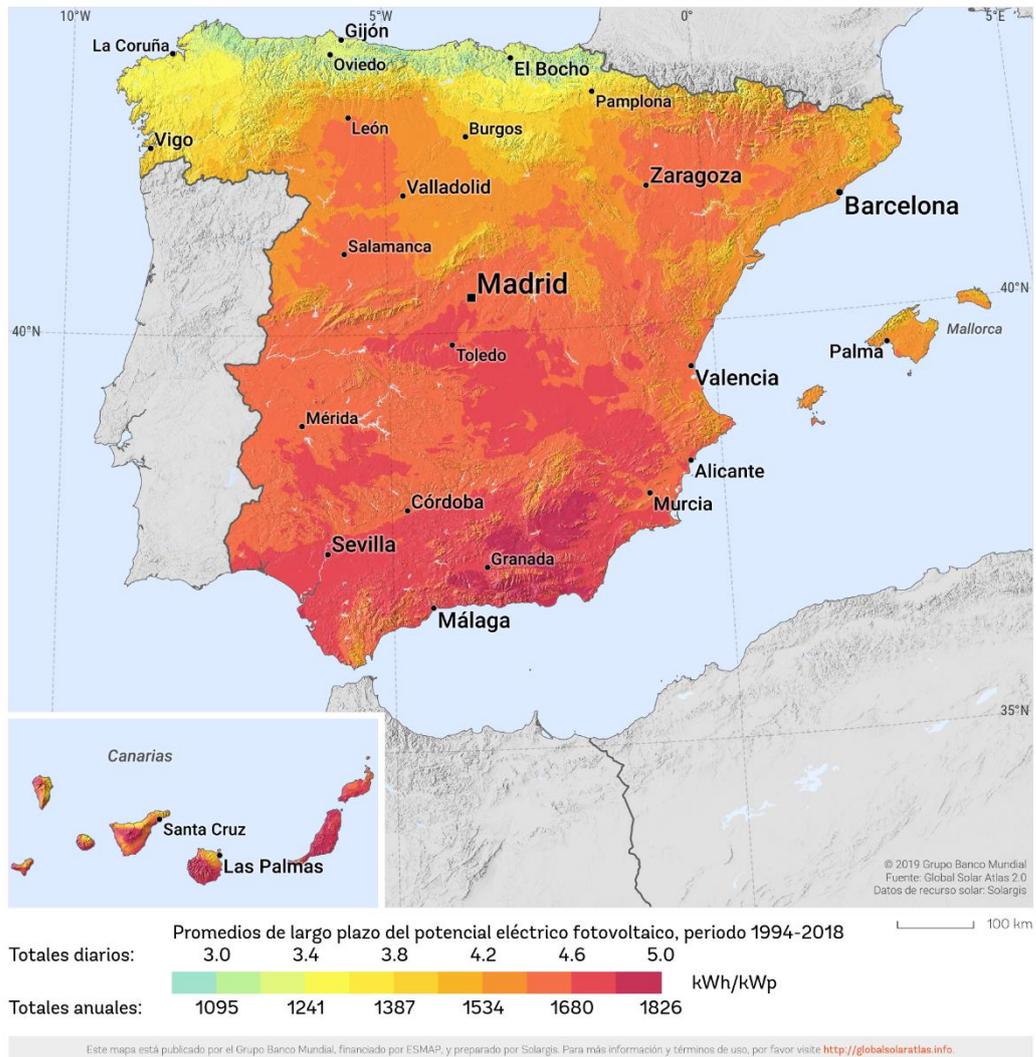


Figura 3: mapa de potencial fotovoltaico en España [22]

Concretamente la localidad de Valladolid tiene una Irradiancia global anual de 1.546 kWh/m², con una temperatura media anual de 11,9°C y amplitud térmica de 20,7°C.

4.2. Biomasa

La biomasa es la energía renovable que proviene de animales o plantas. La biomasa como forma de producir energía térmica se utiliza desde la prehistoria. En la actualidad la biomasa sigue siendo ampliamente utilizada, no solo para producir energía térmica, también para producir energía eléctrica. Un 10% de la energía producida en los países del primer mundo es de a partir de biomasa, mayormente en forma de energía térmica, lo que se conoce como calor

derivado. La energía se produce en una planta de cogeneración y después se distribuye a través de una red de distribución de agua caliente.

Año	Energía eléctrica TWh	Energía térmica TJ
2000	164	414.081
2005	227	530.237
2010	372	781.237
2015	528	940.492
2016	571	1.053.861

Tabla 1: datos de energía eléctrica y térmica generada a partir de biomasa en el mundo.

La generación a partir de biomasa se hace principalmente a partir de biomasa sólida (87%) y en menor medida a partir de biogás (2%), biocombustibles líquidos (6%) y residuos municipales (3%) e industriales (2%).

Históricamente en Europa el consumo de energía procedente de biomasa ha sido superior al de otras fuentes de energía renovables, seguido por la energía de origen hidráulico. No ha sido hasta la década de los 2000 que esto comenzó a cambiar al diversificarse más las fuentes renovables. Según la Comisión Europea, en la UE el 17% de la energía que se consume es de origen renovable y de esa fracción el 60% proviene de la biomasa. Aproximadamente el 75% de la energía de la biomasa que se consume en Europa es destinada a fines térmicos, muy por encima del 13,4% destinado al consumo eléctrico y del 12% que se emplea en transporte.

La inmensa mayoría de la energía que se consume actualmente en Europa es de origen local (92.8%), contribuyendo así a la sostenibilidad del ciclo de vida de la actividad productiva y a minimizarse las emisiones derivadas del transporte.

España es una potencia en recursos biomásicos de todo tipo, siendo el tercer país europeo por recursos absolutos de biomasa forestal. La superficie forestal española es de 27.664.647 ha, que es el 57% de la superficie y es además el país europeo con mayor incremento anual de bosques: un 2,2% frente al 0,5% de media de la UE.

Otros recursos susceptibles de utilización son el aceite de oliva y los purines. España es el principal productor de aceite de oliva y tiene el primer puesto en la producción de ganado porcino de Europa.

Sin embargo, España se encuentra en la cola del ranking europeo de aprovechamiento de recursos forestales y agroganaderos en la generación de electricidad. El consumo de biomasa en toneladas equivalentes de petróleo por millón de habitantes en España es tan solo de 146,8 frente a la de países como

Francia o Alemania, que sin estar a la cabeza en Europa, tienen un consumo de 213 y 313 respectivamente.

A pesar del enorme potencial español, sus recursos se encuentran infrutilizados. El mayor inconveniente es que el abandono, acumulación, tratamiento negligente o falta de tratamiento de estos recursos puede suponer un peligro para el medio ambiente. Los purines pueden contaminar acuíferos y emiten metano, los restos de podas tradicionalmente se queman al aire libre, aumentando el riesgo de incendios y emitiendo gases de efecto invernadero. Aprovechando todos estos recursos energéticos y fabricando bioproductos también se evitarían los riesgos.

Generación térmica a partir de biomasa en España

La energía procedente de la biomasa para fines térmicos se obtiene principalmente de procesos de combustión y se emplea para calefacción, agua caliente sanitaria y en varios procesos industriales. La mayor limitación de estos sistemas en edificios está en la necesidad de un espacio para el almacenamiento del biocombustible.

A pesar de obtenerse energía en procesos de combustión, la comunidad científica ha demostrado que el CO₂ que se emite en estos procesos energéticos es el mismo que el acumulado durante el ciclo de vida natural de la biomasa, mientras que el factor de emisión del carbón es de 4,032ktCO₂/ktep (kilo toneladas de CO₂ por kilo tonelada equivalente de petróleo) para el carbón y 3,070ktCO₂/ktep para el gasoil.

Generación eléctrica a partir de biomasa en España

En cuanto al uso de biomasa en la generación eléctrica, según datos de la CNMC en España la capacidad es de 718MW de biomasa sólida, 224MW de biogás y 290MW de residuos renovables. Las instalaciones de generación eléctrica a partir de biomasa en España están asociadas históricamente a la industria papelera y olivarera, pues los subproductos y residuos se pueden valorizar energéticamente.

Una gran ventaja de los sistemas de generación eléctrica a partir de biomasa es su relevancia en el mix energético nacional por su capacidad de gestión, ya que se puede producir en cualquier momento del día o la noche y todos los días del año.

Biomasa en Castilla y León

La biomasa en Castilla y León, al igual que en España, es un recurso abundante, incluso excedentario en la región, que puede suponer la creación de puestos de trabajo y abre camino a la autosuficiencia energética. Solo el 9% de la energía suministrada en la región tiene origen en la biomasa frente al posible 78%. Su uso en un proyecto como este contribuye a un aumento en

investigación sobre la autonomía energética local y al desarrollo de los sistemas existentes.

Otros factores que se tuvieron en cuenta en la decisión de emplear biomasa son la reducción de emisiones de CO₂ y fomentar el desarrollo de sistemas que permitan la explotación de este recurso en condiciones de competencia con combustibles fósiles.

5. Edificio LUCIA

LUCIA significa Lanzadera Universitaria de Centros de Investigación Aplicada. Se trata de un edificio de dos pisos. La planta baja dispone de 950m² destinados al desarrollo de la sociedad digital del conocimiento, en la planta primera hay disponibles 2100m² de espacios y laboratorios relacionados con la nutrición y la dietética y la segunda planta tiene 2100m² de espacios y laboratorios para la investigación de metabolopatías.



Figura 4: vista del edificio desde el campus [11]

El edificio se construye con el objetivo de investigar sobre la edificación sostenible, verificar hipótesis sobre los métodos de evaluación ambiental de edificios y la investigación que se lleve a cabo en los espacios del edificio empleando únicamente energías renovables. Concretamente solar y biomasa, también empleando procesos de cogeneración. La energía solar se aprovecha de las tres formas posibles, ya que cuenta con paneles solares para generar electricidad, Solar Tubes que proporcionan iluminación y distintas formas estructurales que propician la generación y conservación de calor.

Para conseguir esos objetivos se emplean medidas de ahorro energético, reducción de consumos, empleo de materiales de bajo impacto medioambiental en la construcción del edificio y la gestión de los residuos generados durante su vida y durante las etapas de construcción y en la de demolición en el futuro, empleando técnicas de desmontaje, reutilización y reciclado adecuadas.

A lo largo de la vida del edificio se espera que el uso que se da a cada espacio varíe. Para poder adaptarse a los cambios el edificio tiene un falso suelo que

se puede levantar sin necesidad de obra y así realizar los cambios que se considere, permitiendo instalar cualquier tipo de aparato, incluso los que emplean tuberías para el agua, en casi cualquier espacio.

Además, medidas como su diseño, ventilación pasiva, aislamiento y otras estrategias reducen el consumo energético a la mitad.

5.1. Descripción general

El diseño del edificio es compacto, tiene un factor de forma $0,37 \text{ m}^{-1}$ para sus 5.920 m^2 útiles acondicionados. Este diseño lo que trata es de optimizar la relación entre la superficie envolvente y el volumen climatizado. Las limitaciones de este diseño han supuesto un reto para conseguir simultáneamente la mejor iluminación natural posible en los espacios de trabajo.

El edificio no tiene ninguna ventana en la cara norte, la más fría y tiene forma de diente de sierra en las paredes orientadas al este y al oeste, con ventanas en los lados alternos de cada diente. De esa forma entra luz por las ventanas a la vez que se da sombra, consiguiendo así que entre la luz adecuada, de manera que con la luz natural es suficiente y también se consigue que no se caliente demasiado el interior, reduciendo los gastos de climatización.

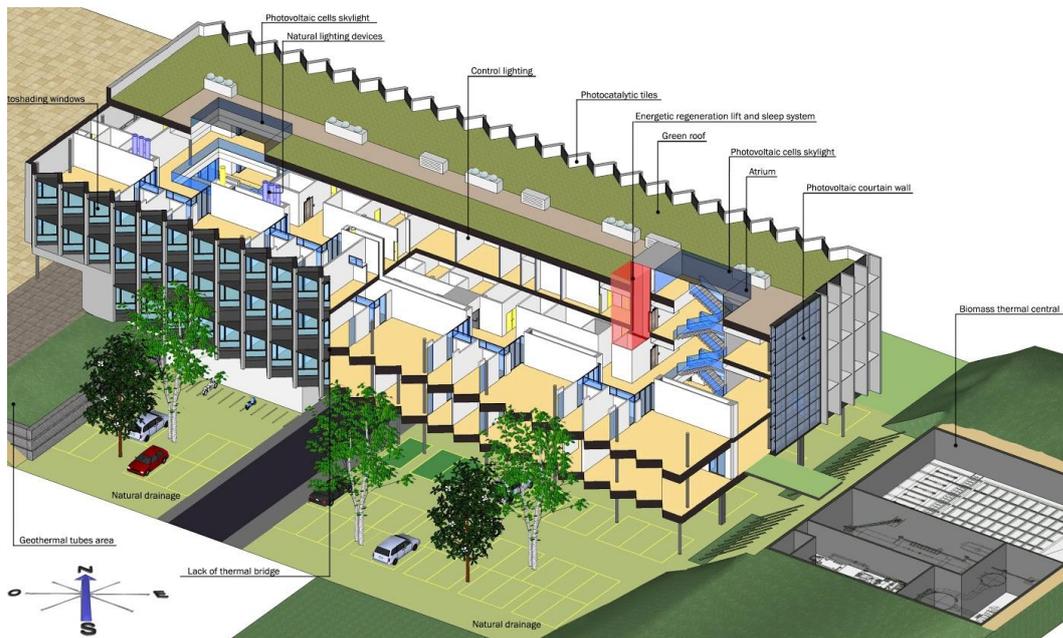


Figura 5: vista del edificio [1]

5.2. Iluminación

La fachada sur es un muro cortina y en las zonas de escaleras hay dos lucernarios. Se consigue de esta forma que los espacios comunes estén iluminados de forma natural.

También se han instalado tubos solares, unos tubos de aluminio muy pulido que comunican los espacios con el tejado del edificio. La luz del sol se refleja en el interior del tubo, proveyendo luz natural.

Cada espacio tiene detectores de iluminación, que determinan si la cantidad de luz actual es suficiente y reguladores de intensidad. Estos dispositivos permiten controlar, en función de unos parámetros, la cantidad de luz de cada espacio. Existen unos valores máximos y mínimos de iluminación que varían en función del uso que se esté dando a cada espacio. Las necesidades para oficina son menores que para laboratorios. En función de la luz que se detecte, los reguladores de intensidad variarán la potencia de las luminarias para situarse entre esos valores. Se consigue reducir el consumo, pues las luminarias no están funcionando a máxima potencia si no es necesario.

Todo esto supone un total de 46% de espacio acristalado que, junto con los tubos solares y los sistemas de regulación de iluminación, reducen el gasto en iluminación en un 45%.

5.3. Generación de energía

En la fachada sur se han instalado paneles solares de silicio cristalino. Estos paneles son opacos y no permiten el paso de luz a través de las células, aunque sí a través de los huecos. Estos paneles dan sombra e impiden que entre demasiada luz solar al edificio, facilitando la regulación de temperatura y al mismo tiempo aprovechando esa energía del Sol en producir electricidad.

En los lucernarios también hay instalados paneles solares, pero estos son de silicio amorfo. Las células de silicio amorfo permiten un mayor paso de luz al interior, a costa de ser menos eficientes produciendo electricidad.

También se ha instalado un sistema de cogeneración que produce energía eléctrica y térmica. En un reactor de gasificación se transforma la astilla en un gas pobre, este se filtra, se limpia de impurezas y funciona de combustible en unos motores de combustión interna que producen electricidad y calor. El calor se aprovecha para climatización.

5.4. Tratamiento de agua

La premisa es recuperar toda el agua que se utilice en el edificio, empezando por el tejado, donde se recoge el agua de lluvia, se filtra primero de forma natural gracias a la zona ajardinada de la cubierta, que cubre un 75% de la superficie, posteriormente se trata y se emplea en las cisternas de los baños. Se recupera el 100% del agua de lluvia recogida en la cubierta.

Los grifos de agua potable tienen regulado su caudal con fluxómetros y las aguas grises también se recuperan y tras un proceso de reciclado, se usan en el sistema de saneamiento, consiguiendo aprovechar así el 100% de ellas.

Tratándose de un edificio con laboratorios, es imposible recuperar el 100% del agua, ya que esta puede contener residuos dañinos para el medio ambiente, es por ello que el edificio cuenta con equipos para el tratamiento de estas aguas antes de su vertido a la red.

5.5. Geotermia y microclima

La extensión del solar es suficiente como para crear determinadas condiciones ambientales externas y así generar microclimas utilizando vegetación. En el tejado del edificio y en los alrededores se han dispuesto zonas ajardinadas que ayudan a la regulación de la temperatura, disminuyendo el efecto de isla de calor.

Para conseguir este efecto se utiliza pavimento filtrante en el exterior, vegetación tipo sedum en el 73.5% de la cubierta y que requiere poco mantenimiento y vegetación autóctona junto con árboles caducos en la parcela.

Otra decisión que propicia la generación de este microclima es el diseño abierto del aparcamiento con losa calada y al aire libre. No solo es más agradable al ser espacio abierto, también se reducen las demandas en iluminación y climatización, eso sí, a costa de la pérdida de seguridad anti robos.



Figura 6: vista del aparcamiento al aire libre. [11]

Los pozos geotérmicos o tubos canadienses son unos conductos que comunican con el exterior y que intercambian calor con el suelo, que está siempre a unos 20°C. Así en invierno el aire frío entra por los tubos y se calienta en el suelo, reduciendo el gasto en calefacción y durante el verano el aire caliente entra en los tubos y se enfría en el suelo, reduciendo el gasto en refrigeración.

Puertas automáticas, se abren y cierran solo cuando va a pasar gente, ayudando a la conservación eficiente de la temperatura del interior.

5.6. Certificación LEED

El edificio opta a certificación LEED PLATINO con 98 puntos:

- Localización sostenible: 25/26 puntos.
- Eficiencia del agua: 10/10 puntos.
- Energía y atmósfera: 33/35.
- Materiales y recursos: 6/14.
- Calidad ambiental interior: 14/15 puntos.
- Innovación: 2/2 puntos.
- Créditos regionales: 4/4 puntos.

Además de otros premios como la calificación superior a cuatro hojas en la herramienta VERDE del GBCe (Global Building Council España), la certificación energética A, el premio Green Building Solutions Awards 2015 y el premio Eneragen 2015.

6. Descripción específica

6.1. Solar

El edificio LUCIA dispone de tres lucernarios fotovoltaicos:

- Lucernario norte: potencia instalada de 2.52 kWp, superficie de 63.87 m², orientación 145° sur, inclinación 0°.
- Lucernario sur: potencia instalada de 1.68 kWp, superficie de 42.58 m², orientación 35° sur, inclinación 0°.
- Lucernario de la cubierta del muro cortina: potencia instalada de 0.84 kWp, superficie de 21.29 m², orientación 35° sur.



Figura 6: vista de uno de los lucernarios [11]

En total cubren una superficie de 128 m², están formados por paneles de silicio amorfo de baja emisividad, de dimensiones 2120 x 1245 mm, 10% de transparencia, potencia unitaria 42 Wp/m². Los tres lucernarios tienen una potencia de 6 kW y se estimó que producirían 5.500 kWh de energía al año a un coste de menos de 0.02 €, evitando la emisión de 3.7 toneladas de CO₂ anualmente. Con una vida útil de 35 años, la energía eléctrica total producida ascendería a 374.56 kWh. Además, se ha de tener en cuenta que los lucernarios suponen un ahorro del 34% en climatización, por lo que el total de emisiones de CO₂ evitadas teóricamente asciende a 251 toneladas, o 220

barriles de petróleo. El tiempo que tardaría en producir la electricidad que se empleó en su producción es de 2 años.

La fachada sureste del edificio LUCIA tiene una superficie total de 134,5m² y sobre ella se hizo un análisis energético, concretamente sobre la doble piel y su interacción con el espacio interior adyacente. Las funciones de la doble piel serán la minimización y evacuación de cargas térmicas, especialmente en verano y la obtención de energía solar, buscando su optimización también en verano. Para la minimización y evacuación de cargas térmicas se emplearán distintas técnicas: flujo de aire, sombreado y reflexión solar y un sistema de vaporización de agua. La complejidad del diseño reside en que no solo debe funcionar al mayor rendimiento posible en verano, sino que también debe funcionar adecuadamente el resto del año.

Para conseguir el diseño óptimo, se han tomado las siguientes decisiones:

Enrasar la piel exterior para evitar sombras de los aleros verticales y tapetas exteriores, que pueden afectar negativamente a la producción fotovoltaica. Al enrasar la piel exterior, el ancho de cámara resultante es de 103 cm, que tiene muy buen comportamiento térmico y además facilita instalar los módulos y su mantenimiento.

Abertura de ventilación horizontal longitudinal inferior (sureste) y vertical longitudinal superior (noroeste). Se elige esta configuración porque es la que mayor caudal de aire (3-6 kg/s) presenta en las horas centrales del día, obteniéndose el mejor consumo en climatización, pero también es la que menos sombras hace sobre los paneles fotovoltaicos, resultando en una mejor producción eléctrica.

El sistema de vaporización ayuda reduciendo la temperatura de los módulos fotovoltaicos y aumentando su rendimiento, pero las mejoras no son significativas.

La fachada fotovoltaica está orientada a 35° Sur-Este y la superficie de integración es de 98.33 m². Consta de 7 columnas y 8 filas de paneles, con una potencia de 10.08 kWp. Las células son de silicio policristalino de 6 pulgadas, potencia de 180 kWp y transparencia geométrica del 50%, transmisión solar de 78%, factor solar de 64%, coeficiente de transmisión térmica de 1,1 W/ m²K y reflectancia luminosa externa de 12%. Se ha estimado una producción anual de 10.500 kWh con la configuración final descrita anteriormente.



Figura 7: Fachada sur [11]

6.2. Cogeneración

El sistema elegido es de cogeneración: un motor de vapor produce energía eléctrica y el calor asociado a esa producción de electricidad se recupera para abastecer las demandas de calefacción, agua caliente y refrigeración (máquina de absorción) del edificio, además de la posibilidad de abastecer a los edificios contiguos con el excedente de energía generada.

La potencia eléctrica del sistema es de 100 kW y la potencia aprovechable en forma de calor es de 770 kWt. El rendimiento eléctrico equivalente que resulta es del 70%. Según la simulación realizada con EQUEST 3.64, la energía requerida para el mantenimiento de todas las necesidades energéticas del edificio es de 233 kWh/m² y energía primaria de 218kWh/m².

El edificio LUCIA utiliza biomasa de origen local, concretamente combustible utilizado es biomasa lignocelulósica, conocida como astilla, que es el residuo del tratamiento de las masas vegetales de la industria piñonera y maderera.

La Universidad de Valladolid dispone de la astilla de madera a un coste de 36€ cada Tonelada, incluyendo los costes de transporte hasta los silos de almacenamiento del grupo de cogeneración.

La astilla de madera tiene un poder calorífico aproximado de 3,6 kW/kg (3.600 kCal/kg), de forma que cada kW de calor utilizado en el edificio costará aproximadamente 0,01€, excluyendo IVA.

Para producir electricidad se ha utilizado la tecnología desarrollada por la fundación Cidaut que consiste en transformar la astilla en un gas combustible

denominado gas pobre, este gas es acondicionado y después se utiliza en motores de combustión interna alternativos que generan los 100 kW. Aprovechando la energía térmica del agua de refrigeración y la entalpía de los gases de escape se obtienen 180 kW térmicos en forma de agua a 90°C que es fundamental para la eficiencia de la máquina de absorción.

Se ha elegido este sistema basado en gasificación frente al de vapor sobrecalentado porque es el que mejor se adapta a las demandas de calor y electricidad del edificio. El ratio entre la producción de calor y electricidad (RCE) es de 2, mientras que en el sistema de vapor sobrecalentado es de 8. Utilizar un sistema de vapor sobrecalentado implica que al generar la electricidad demandada por el edificio, se produciría demasiada energía térmica que el edificio no sería capaz de aprovechar. La elección del sistema de gasificación también significa un menor consumo de astilla (135 kg/h frente a los 330 kg/h del vapor sobrecalentado) y consecuentemente el espacio de almacén para la astilla es también menor.

En el sistema de cogeneración se distinguen tres etapas:

1. Gasificación de astilla: reactor de gasificación con tecnología de lecho fijo y corrientes paralelas que se caracteriza por una baja generación de alquitranes, el lecho se agita mediante una parrilla giratoria refrigerada. Las cenizas se extraen y se separan por tamaños, las de mayor contenido en carbono se reintroducen para maximizar el rendimiento y reducir residuos.
2. Acondicionamiento de gas pobre: mediante un ciclón se separan las partículas que puede haber en el gas. Un sistema de lavado de cuatro etapas refrigera el gas y lo limpia de sustancias nocivas. El alquitrán que se extrae se reintroduce en el reactor de gasificación.
3. Generación de energía eléctrica y térmica: grupos motor-generator asíncronos de motores de encendido provocado adaptados al uso de gas pobre. Los motores tienen un control en lazo cerrado para adaptarse a las variaciones de carga y composición del gas pobre.



GAS POBRE (GP): 22% CO, 17% H₂, 1% CH₄, 45% N₂, 8% CO₂ y 7% H₂O

Figura 8: esquema del sistema de cogeneración [18]

Este sistema está conectado a la red eléctrica y cuenta con una caldera de biomasa y un disipador de calor como elementos de apoyo que permiten adaptar la producción de electricidad a las variaciones de demanda energética a lo largo del año.

La instalación hidráulica se ha diseñado para satisfacer tres requerimientos:

- Suministro de la potencia demandada por los sistemas consumidores de calor del edificio y al nivel demandado por la máquina de absorción.
- Adaptación del suministro de energía a las variaciones diarias o estacionales.
- Cobertura de la demanda en situaciones no estacionarias como arranques o paradas.

Para conseguirlo, se cuenta con los siguientes conjuntos:

Generadores de energía:

Sistema de cogeneración basado en gasificación: es la base para el suministro energético a lo largo del año. Además de la electricidad, genera energía térmica en forma de agua a 90°C, esta agua se calienta en dos etapas, primero en un intercambiador de calor que refrigera los motores y después enfriando los gases de escape hasta 150°C.

Caldera de astilla de biomasa: capaz de generar hasta 300 kWt en forma de agua a 90°C. Se puede utilizar como apoyo cuando la demanda térmica del edificio sea superior a la potencia generada por el sistema de cogeneración y esta situación se prolongue en el tiempo.

Acumuladores de energía: dos depósitos acumuladores conectados en serie de 15m³ que trabajan con estratificación. Recogen la energía térmica, de ellos sale el agua caliente del edificio y a ellos retorna. Su función es desacoplar la generación energética de la demanda del edificio.

Disipadores de energía:

Disipador de la energía térmica del sistema de cogeneración: del sistema de cogeneración se extrae siempre toda la energía térmica. Para las situaciones en las que no se demande suficiente energía térmica, es necesario disiparla y para ello se utiliza un aerorrefrigerador de 20 0kWt de capacidad.

Torre de refrigeración: para disipar la energía extraída del proceso de refrigeración del gas pobre en la etapa de acondicionamiento.

El resultado: la instalación funciona con el sistema de cogeneración basado en gasificación. Si la demanda de energía térmica es menor de la producida por el sistema, se pone en marcha el aerorrefrigerador sin tener que detener la generación de electricidad. Si por el contrario la demanda de energía térmica es mayor, se pone en marcha la caldera de biomasa. Los elementos de

acumulación proporcionan la inercia térmica que garantiza el correcto suministro de energía térmica en cualquier situación.

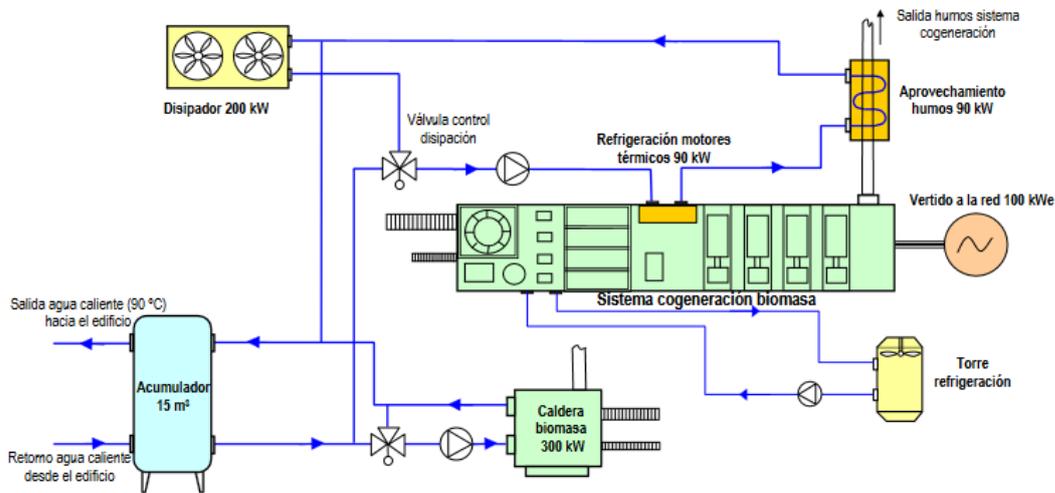


Figura 9: esquema de instalación de suministro energético con biomasa. [18]

El calor producido por el sistema de cogeneración se divide en 4% para el agua caliente sanitaria, 15% para la máquina de absorción y el 81% restante se emplea en calefacción.

6.3. Sistemas de iluminación

La orientación del edificio, con sus fachadas más largas orientadas hacia este y oeste, no es la más adecuada para garantizar el confort, es por ello que se ha realizado un estudio minucioso y preciso para determinar cuál es la mejor solución a este problema y se decide redirigir los huecos en las fachadas hacia el este y sur, dando de esa forma el aspecto de diente de sierra. El 89% de la superficie presenta esta orientación este y sur.

Con este zigzag y unos parasoles que protegen todos los huecos, se consigue un efecto de auto sombra. Esto reduce los costes energéticos de climatización manteniendo la iluminación natural.

La forma compacta del edificio también tiene como fin el ahorro energético en climatización, ya que así se reducen las pérdidas térmicas, pero tiene el inconveniente de complicar la implementación de luz natural en los espacios centrales. Ante este problema, para introducir luz natural en los pasillos, escaleras y ascensores, se diseñaron los lucernarios sobre los que se colocan los módulos fotovoltaicos descritos anteriormente, que no solo tienen la función de producir energía eléctrica, también tamizan la luz. De forma análoga funciona la fachada acristalada de doble piel en la orientación sur-este.

Otra estrategia para hacer llegar luz natural a todas las zonas del edificio es la utilización de pozos de luz o *solar tubes*, se trata de tubos de aluminio muy pulido con alto índice de reflexión. La luz natural entra por el tejado y los tubos

la transmiten a los despachos, oficinas y laboratorios, ampliando la luz natural en el interior y reduciendo el consumo energético en iluminación. La media de consumo de iluminación en oficinas es de 38,90 kWh/m² año, según la comunidad de Madrid, mientras que en el edificio LUCIA se reduce a 12,60 kWh/m² año.

La simulación realizada para el edificio de referencia estimaba 146.190 kWh anuales para iluminación, mientras que para el edificio LUCIA sería de 74.790 kWh, casi la mitad. Se instalan 27 pozos de luz con un coste de 13.483 €.

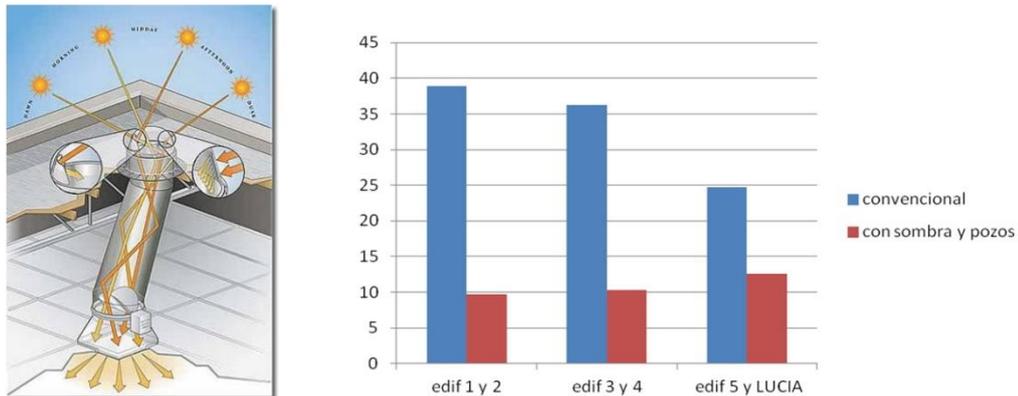


Figura 10: esquema de funcionamiento de los pozos de luz y reducción de la demanda energética entre los edificios de referencia y LUCIA. [1]

Además de estos métodos de ahorro energético, el edificio LUCIA cuenta con detectores de luz y sistemas de regulación automática de iluminación. El sistema funciona de la siguiente forma: unos detectores colocados cerca de los huecos en oficinas, despachos y laboratorios, detectan la luz natural que recibe el espacio, en función de la iluminación detectada, se regula la intensidad de las luminarias dentro de unos límites establecidos que aseguren la ergonomía: entre 400 y 700 lux en espacios de oficinas y despachos y laboratorios, siendo posible una regulación manual en función de la necesidad.

En las zonas comunes: pasillos, zonas de descanso, escaleras, ascensores y servicios, se utilizan además sistemas de detección de movimiento y temporizadores, de forma que las luces solo se enciendan cuando sean necesarias.

Estos aparatos suponen un coste extra que se compensa con el ahorro energético.

El Sistema de control se denomina DALI (Digital Addressable Lighting Interface), es el encargado de regular la luz interior en función de la cantidad de luz natural disponible. Las bombillas son de bajo consumo y ellas regulables en intensidad, se distribuyen según la necesidad del espacio.

Las luminarias utilizadas en los diferentes espacios son las siguientes:

TIPO	POTENCIA (W)
OQUO CRISTAL M. HT 20W	20
MICRON IZS-M SIMPLE 70W	70
MICRON IZS-M DOBLE 70W	70
LIMBURG 8702-1-TC-L-80W	80
144 IEV-D 4 T5 14W DALI ELRD	56
144 IEV-D 4 T5 14W	56
801 IEV-D T5 80W	80
COSMO-2 1-T5-80W	80
COSMO-2 2-T5-14W-24W	48
COSMO-2 2-T5-28W/54W	108
VEGA TANDEM 60200 2X2X54W	216
DOT 811063-50° 6X3 LED	0
DUO 19118 TCDEL 1X18W	18
DUO 19226 TCDEL 2X26W	52
STAR 27W LED LDE REGULABLE DALI	27

Tabla 1: tipos de luminarias del LUCIA y potencia en W.

Las luminarias están distribuidas de la siguiente forma:

TIPO	DESCRIPCIÓN
OQUO CRISTAL M. HT 20W	Entrada, exterior.
MICRON IZS-M SIMPLE 70W	Farola individual, sótano, exterior.
MICRON IZS-M DOBLE 70W	Farola doble, sótano, exterior.
LIMBURG 8702-1-TC-L-80W	Escalera.
144 IEV-D 4 T5 14W DALI ELRD	Intensidad regulable. Zona máquinas expendedoras, zonas de trabajo, despachos.
144 IEV-D 4 T5 14W	Sala de cultivos, sala blanca.
801 IEV-D T5 80W	Aseos (espejos).
COSMO-2 1-T5-80W	Parking, exterior.
COSMO-2 2-T5-14W-24W	Almacén pequeño.
COSMO-2 2-T5-28W/54W	Almacén grande, sala de telecomunicaciones, sala de cámaras frigoríficas.
VEGA TANDEM 60200 2X2X54W	Sala de reuniones.
DOT 811063-50° 6X3 LED	Acceso ascensores.
DUO 19118 TCDEL 1X18W	Cubículos pequeños en aseos y vestuarios.
DUO 19226 TCDEL 2X26W	Cubículos grandes en aseos y vestuarios. Accesos a salas especiales (sala blanca, sala de cultivos).
STAR 27W LED LDE REGULABLE DALI	Intensidad regulable. Pasillos y zonas comunes.

Tabla 2: distribución de luminarias

Además de las luminarias, el edificio cuenta con los siguientes detectores de movimiento y sensores de luz:

TIPO	DESCRIPCIÓN
SENSOR DE LUZ REGULACIÓN DALI	Cerca de ventanas, uno en cada zona con ventana (despachos, zonas de trabajo, laboratorios, zonas comunes) y en zonas bajo lucernarios (zonas comunes).
DETECTOR DE MOVIMIENTO 360° REGULACIÓN DALI PIR41440	En accesos a zonas de trabajo y en escaleras.
DETECTOR DE MOVIMIENTO 90° REGULACIÓN DALI PIR41272	En pasillos y zonas de paso.
PULSADOR CON PASTILLA DALI GC-A HASTA 3 ENCENDIDOS REGULACIÓN DALI	En cada espacio de trabajo con luminarias regulables de tipo 144 IEV-D 4 T5 14W Dali ELRD. Es el interruptor de control manual de intensidad.
DETECTOR DE MOVIMIENTO DE ALTA SENSIBILIDAD	En aseos, vestuarios y escaleras al sótano.

Tabla 3: sistemas automáticos de regulación de iluminación

Y alumbrado de emergencia:

TIPO	DESCRIPCIÓN
EMERGENCIA CYGNUS 20X20 LFQ 10060 CP 60LM	Principalmente en despachos
EMERGENCIA VENUS DE 305LM IP44 1H	En sótano: sala de cuadro eléctrico.
EMERGENCIA VENUS DE 150LM IP44 1H	En sótano: sala de climatización, pasillos.
EMERGENCIA VENUS DE 100LM IP44 1H	En sótano: almacén, sala grupo electrógeno, centro de transformación, sala de limpieza, escaleras, aparcamientos.
EMERGENCIA XENA6 FXM6312C 315LM 1H	En sala de cuadro eléctrico.
EMERGENCIA XENA6 FXM6252C 240LM 1H	En pasillos, zonas de paso, accesos, escaleras y zonas comunes.
EMERGENCIA XENA6 FXM6112C 120LM 1H	En oficinas, laboratorios, almacenes, aseos y vestuarios,

Tabla 4: alumbrado de emergencia

La información sobre la instalación de iluminación y alumbrado de emergencia de la planta baja se encuentra en los ANEXOS A: Plano alumbrado planta baja (color A0) y B Inventario Iluminación Planta Baja.

6.4. Climatización

Como se explicaba en la iluminación, los soleamientos y la forma de los huecos se han estudiado minuciosamente para maximizar la eficiencia energética. Esto también supone un ahorro energético en climatización.

Los huecos con la forma en zigzag proporcionan sombra, al no entrar la luz directamente, los espacios interiores se calientan menos en verano. También se han reducido los huecos en la fachada norte, que es la más fría. Esta estrategia supone un ahorro del coste en refrigeración de casi el 30%.



Figura 11: detalle de la fachada en zigzag [11]

La forma compacta reduce las pérdidas térmicas, además, la fachada norte tiene los mínimos huecos necesarios.

Los lucernarios y la fachada sur con placas solares sirven para regular la radiación que entra al interior.

La fachada sur es un muro cortina de doble piel.

En la fachada interior se plantea un muro cortina de aluminio de altas prestaciones de transmitancia térmica. Toda la altura se plantea completamente vidriada y los pasos de forjado y falso techo opacos, únicamente practicable a través de dos balconeras de registro.

Vidrio transparente con cámara de aire 6/16 (argón) / 4+4 bajo emisivo $U=1.1W/m^2 K$, factor solar (g) = 0.61, transmitancia lumínica TI = 77%.

Vidrio opaco con cámara de aire 6/20 (argón) / 4 $U=2.7Wm^2K$, factor solar (g) = 0.56, transmitancia lumínica TI = 1%.

En la fachada exterior se plantea un muro cortina de aluminio, soportado por una subestructura de acero en voladizo, anclada al forjado. El cerramiento lo

configuran los módulos fotovoltaicos de vidrio laminado, sin cámara de aire, integrados en la perfilería.

La ventilación de la piel exterior en las estaciones en las que se desee evitar ganancia térmica solar se podrá realizar a partir de unas ventanas batientes.

El principal objetivo de la cámara de aire es controlar las ganancias térmicas, evitando el exceso en primavera, verano y otoño, en equilibrio con la mejora del aislamiento térmico en invierno y al mismo tiempo conseguir la producción óptima en la piel fotovoltaica exterior garantizando el confort en el interior.

Empleo de pozos geotérmicos o tubos canadienses: la temperatura del suelo a varios metros de profundidad apenas varía a lo largo del año. A 5 metros de profundidad, se mantiene a 16°C (Ingesolum). El edificio LUCIA utiliza esto a su favor para regular la temperatura interior, aunque los tubos no se encuentran enterrados a 5 metros, sino a 2. Los pozos geotérmicos toman aire exterior, este circula por unos tubos que se encuentran enterrados. En invierno, el aire frío se calienta al pasar por estos tubos y se ahorra energía al no tener que calentarlo desde la temperatura exterior; mientras que en verano se consigue el efecto contrario, enfriando el aire.



Figura 12: tubos canadienses en construcción y finalizados [1][11]

El coste de los pozos geotérmicos es de 34.000 €, su efecto se estima en 25.000 kWh térmicos y tienen un coste de 2.700 kWh eléctricos. Suponen un gasto de 6 €/año, pero no suponen ningún gasto en calefacción.

La dificultad para disipar calor durante las horas nocturnas debido al empleo de materiales absorbentes de calor, como el hormigón, se denomina efecto isla de calor. Para reducir este efecto, se ha aprovechado la localización y extensión del solar donde se sitúa el edificio LUCIA para generar microclimas. Esto se consigue utilizando pavimentos filtrantes en el exterior; cubiertas vegetales tipo sedum que cubren el 73.5% de la superficie con vegetación autóctona y árboles caducos; y la construcción de un aparcamiento abierto, que permite ventilación e iluminación naturales.

Además de esas medidas, se ha realizado un fuerte tratamiento térmico en la envolvente, tanto en aislamiento de cerramientos como en la permeabilidad de las carpinterías, que es de clase 4 ($3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) mientras que el CTE exige clase 2 ($27 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$). Esto supone un incremento del coste de material que se compensa con el ahorro energético.

Las necesidades de ventilación de cada estancia interior del edificio están determinadas por el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios, RITE. Según la tipología de ésta edificio es necesario realizar una ventilación de 12,5 l/s por ocupante en cada estancia.

Éste criterio se ha aplicado en todo el edificio, para cada estancia, según el número de ocupantes especificado por la Universidad de Valladolid, de forma que las necesidades de ventilación exterior de todos los modelos son idénticas, característica indispensable para toda simulación informática.

Las consignas de temperatura interiores para calefacción y climatización son

- Edificio ocupado: 21°C calefacción 26°C climatización
- Edificio sin ocupación: 18°C calefacción 29°C climatización

6.5. Instalación eléctrica

La instalación eléctrica está dividida en RED, GRUPO y RED DESDE CUADRO CLIMA en cada planta. Además en la planta baja está el CPD conectado al GRUPO, que pertenece a la universidad de Valladolid y al que no tenía acceso.

La parte denominada RED es la que está conectada a la red general mediante un conductor tipo RZ1-K 0,6/1kV bajo rejilla metálica, medidas $4 \times 95 \text{ mm}^2$ con esquema tipo TT; protegida por un Interruptor General de $4 \times 250/200 \text{ A}$, lcc 25 kA; un magnetotérmico C60 - $4 \times 25 \text{ A}$ "C", lcc 10kA y un limitador de sobretensiones clase II PRD de Schneider de 40 kA, II IP+N, 440/340 V.

Aguas abajo están separados todos los consumos, cada uno de ellos protegido por un conjunto de magnetotérmico e interruptor automático.

Consumo	Magnetotérmico	Interruptor automático	Sección del conductor
Alumbrado este u oeste y emergencias	2x25A 30mA SI	2x10 /C lcc 10kA	2x1,5mm ² +TT
Alumbrado centrales y emergencias	2x10A 30mA DPN V G SI	2x10 /C lcc 10kA	2x1,5mm ² +TT
Alumbrado exterior	2x25A 30mA DPN V G SI	2x10 /C lcc 10kA	2x1,5mm ² +TT
Control iluminación desde cuadro	2x10A 30mA DPN V G SI	2x10 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT
Portero automático y control de accesos	2x25A 30mA DPN V G SI	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT
Equipo agua residual laboratorios	2x25A 30mA DPN V G SI	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT

Usos varios	2x25A 30mA DPN V G	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT
Usos varios baños	2x25A 30mA DPN V G	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT
Informática y electrónica	2x16A 30mA DPN V G SI	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT
Purificadores de agua	2x25A 30mA DPN V G	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT
Circuito a cuadro	4x40A 300mA DPN V G Selectivo	4x32 /C lcc 10kA	4x6,0mm ² +TT

Tabla 5: Protecciones por tipo de consumo

Un único circuito a cuadro de un espacio más grande tiene un interruptor automático de 4x50 /C y un magnetotérmico de 4x63 A.

La parte correspondiente a GRUPO está conectada tanto a la red como a un grupo electrógeno con el objetivo de mantener en funcionamiento equipos especiales incluso cuando la red falle. Esto es especialmente necesario en los laboratorios, muchos incluso cuentan con SAls para este tipo de situaciones.

La conexión se realiza mediante un cuadro de conmutación automático.

Al ser para emergencias, la posible demanda es menor que la de la parte conectada únicamente a la red. El conductor empleado es tipo RZ1-K 0,6/1kV bajo rejilla metálica, medidas 4x25mm² con esquema tipo TT; protegida por un Interruptor General de 4x100/80A, lcc 25kA; un magnetotérmico C60 - 4x25A "C", lcc 10kA y un limitador de sobretensiones clase II PRD de Schneider de 40 kA, II IP+N, 440/340V.

Las protecciones empleadas para cada tipo de consumo son similares a las de la RED:

Consumo	Magnetotérmico	Interruptor automático	Sección del conductor
Alumbrado este u oeste y emergencias	2x25A 30mA SI	2x10 /C lcc 10kA	2x1,5mm ² +TT
Alumbrado centrales y emergencias	2x10A 30mA DPN V G SI	2x10 /C lcc 10kA	2x1,5mm ² +TT
Central anti intrusión	2x25A 30mA DPN V G	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT
Central detección de incendios	2x25A 30mA DPN V G SI	2x16 /C lcc 10kA	2x2,5mm ² +TT (AS+)
Circuito a cuadro	2x40A 300mA DPN V G Selectivo	4x20 /C lcc 10kA	2x4,0mm ² +TT

Tabla 6: Protecciones por tipo de consumo.

En la RED DESDE EL CUADRO CLIMA están los fancoils, el conductor es tipo RZ1-K 0,6/1kV bajo rejilla metálica, medidas 5x4mm²; protegida por un

Interruptor General de 4x20A, Icc 10kA. Cada fancoil tiene sus propias protecciones:

Consumo	Magnetotérmico	Interruptor automático	Sección del conductor
Fancoils	2x25A 30mA DPN V G	2x16 /C Icc 10kA	2x2,5mm ² +TT

Tabla 7: Protecciones de los fancoils.

Todos los circuitos a cuadro cuentan con su medidor IEM3150, tanto en la RED como en el GRUPO.



Figura 13: Medidor IEM 3150 de Schneider Electric. [29]

En total hay instalados por todo el edificio 68 SE IEM 3150, 5 SE IEM 3250, 12 SE PM3250 y 6 SE PM 800.

Toda la información sobre la colocación de estos medidores en la planta baja se encuentra en el ANEXO C: Esquemas eléctricos IV plano 6 (B-N A1).

7. Medidas

7.1. Descripción de las medidas

El edificio cuenta con analizadores automáticos que miden la energía de los distintos espacios y la envían al servidor, donde se almacena toda la información. Estos datos se muestran en un software tipo SCADA.

A pesar de que estos medidores están presentes en cada planta del edificio y miden de forma precisa la energía consumida en los espacios, tienen un gran inconveniente: las mediciones no son constantes y aumentar la frecuencia de grabado requiere una mayor cantidad de espacio de almacenamiento. Además, no miden la iluminación, solo los equipos conectados a la red.

Es por ello que para evaluar el efecto de los detectores de presencia y de luz y de los reguladores de potencia, se ha tomado la decisión de medir los consumos en las distintas plantas durante una semana, se escoge una semana por motivos de almacenamiento. El medidor utilizado es el Fluke 1730 Energy Logger, había disponibles tres medidores, por lo que hubo que medir los consumos de cada planta en distintas semanas. Principalmente se han medido los consumos en iluminación y de las salas con cámaras frigoríficas. Con estas medidas también se trata de evaluar si se está dando un uso correcto a los sistemas de regulación de intensidad, medir los consumos en función de las horas del día, detectar anomalías y ver lo equilibradas que están las fases en todo el edificio.

La distribución de las fases se trató de hacer de manera uniforme, pero al no estar el edificio ocupado en su totalidad, existe cierto desequilibrio.

De las tres plantas del edificio LUCIA, dos están destinadas principalmente a laboratorios y la planta baja está destinada principalmente a oficinas. Tras realizar un inventario de los equipos y luminarias conectados y consultar sobre los usos de los distintos espacios, llegué a la conclusión de que en las plantas en las que hay más espacios destinados a laboratorios es habitual que la iluminación no esté regulada de manera automática en función de la iluminación natural presente y las necesidades generales de iluminación de un laboratorio, sino que se regula manualmente en función de las necesidades específicas, normalmente más altas. Es por ello que decidí centrarme en evaluar estos consumos únicamente en la planta baja con el objetivo de poder extrapolar estos datos a otros edificios de oficinas.

Con los analizadores se trató de medir los distintos consumos en iluminación, tanto de RED como de GRUPO.

7.2. Medidas de iluminación en planta baja

En la siguiente tabla están recogidas las distintas luminarias de la planta baja:

Tipo	Potencia (W)	Número	Potencia Total (W)
Oquo cristal M. HT 20W	20	8	160
Micron IZS-M Simple 70W	70	0	0
Micron IZS-M Doble 70W	70	0	0
Limburg 8702-1-TC-L-80W	80	2	160
144 IEV-D 4 T5 14W Dali ELRD	56	90	5040
144 IEV-D 4 T5 14W	56	90	5040
801 IEV-D T5 80W	80	4	320
Cosmo-2 1-T5-80W	80	0	0
Cosmo-2 2-T5-14W-24W	48	2	96
Cosmo-2 2-T5-28W/54W	108	15	1620
Vega Tandem 60200 2x2x54W	216	0	0
Dot 811063-50° 6x3 LED	0	6	0
Duo 19118 TCDEL 1x18W	18	10	180
Duo 19226 TCDEL 2x26W	52	20	1040
STAR 27W LED LDE Regulable Dali	27	66	1782
Total planta baja			15438

Tabla 8: luminarias y potencia instaladas en la planta baja.

Esta información está en el ANEXO A: Plano alumbrado planta baja (color A0)

Los gráficos siguientes muestran el resultado de medir la electricidad destinada a iluminación durante una semana.



Figura 14: Potencia demandada en iluminación en planta baja durante una semana en RED (W).

Se midió desde el miércoles 9 de mayo a las 14:31 hasta el miércoles 16 de mayo a las 14:31.

Los consumos medidos corresponden a la iluminación en la planta baja, tanto de iluminación como de alumbrado de emergencia.

Llama la atención que el consumo baja notablemente durante la noche y el fin de semana, pero no llega a ser nulo por el alumbrado de emergencia y todos los sistemas complementarios.

Las primeras horas del día son las de mayor consumo, aunque va bajando la demanda progresivamente a medida que avanza el día al haber más luz natural.

El fin de semana los consumos son los de los equipos complementarios y alumbrado de seguridad.

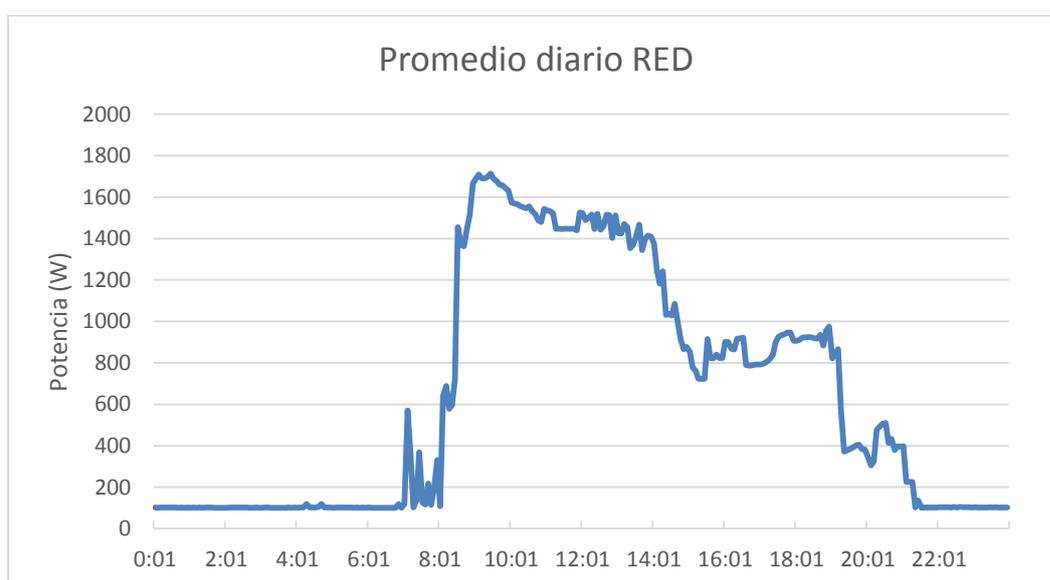


Figura 15: Promedio de la potencia consumida en iluminación (W) en la planta baja en un día en RED.

Se observa que la demanda comienza a las 8:30, es mayor de las primeras horas del día y disminuye al mediodía. Baja todavía más entre las 14:00 y las 16:00 y luego sube otra vez aunque no alcanza los valores de la mañana. Finalmente es a las 20:00 cuando el consumo baja y se mantiene constante durante toda la noche.

El gráfico se adapta al comportamiento de los usuarios, que entran a trabajar entre las 8:00 y las 9:00, realizan la pausa para comer entre las 14:00 y las 16:00



Figura 16: potencia demandada en iluminación en planta baja durante una semana en GRUPO (W)

Se midió desde el miércoles 16 de mayo a las 15:03 hasta el miércoles 23 de mayo a las 15:03.

Esta es la parte correspondiente a los consumos designados como “grupo electrógeno”, estos consumos están conectados a un grupo generador y en caso de que la red principal falle, en un periodo corto volverían a disponer de electricidad. Este consumo es el de iluminación correspondiente principalmente a los pasillos, zonas comunes y de paso y alumbrado de emergencia, aunque también incluye algunas luminarias de los espacios de trabajo.

En este caso se observa que el mínimo tampoco es 0, pero es superior al mínimo de la figura anterior, exceptuando el último día de la medida por la noche. Esto se debe a la presencia de más alumbrado de emergencia en las zonas comunes que en las zonas de trabajo.

También se observa que el consumo es mayor en las primeras horas del día, aunque se percibe mucha más variabilidad.

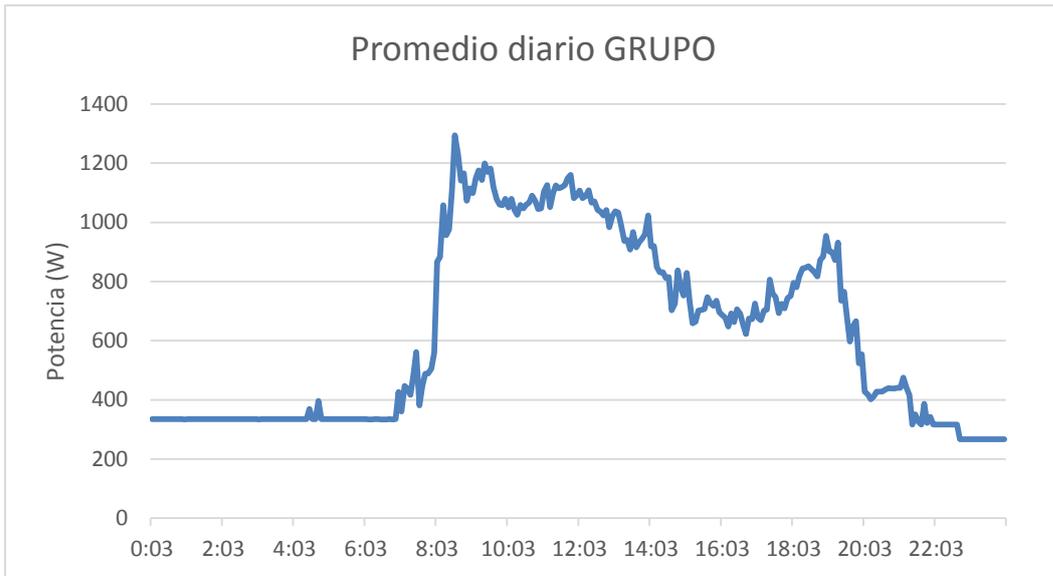


Figura 17. Promedio de potencia demandada en iluminación (W) en las zonas comunes de la planta baja correspondientes al grupo electrógeno en un día.

Como mencionaba antes, se observa mucha más variabilidad, el consumo cambia en función de si los detectores de presencia detectan movimiento o no, además de disminuir un poco a medida que avanza el día y volver a aumentar a medida que atardece pues también hay zonas con medidores de iluminación. Dado que se trata de zonas comunes, se puede asumir que estas luces están funcionando desde las 8:00 a las 20:00. Hay consumo antes y después de esa franja pues es cuando se realizan las labores de limpieza, pero realmente la inmensa mayoría de los trabajadores se encuentran trabajando en ese periodo.

Los datos de estas medidas están en el ANEXO D: Medidas de potencia en iluminación en planta baja

7.3. Medidas de potencia demandada en cada fase en planta baja

De cara a valorar el equilibrio de fases se midió también el resto de consumos de la planta baja, estos son los resultados:

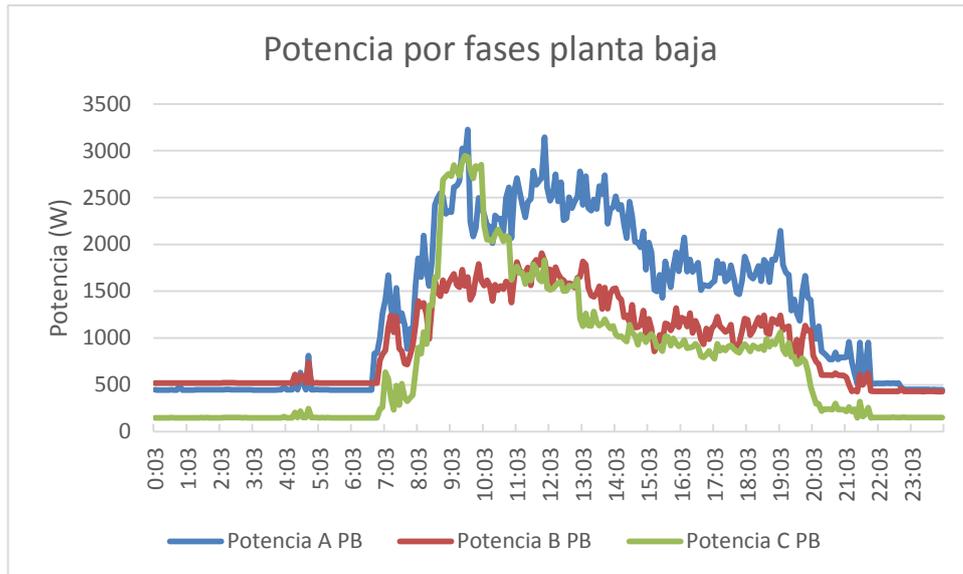


Figura 18: potencia diaria total por fases en la planta baja

Se han medido los consumos de fancoils, iluminación de grupo, iluminación de red, informática y electrónica y usos varios de la planta baja.

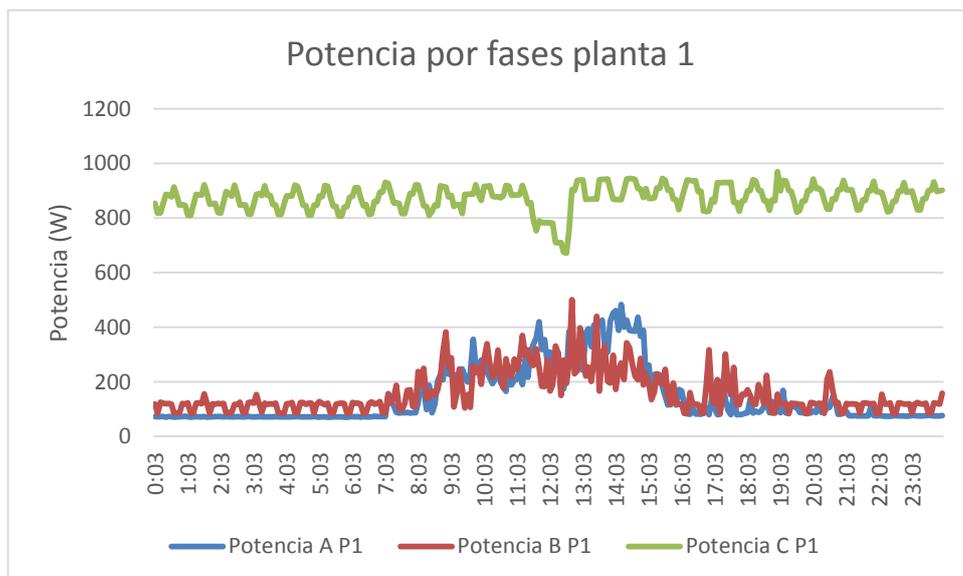


Figura 19: potencia diaria total por fases de la planta primera

Se han medido los consumos en iluminación, usos varios y cámaras frigoríficas de la planta primera.

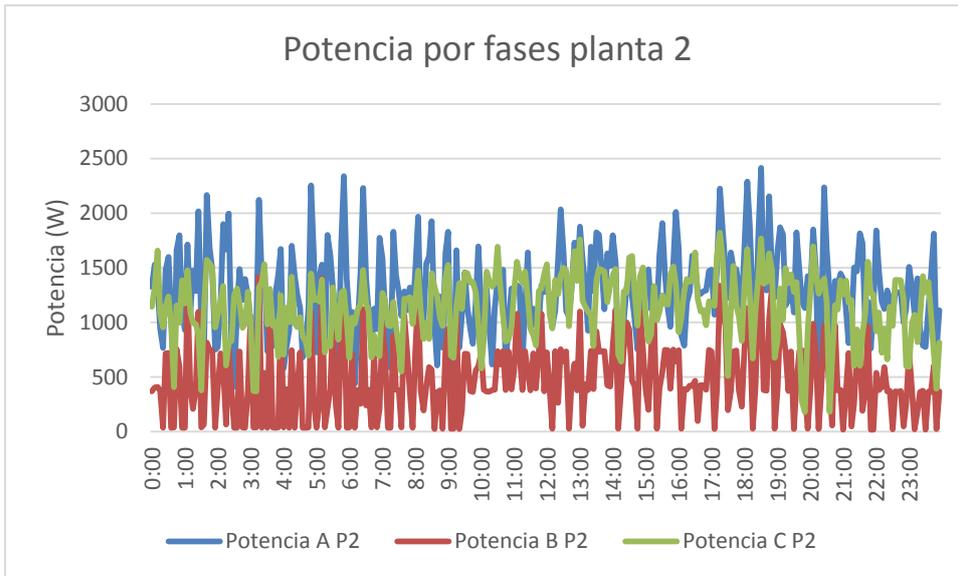


Figura 20: potencia diaria total por fases de la planta primera

Se han medido los consumos de arcones, cámaras de conservación y cámaras de congelación de la planta segunda.

Estas medidas y las de la planta primera las tomé por motivos de calidad para la oficina de calidad ambiental.

La información de estas medidas se encuentra en el ANEXO E: Medidas Potencia Todas Plantas.

8. Análisis de medidas

8.1. Análisis de medidas en planta baja

No todos los consumos de las zonas comunes están separados, algunos están mezclados con las zonas de los espacios de trabajo, está así en el circuito eléctrico y no es posible medirlos por separado. Lo que sí es posible es medir por separado parte de los consumos de las zonas centrales, concretamente una de cada tres luminarias de la mitad norte del edificio.

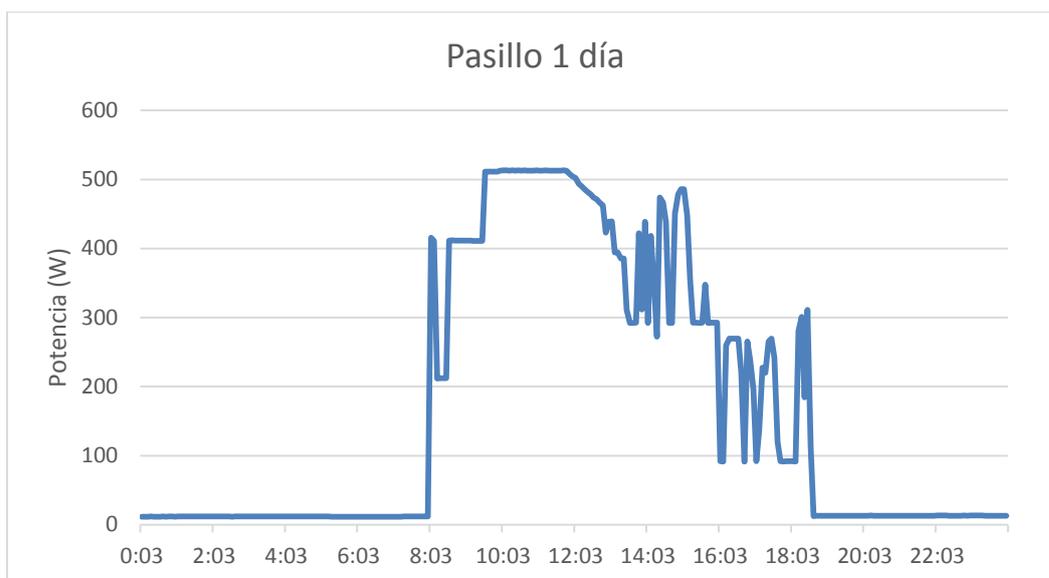


Figura 21: consumos en iluminación en una parte del pasillo

Se observa que durante la mañana hay un consumo bastante constante y por la tarde sin embargo hay bastante variabilidad, además de un consumo menor.

Las luminarias asociadas a esta medida son las identificadas como CA9 en el plano de la planta baja (ANEXO A). Algunas corresponden al CPD y almacenes, otras a los pasillos y zonas de paso. Los almacenes y el CPD tienen por lo general las luces apagadas salvo los momentos puntuales en los que se entra a esos espacios, por lo que los consumos que se observan son en su mayoría de las lámparas de los pasillos, concretamente en la zona de escalera bajo el lucernario norte y en los pasillos tanto del ala este como oeste en la mitad norte.

Los consumos comienzan a disminuir hacia las 12:00 del mediodía, cuando la cantidad de luz natural disponible es mayor. A partir de ahí los reguladores de intensidad hacen su función y se reduce el consumo casi a la mitad. También se encienden y apagan luces cuando se detecta movimiento en algunas zonas, es por eso que aparecen esos picos. Hacia las 16:00 el consumo baja incluso más. La cantidad de luz natural que entra por el lucernario norte es mayor al estar el sol más alto y los usuarios del edificio van abandonando los espacios de trabajo.

Las medidas se tomaron cada 5 segundos durante una semana, por lo que existen 12960 medidas. En alguna ocasión menos, pues se tuvo que parar de medir antes.

Para los cálculos se tendrán en cuenta todas las medidas, pero para la representación gráfica y manejabilidad de los datos ha sido necesario reducir la cantidad a 2000 valores. Para ello he utilizado Excel y el siguiente código en lenguaje VBa:

Sub TrimData()

'Este código funciona seleccionando el encabezado de la columna con los datos que quieres recortar, partiendo de que la columna 1 es siempre la de hora

LastRow = Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row

C = ActiveCell.Column + 1

D = C + 1

For i = 2 To LastRow

Cells(Cells(Rows.Count, C).End(xlUp).Row + 1, C).Value = Cells(i, 1)

Cells(Cells(Rows.Count, D).End(xlUp).Row + 1, D).Value = Cells(i, C - 1)

i = i + 59

Next

End Sub

Esa es la base del código, aunque luego trabajé con variaciones que fui adaptando a las necesidades.

El resultado es una lista de datos con medidas cada 5 minutos en lugar de cada 5 segundos.

Para comparar las demandas energéticas de un edificio normal, calculo la potencia instalada en iluminación en la planta baja y estimo la demanda a lo largo del día en base a los gráficos de los consumos reales.

En el momento de tomar las medidas, algunos espacios no estaban ocupados o su uso es infrecuente. Los espacios ocupados son B16-22, B25-29, en esos espacios de trabajo hay dos almacenes cuyas luminarias no se tendrán en cuenta en los cálculos, ya que no permanecen encendidas; y 42 luminarias de tipo 144 IEV-D 4 T5 14W Dali ELRD con una potencia por luminaria de 56 W, hace un total de 2352 W instalados en espacios de trabajo.

En la zona central, el CPD – al que no tenía acceso –, los vestuarios porque no se utilizan y los almacenes porque se usan de manera puntual e infrecuente no se tendrán en cuenta. Considero importante separar las luminarias de los

aseos también, ya que en un edificio sin los reguladores de intensidad y detectores de presencia no estarían encendidas todo el tiempo.

La potencia instalada en la zona central es 2370 W.

En total en la planta baja se puede considerar que hay 4890 W instalados y funcionando a diario en el momento de tomar las medidas.

Esta es la lista final de luminarias de la zona central que funcionan a lo largo de un día normal:

Tipo	Potencia (W)	Número	Potencia total (W)	Información adicional
144 IEV-D 4 T5 14W DALI ELRD	56	45	2520	Espacios de trabajo
Oquo cristal M. HT 20W	20	7	140	Exterior
Limburg 8702-1-TC-L-80W	80	2	160	Escalera
144 IEV-D 4 T5 14W Dali ELRD	56	60	1620	Conserjería
Dot 811063-50º 6x3 LED	5	6	30	Ascensores
Duo 19226 TCDEL 2x26W	52	7	364	Pasillos
STAR 27W LED LDE Regulable Dali	27	56	1512	Pasillos

Tabla 9: luminarias funcionando en un día promedio en la planta baja



Figura 22. Potencia total demandada en iluminación en la planta baja en una semana

Esto es teniendo en cuenta que el día 13 de mayo es San Pedro Regalado, festividad en Valladolid. Cayó en domingo y se celebró el lunes, razón por la que los consumos el lunes son igual que en el fin de semana.

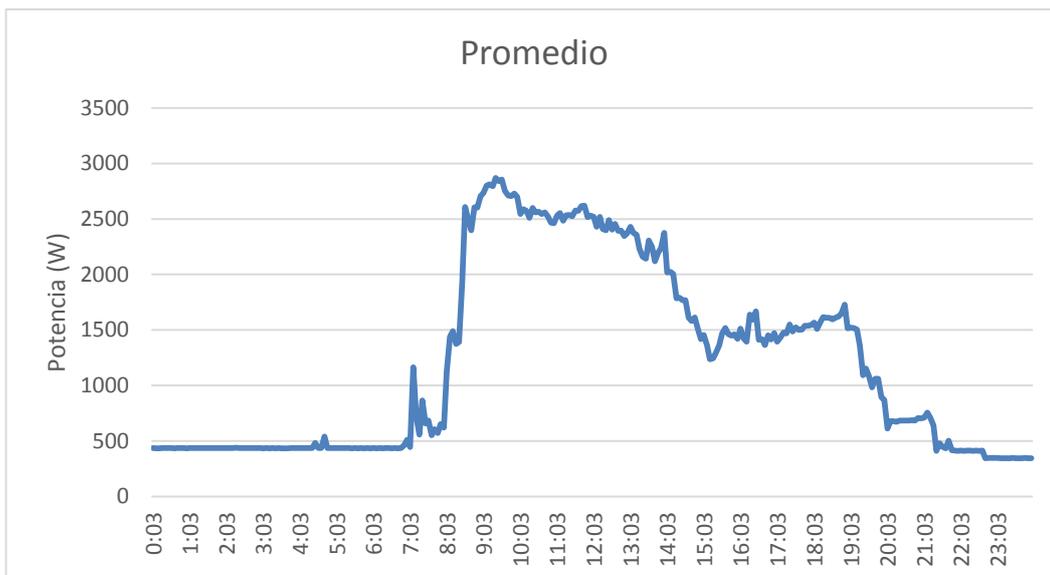


Figura 23. Promedio diario de potencia demandada en la planta baja.

Una de las comparaciones posibles para evaluar si los sistemas automáticos de eficiencia energética suponen o no un ahorro a largo plazo es con la potencia demandada si no existieran esos sistemas.

Observando la gráfica del promedio se observa que el consumo comienza entre las 8:00 y las 8:30 y disminuye hasta casi la mitad a partir de las 14:00, pero no es hasta las 20:00 que el consumo baja del todo al mínimo de la iluminación de emergencia.

Esto coincide bastante con el horario que se había estimado en la simulación energética: “Se considera el edificio ocupado desde las 9 de la mañana, hasta las 10 de la noche, con ratios de ocupación variables según la hora del día. Se considera plena ocupación entre las 9 de la mañana ocupación baja entre las 2 y las 4 y ocupación media hasta las 9 de la noche, momento en el cuál el edificio se vacía”.

Hourly Values		
Mdnt - 1:	0,0000	ratio
1-2 am:	0,0000	ratio
2-3 am:	0,0000	ratio
3-4 am:	0,0000	ratio
4-5 am:	0,0000	ratio
5-6 am:	0,0000	ratio
6-7 am:	0,0000	ratio
7-8 am:	0,0000	ratio
8-9 am:	0,0000	ratio
9-10 am:	1,0000	ratio
10-11 am:	1,0000	ratio
11-noon:	1,0000	ratio
noon-1:	1,0000	ratio
1-2 pm:	1,0000	ratio
2-3 pm:	0,4000	ratio
3-4 pm:	0,4000	ratio
4-5 pm:	0,6000	ratio
5-6 pm:	0,6000	ratio
6-7 pm:	0,6000	ratio
7-8 pm:	0,6000	ratio
8-9 pm:	0,6000	ratio
9-10 pm:	0,0000	ratio
10-11 pm:	0,0000	ratio
11-Mdnt:	0,0000	ratio

Figura 24: horarios de ocupación diaria. [10]

Un edificio no automatizado tendría las luces encendidas siempre a la máxima potencia, ya que no contaría ni con reguladores de intensidad ni con detectores

de presencia o de iluminación. Es decir: la potencia demandada sería siempre la misma. No obstante, habiendo realizado las prácticas en el edificio observé que el horario de trabajo era bastante flexible, por lo que es preciso realizar un ajuste y reducir la demanda de los espacios de trabajo a la mitad entre las 16:00 y las 20:00. Esto es asumiendo que en los espacios de trabajo a media ocupación, las luminarias encendidas son solo las estrictamente necesarias y no todas, práctica que se realiza de manera habitual en el uso diario del edificio.

El horario de trabajo utilizado para los cálculos es de 8:30 a 14:30 al 100% o 4890 W, con una pausa para comer entre las 14:30 y las 16:00, periodo en el que el edificio está inactivo; y de 16:00 a 20:00 al 50% en los espacios de trabajo o 1176 W y el 100% o 2538 W en las zonas comunes, sumando así 8 horas de trabajo diarias en 10 horas totales de uso del edificio. Durante el tiempo que el edificio está inactivo se estiman los consumos pasivos en 450 W, que es el promedio real. Esos consumos también se tienen en cuenta durante el resto del día.

Franja	Potencia (W)	Descripción
8:30-14:30	5340	Máxima ocupación y máxima potencia
14:30-16:00	450	Hora de la comida, edificio sin ocupación
16:00-20:00	4164	Ocupación media, máxima potencia en pasillos y zonas comunes

Tabla 10. Potencia demandada por horas en la simulación.

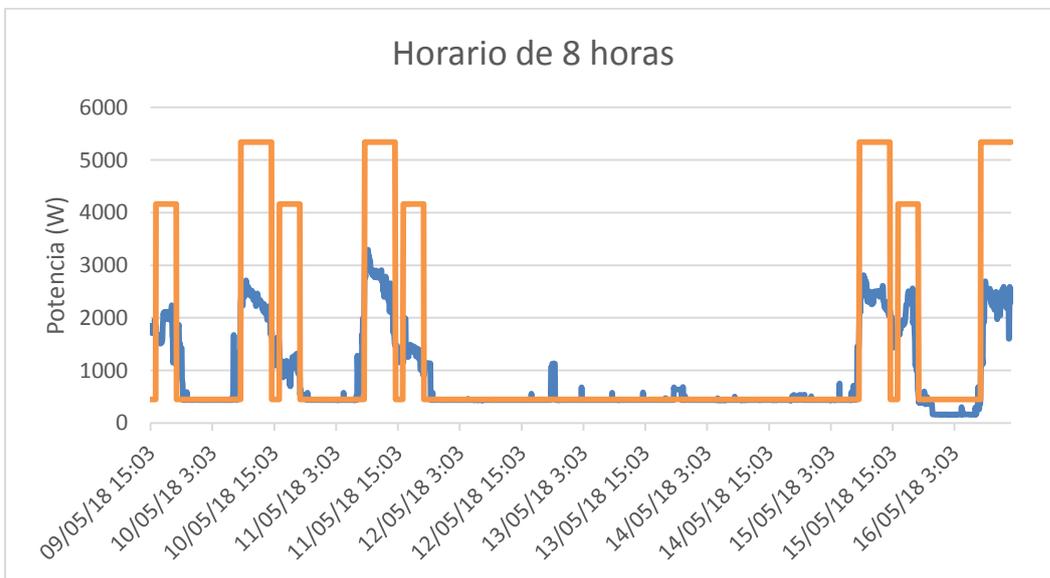


Figura 25: Comparación de potencia demandada real en una semana con la simulada de demanda máxima.

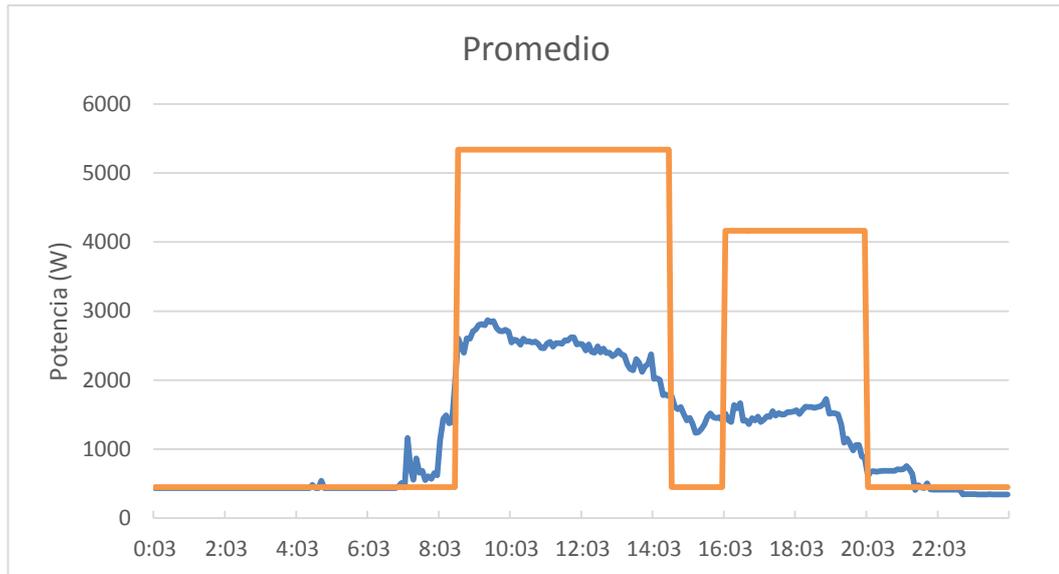


Figura 26. Comparación del promedio de la potencia demandada real en un día con la simulada de demanda máxima.

Salta a la vista que es prácticamente el doble.

En un día promedio, el consumo real en iluminación es 29,2 kWh, mientras que la energía consumida en un día sería como el simulado es 55,00 kWh, un 87,91% más, o dicho de otra manera: los sistemas automáticos permiten ahorrar un 46,78% de energía.

Se puede realizar otra simulación teniendo en cuenta las zonas en las que sí hay iluminación natural. Guiándonos con la demanda real, se observa que el consumo en iluminación desciende especialmente a partir de las 12:00 y aumenta desde las 18:00 por lo que en un edificio sin automatización, podrían apagarse manualmente las luces de las dos zonas bajo los lucernarios durante esas horas. El inconveniente de este cálculo es que las horas de luz no son las mismas a largo de todo el año y aunque podría decirse que se compensan a lo largo del año, lo cierto es que durante todo el mes de agosto no hay gente trabajando en el LUCIA que no se compensa con el periodo de inactividad correspondiente a las vacaciones de Navidad. Además de eso, los días nublados obligarían a encender la luz. Para realizar los cálculos voy a asumir la situación más favorable, en la que como decía, se pueden apagar las luces de las zonas bajo los lucernarios entre las 12:00 y las 18:00. Restando esas luces, queda una potencia de 1560 W en las zonas comunes. En las oficinas se podría apagar la luz, ya que tienen luz natural, pero no se garantizaría la iluminación adecuada al espacio de trabajo.

Franja	Potencia (W)	Descripción
8:30-12:00	5340	Máxima ocupación y máxima potencia
12:00-14:30	4362	Máxima potencia en zonas de trabajo, potencia reducida en pasillos y zonas comunes con iluminación natural
14:30-16:00	450	Hora de la comida, edificio sin ocupación
16:00-18:00	3186	Media potencia en zonas de trabajo, potencia reducida en pasillos y zonas comunes con iluminación natural
18:00-20:00	4164	Media potencia en zonas de trabajo, máxima potencia en pasillos y zonas comunes

Tabla 11. Potencia demandada por horas en la segunda simulación.

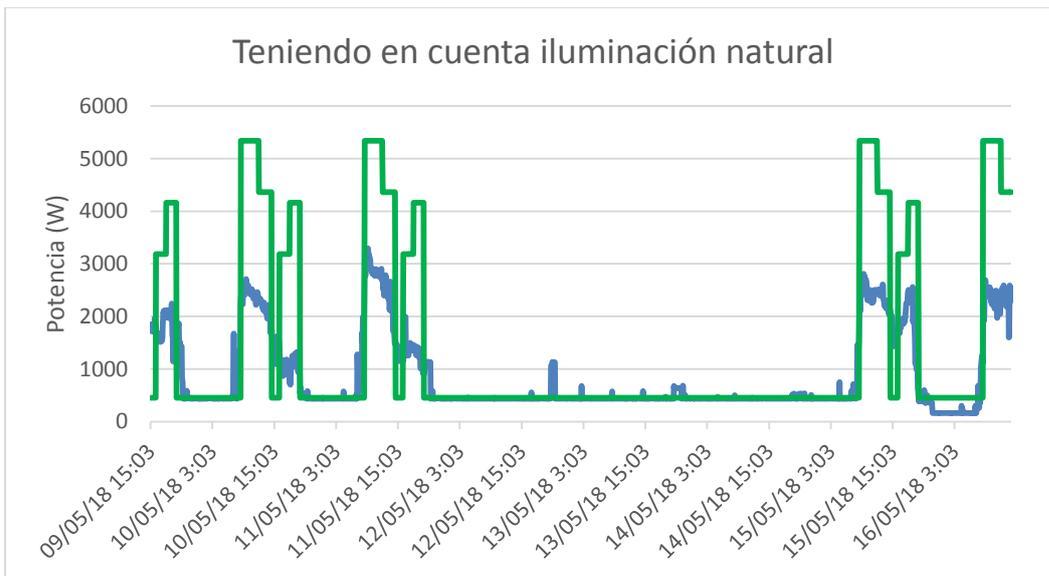


Figura 27: Simulación de una semana teniendo en cuenta iluminación natural

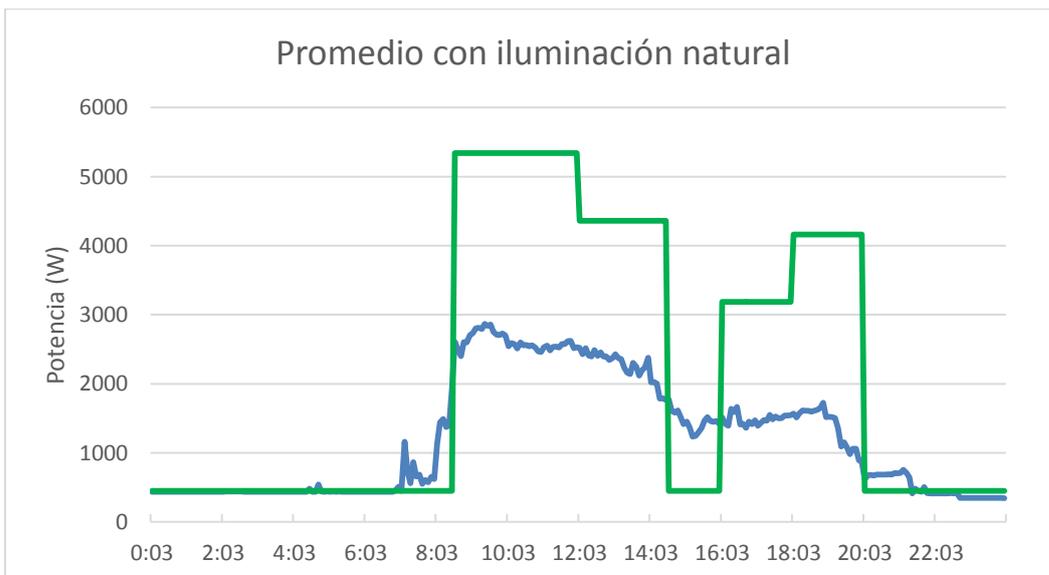


Figura 28. Comparación del promedio de la potencia demandada real en un día con la simulada de demanda en función de la iluminación natural.

La energía total consumida a lo largo de un día en esta situación es 50,60 kWh apenas 4 kWh mejor que en la otra simulación. Comparándolo con el promedio diario de 29,27 kWh, supone es un 72,88% más de energía consumida o un 42,16% de ahorro.

Para hacer una valoración económica es necesario estimar el precio de los equipos accesorios de automatización que permiten reducir el consumo.

Tipo	Cantidad pasillos	Cantidad espacios	Total	Precio (€)	Total precio (€)
Sensor de luz regulación DALI	7	10	17	110	1870
Detector de movimiento 360° Regulación DALI PIR41440	2	0	2	113	226
Detector de movimiento 90° Regulación DALI PIR41272	15	0	15	70	1050
Pulsador con pastilla DALI GC-A hasta 3 encendidos Regulación DALI	0	14	14	90	1260
Analizador IEM3150	0	10	10	465	4650
Total					9056

Tabla 12: Equipos de regulación de iluminación, detección de luz y movimiento

El precio medio de la electricidad entre los años 2016 y la actualidad es de 0,162235 €/kWh.

El edificio LUCIA está sin ocupación los fines de semana y festivos, el mes de agosto y 6 días en Navidad, por lo que los días de ocupación anuales son 225.

El resultado del día promedio a lo largo de un año supone un consumo energético de 1068,33 €/año, mientras que la simulación a máxima potencia supondría 2007,51 €/año y por último la simulación teniendo en cuenta la luz natural 1846,86 €/año.

La diferencia es de 939,18 €/año en el primer caso, por lo que la inversión se amortizaría en menos de 10 años.

En el segundo caso la diferencia es de 778,53 €/año y se tardaría en amortizar 12 años.

Con el precio actual de 0,246 €/kWh, el tiempo necesario para ahorrar en iluminación el coste de los equipos de regulación automática sería de entre 6 y 8 años.

En la simulación energética, se calculaba un consumo mensual en iluminación de 74.490 kWh para el edificio LUCIA y 146.190 kWh para el edificio de referencia. La relación es similar, de casi el doble de energía consumida en el edificio de referencia comparado con el LUCIA.

9. Histórico de datos grabados por los medidores integrados en la instalación eléctrica

Además de las mediciones con los equipos Fluke, el edificio LUCIA registra los consumos con unos medidores propios, estos datos se pueden ver en tiempo real en un programa tipo SCADA y también se puede acceder al histórico.

Los consumos que se miden en cada espacio de trabajo corresponden a los equipos conectados. En el cuadro eléctrico de cada planta los medidores miden los consumos de los equipos conectados en cada espacio de trabajo. En el cuadro del sótano hay medidores que miden los consumos de cada planta, donde sí están incluidos los consumos de ventiladores e iluminación, entre otros.

9.1. Medidas de la planta baja

A continuación se muestran los consumos en Wh de la planta baja durante el año 2017:

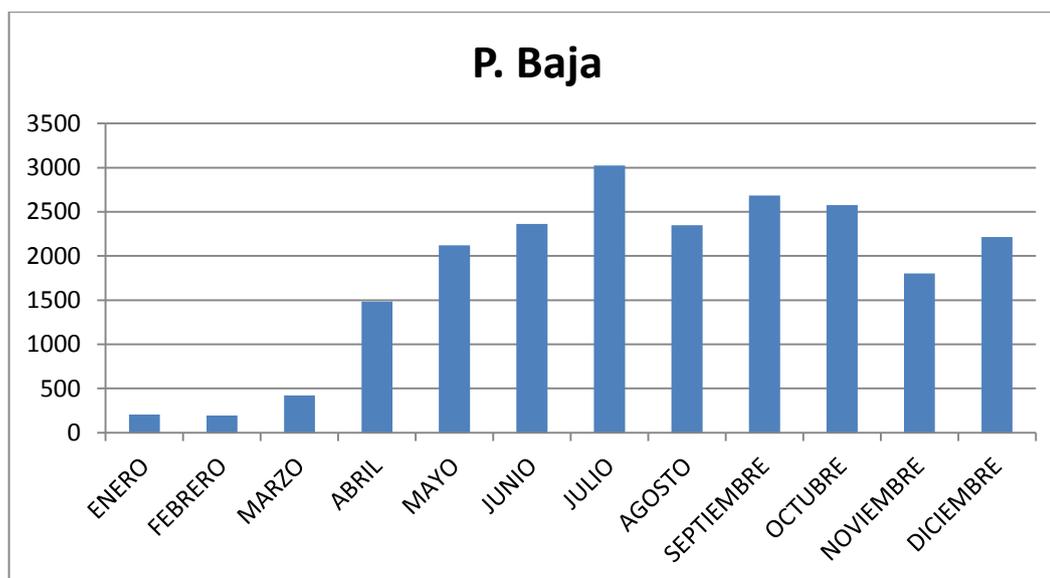


Figura 29: Energía activa (Wh) consumida en la planta baja durante el año 2017.

La planta baja comenzó a ocuparse en este año, es por eso que los tres primeros meses los consumos son menores y a partir de abril ya se asentaron diversos espacios de trabajo y no varió la ocupación durante el resto del año.

Se puede ver de forma clara cómo el consumo aumenta gradualmente en primavera, alcanza el máximo en el mes de julio, baja en agosto por las vacaciones y después baja gradualmente durante los meses de otoño hasta que sube de nuevo en diciembre. La razón de estas variaciones es el gasto en climatización, que aumenta en verano y aunque la calefacción aumenta en invierno, no repercute tanto en el consumo eléctrico.

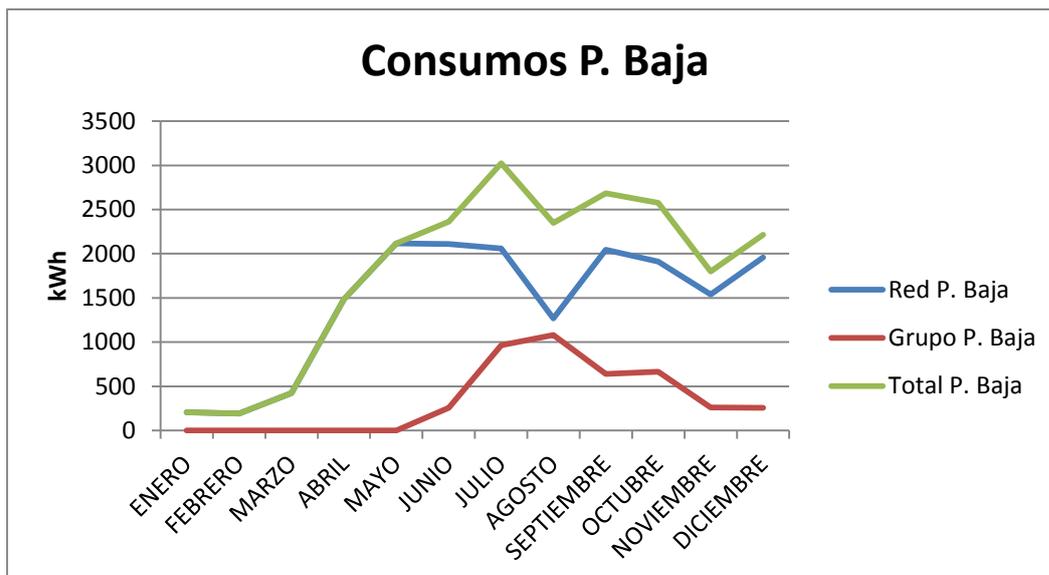


Figura 30: comparación de consumos eléctricos de la red y de grupo

Lo más destacable de esta comparación es el consumo de grupo, que aumenta en verano y se mantiene durante el mes de agosto. Como he comentado anteriormente, los equipos conectados a la red GRUPO son de mayor importancia y no pueden sufrir paradas por fallos en la línea. Algunos de estos equipos necesitan mantener una temperatura por debajo de un máximo para funcionar correctamente o simplemente son los parámetros de los experimentos que se llevan a cabo en los diversos laboratorios. Es por esa razón que en agosto, el mes que el edificio está sin ocupación, los consumos del GRUPO aumentan.

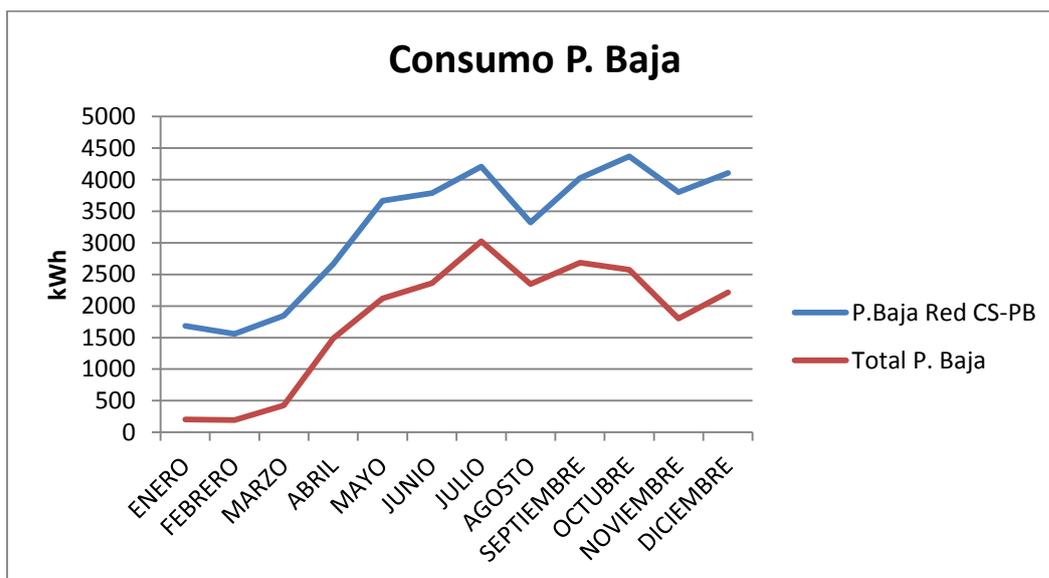


Figura 31: comparación de los consumos totales en toda la planta baja y los consumos de los equipos conectados en los espacios.

En la diferencia están, por ejemplo, los gastos en iluminación y climatización.

Con los datos de los medidores también se puede ver qué espacios están ocupados y cuáles no y si hay espacios que están usando más energía.

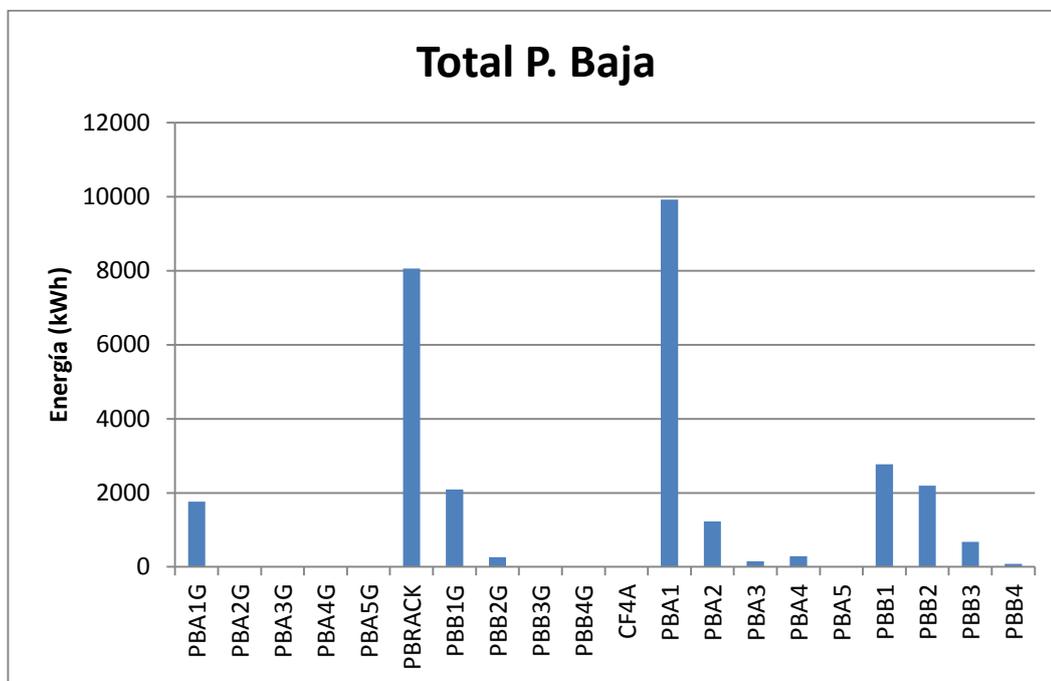


Figura 32: consumos por espacio de la planta baja.

PBA1 y PBA1G corresponden al espacio B16 y al despacho B17, en estos espacios hay 4 PCs con sus pantallas, 1 microscopio, 1 compresor, 1 bomba y 1 refrigerador. Se trata de un microscopio láser que requiere unas condiciones especiales para su funcionamiento, se trata además de un equipo que tiene tiempos de utilización muy largos, por lo que necesita estar encendido mucho tiempo. La potencia instalada en estos espacios es de 5630 W.

PBA2 y PBA2G corresponden a la zona de trabajo B09, este espacio tiene muy poca ocupación y los equipos conectados son 1 impresora, 1 PC y 2 portátiles. La potencia total es 850 W.

PBA3 y PBA3G corresponden a los espacios B08 a B15 (excepto B09), es una zona de trabajo y cinco despachos a los que no tuve acceso para realizar el inventario energético. Son espacios que no estaban en uso la mayor parte del tiempo, como se puede ver en los consumos.

PBA4 y PBA4G corresponden a los espacios B03 a B07, que son tres despachos, una zona de trabajo y el pasillo que los conecta a los que tampoco tuve acceso pues están sin ocupar. También se puede ver que apenas hay consumos, los pocos que hay corresponden al pasillo B03 que funciona igual que el resto de pasillos, con detectores de presencia.

PBA5 y PBA5G corresponden a los espacios B23 y B24, un despacho y una zona de trabajo sin ocupación.

PBB1G y PBB1 corresponden a los espacios B18 a B21, que incluyen un espacio de trabajo, dos despachos y un almacén. En estos espacios hay 4 PCs, 1 impresora 3D, 1 aparato de vacío, 2 microscopios y 1 equipo Raman de espectroscopia. El equipo de espectroscopia Raman requiere también de condiciones específicas para el correcto funcionamiento. La potencia total instalada es de 2800 W.

PBB2 y PBB2G corresponden al espacio de trabajo B22, que cuenta con 1 impresora, 6 PCs y 1 aire acondicionado. La potencia total instalada es 2000 W.

PBB3 y PBB3G corresponden al espacio de trabajo B29, la oficina de calidad ambiental donde realicé las prácticas y que cuenta con 4 PCs y 1 impresora. La potencia total es 1350 W.

PBB4 y PBB4G corresponden a los espacios B25 a B28, se trata de dos despachos, una zona de trabajo y un almacén. Solo los espacios B25 y B26 estaban en uso y no de manera constante. Los equipos instalados son 2 PCs y 2 portátiles. La potencia total es de 1000 W.

El RACK es un espacio donde se encuentran servidores.

Estas medidas se pueden ver en el ANEXO F: Medidas PB 2017.

9.2. Medidas de la planta primera

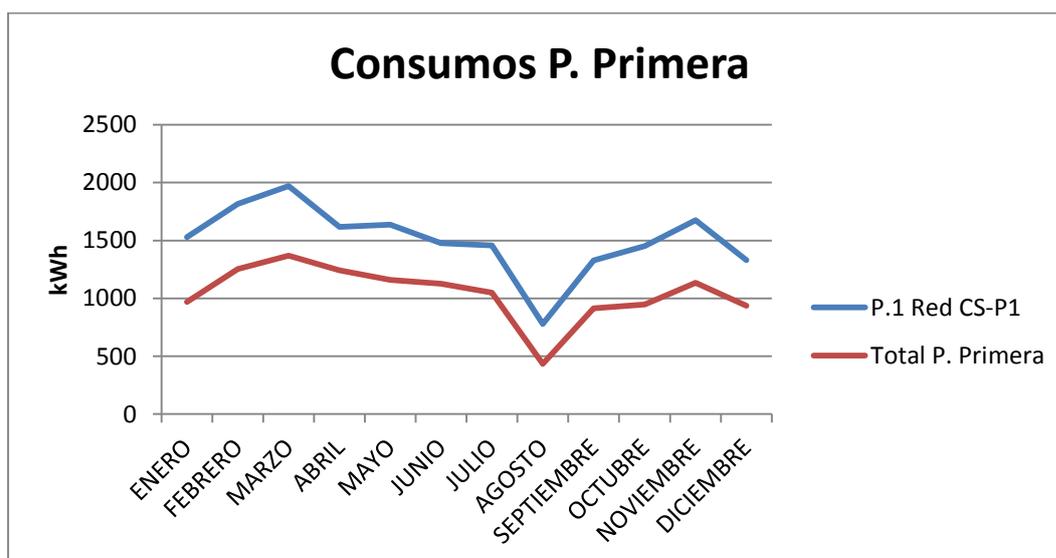


Figura 33: comparación de los consumos totales en toda la planta primera y los consumos de los equipos conectados en los espacios

El medidor de todos los consumos de grupo de la planta 1 estaba mal colocado al revés y estaba midiendo consumos negativos. Los consumos negativos no se registran, por lo que esos datos se han perdido. Me refiero a los de toda la planta primera que pertenecen al cuadro de grupo. Los individuales de cada espacio sí se midieron correctamente.

Esta planta tiene un consumo mayor en los meses de invierno. Las necesidades de calor son mayores para los experimentos que se realizan.

También por zonas:

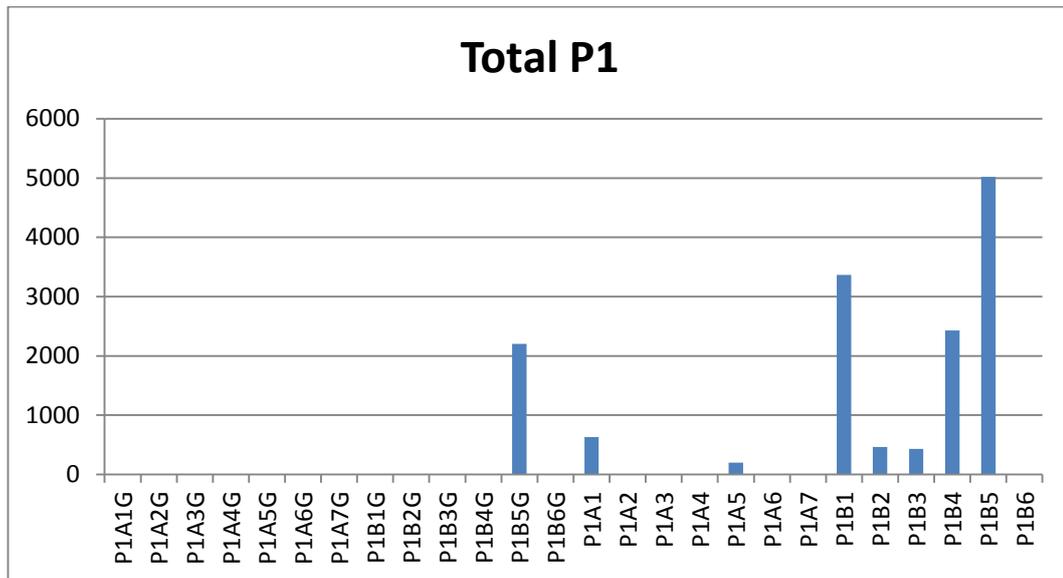


Figura 34: consumos por espacio de la planta primera

Destaca lo poco ocupada que estaba esta planta en 2017.

Los espacios ocupados son:

P1A1, que corresponde a P.43, se trata de una sala blanca donde hay un horno de hasta 15500 W. Se pueden ver los equipos en el anexo. La potencia instalada en esta sala es 19757 W.

P1A5 corresponde a los espacios P20 a P22: un espacio de trabajo y dos despachos. En este espacio hay varias herramientas como un taladro, soldadores y equipos de medida. La potencia total es de 3670 W.

P1B1 corresponde a los espacios P09 a P12. Son dos despachos, un almacén y un laboratorio. La potencia instalada en estos espacios es 18333 W.

P1B2 corresponde a los espacios P13 a P15, se trata de dos laboratorios unidos y un despacho. La potencia instalada es de 4711 W.

P1B3 son los espacios P16 a P18. Uno de estos espacios es un archivo, también hay un despacho y un laboratorio con apenas unas básculas. Apenas tiene utilización en el momento en el que hice el inventario energético.

P1B4 son los espacios P33 y P34, son un despacho y un laboratorio con una potencia instalada de 17796 W.

P1B5 y P1B5G corresponden a los espacios P30 a P32. Se trata de dos despachos y un laboratorio. La potencia total instalada asciende a 36938,6 W y como se puede ver es muy utilizado.

Estas medidas se pueden ver en el ANEXO G: Medidas PP 2017.

9.3. Medidas de la planta segunda

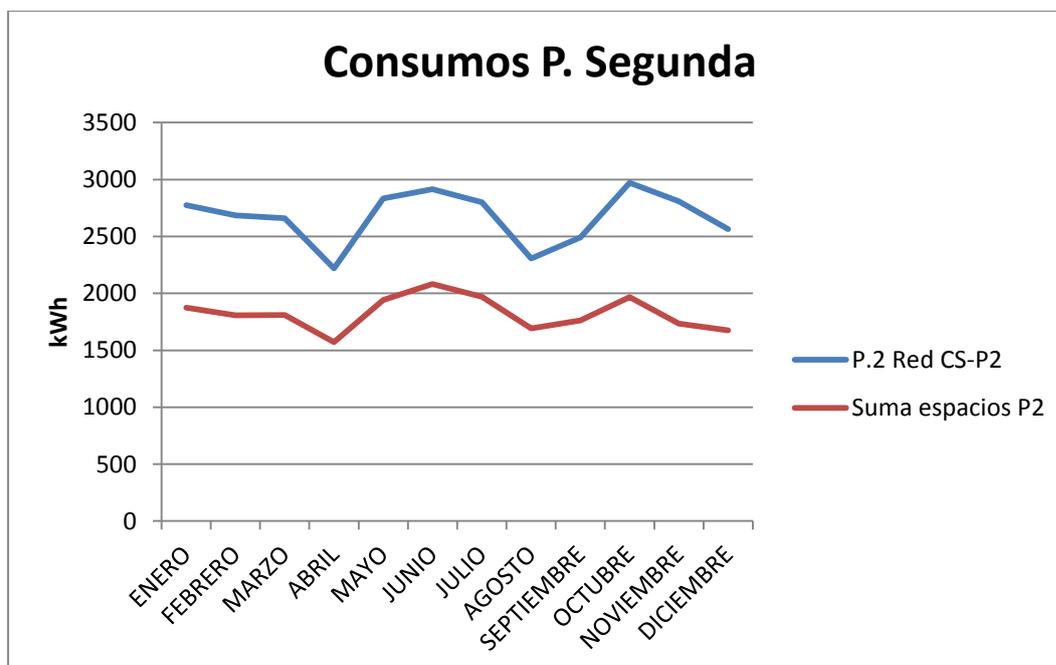


Figura 35: comparación de los consumos totales en toda la planta primera y los consumos de los equipos conectados en los espacios

Se observa cierto parón en abril y el esperable de agosto. Llama la atención la subida durante el mes de octubre.

El medidor de los consumos de grupo también estaba invertido, por este motivo solo comparo los consumos del cuadro de red.

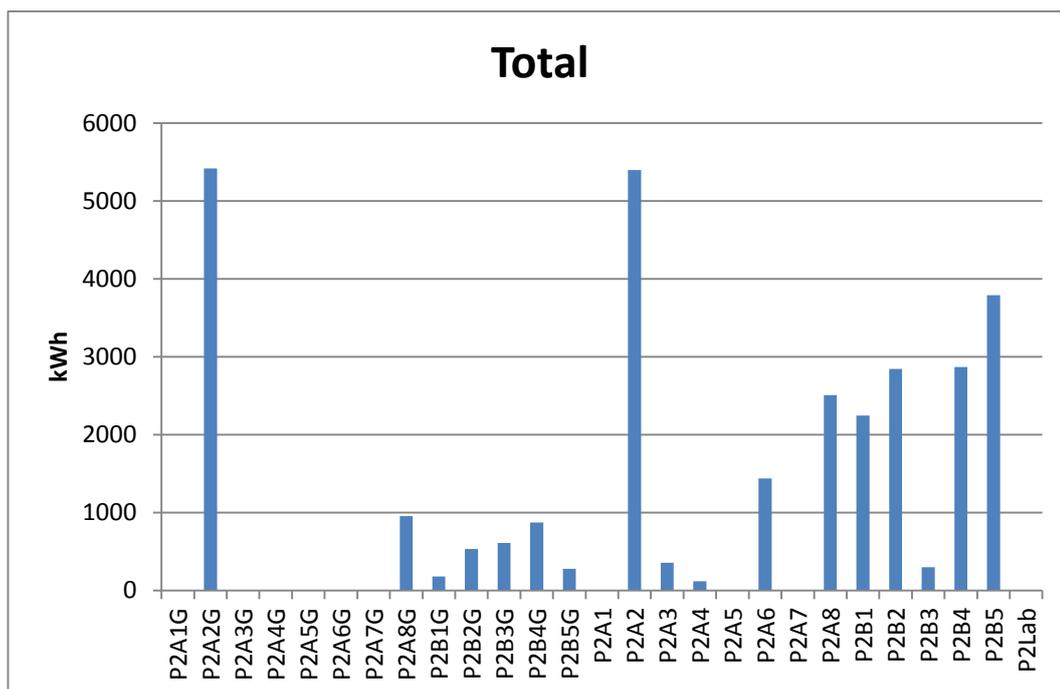


Figura 36: consumos por espacio de la planta segunda

P2A2 y P2A2G corresponden a los espacios S42 y S43, que son una sala blanca a la que no tenía acceso por la sensibilidad de los ensayos que se realizan en ella y la esclusa de acceso.

P2A6 y P2A6G corresponden a los espacios S18 a S21, solo el espacio S19 está en uso, en él hay varias máquinas de lavado que suman una potencia de 11620 W.

P2A8 y P2A8G corresponden a los espacios S25 a S29. S26 es un espacio de trabajo y los demás son despachos. La potencia instalada es de 5634.6 W.

P2B1 y P2B1G son los espacios S09 a S12. Se trata de un laboratorio y dos despachos.

P2B2 y P2B2G son los espacios S13 a S15. Son dos despachos y un laboratorio. La potencia instalada es de 11103,6 W.

P2B4 y P2B4G son los espacios S33 y S34. Son un laboratorio y un despacho.

P2B5 y P2B5G son los espacios S30 a S32. Se trata de un laboratorio y dos despachos. La potencia instalada es 7719 W.

Estas medidas se pueden ver en el ANEXO H: Medidas PS 2017.

9.4. Medidas de todo el edificio y resultados de la simulación

Resulta interesante también comparar los consumos anuales totales con la simulación de generación eléctrica y los datos reales.

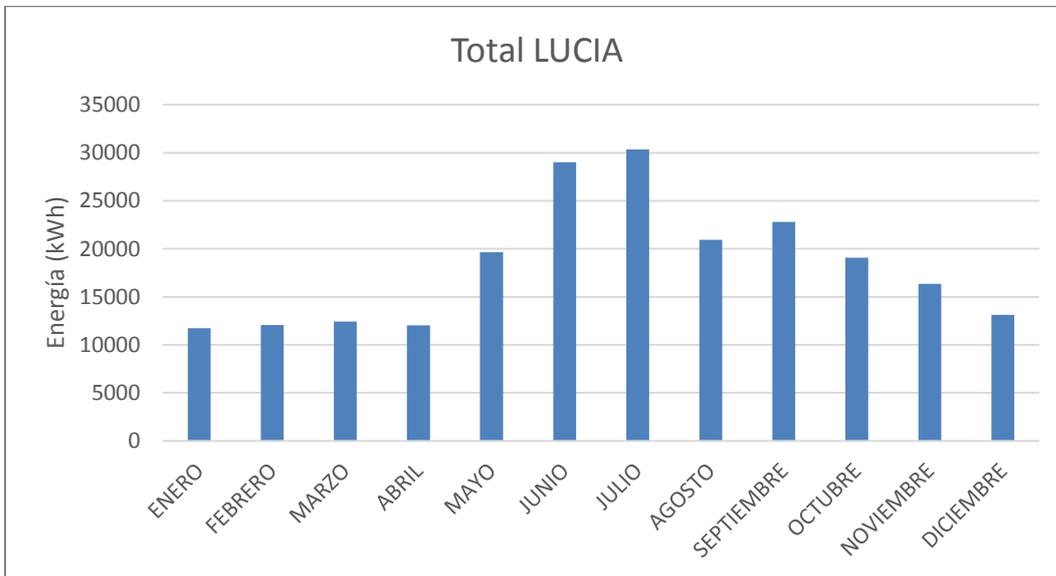


Figura 37: Energía consumida mes a mes durante el año 2017 en todo el edificio.

En la siguiente gráfica se muestran los consumos desglosados de la simulación del edificio base:

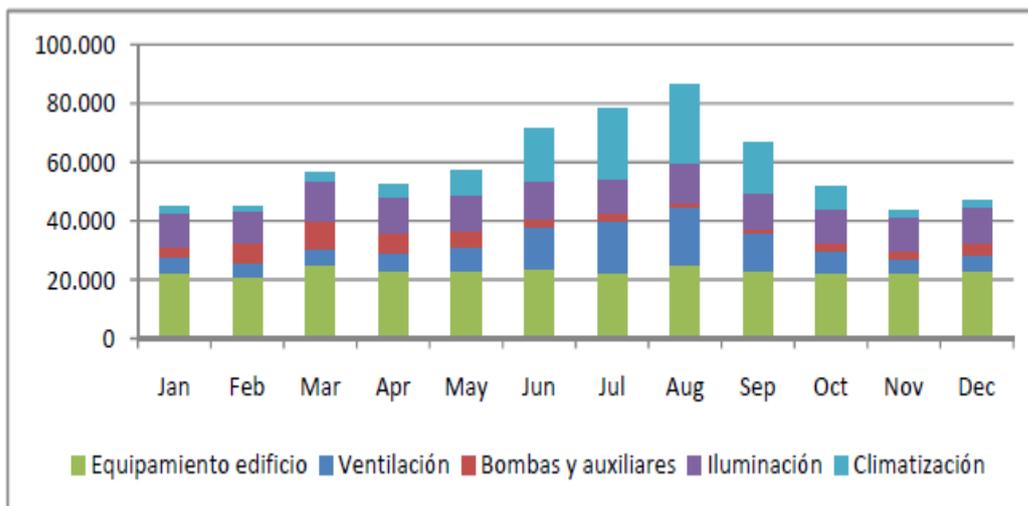


Figura 38: simulación de energía consumida en un edificio base [10]

En la figura 39 se muestran los consumos desglosados de la simulación del edificio LUCIA.

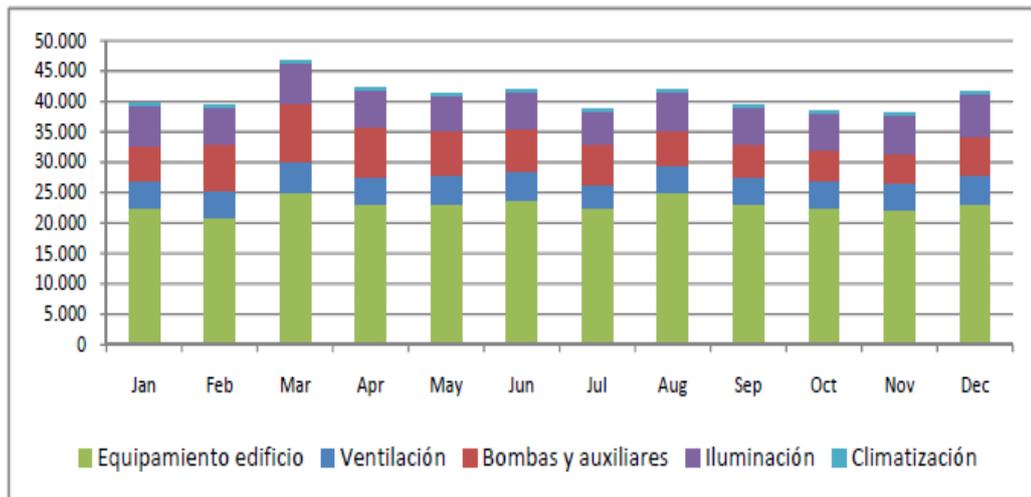


Figura 39: simulación de energía consumida del edificio LUCIA [10]

En la simulación se han mantenido los consumos del mes de agosto de los equipos del edificio, cuando es el mes en el que no hay ocupación.

También salta a la vista lo plana que es la demanda en la simulación del LUCIA frente al edificio de referencia y también frente a los consumos reales del LUCIA, cuya tendencia se asemeja más a la del edificio de referencia, aunque esto puede deberse a que los datos de un año no están completos.

Los efectos de todas las medidas descritas anteriormente se han calculado en la simulación y los resultados son los siguientes:

- Efecto autosombreado: Según las simulaciones realizadas, supone una reducción de la demanda de refrigeración de un 54%
- Pozos de iluminación: Amplían la iluminación natural en el interior y suponen una reducción en torno al 50% de demanda en iluminación
- Efecto microclima: La cubierta verde, la vegetación y el aparcamiento abierto con pavimento filtrante reducen el efecto de isla de calor y contribuyen a crear un microclima favorable.
- Fuerte aislamiento: Se le puede atribuir una reducción de la demanda en calefacción del 70%.
- Control de la iluminación / Sistema DALI: Supone un ahorro de 6,33 kW/m²año y reducción de emisiones de 4,11 kgCO₂/m²
- Otras: Ascensores eficientes, control de la climatización, recuperador de calor.
- Fotovoltaica. La fachada sur de doble piel se estimó que tuviese una producción anual de 5.000 kWh y los lucernarios 5.500 kWh, lo que supondría un ahorro anual de 3.570 euros.

9.5. Producción fotovoltaica

La producción fotovoltaica se ha medido tras la instalación y los resultados han llamado bastante la atención:

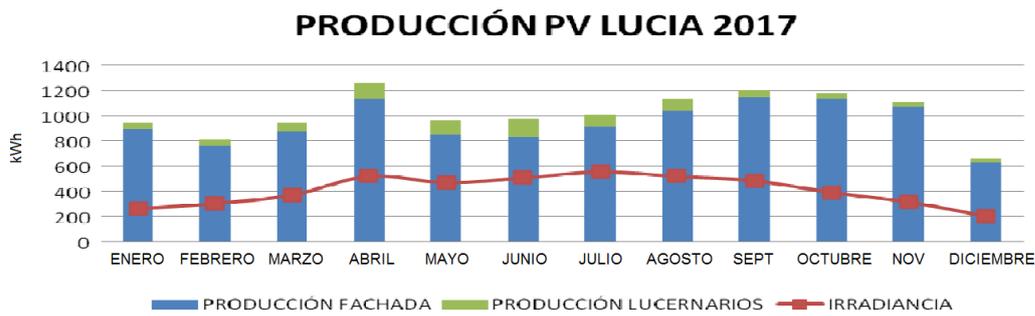


Figura 40: producción fotovoltaica del edificio LUCIA en 2017 [11]

Los lucernarios han producido bastante menos que la fachada sur cuando la potencia instalada es semejante. En 2017 la fachada sur generó 11280 kWh, un 92,41% del total generado de 12206.3 kW.

Las estimaciones de generación eran similares, pero quizá no se tuvo en cuenta que en los lucernarios se da prioridad a la iluminación y por ello se utiliza un vidrio más transparente y con menor rendimiento que la tecnología utilizada en la fachada sur.

No solo el rendimiento de los lucernarios ha sido menor del esperado, también el rendimiento de la fachada norte ha sido mayor del que se obtuvo en la simulación.

La generación no es mayor en los meses de verano, que es lo habitual en las instalaciones fotovoltaicas convencionales. Esto se debe al ángulo de incidencia del sol sobre los módulos.

Normalmente se diseñan las instalaciones para que en los meses de verano se pueda aprovechar más la energía solar, pues es cuando más está disponible. Sin embargo, la integración de los paneles en la estructura de un edificio es muy limitante, tienen que estar paralelos a la pared, a 90° del suelo. Hay que tener en cuenta que su función en el edificio no es únicamente la de generar electricidad, como se ha explicado anteriormente, contribuye al sombreado, reduciendo las necesidades de climatización al mismo tiempo que permite el paso de iluminación natural.

También hay que tener en cuenta estas otras funcionalidades cuando se evalúa la producción de electricidad y se compara con los consumos, pues está muy lejos de cubrir la demanda de energía eléctrica del edificio.

10. Conclusiones

10.1. En cuanto a los consumos en iluminación

En primer lugar, tras hacer el análisis de las medidas realizadas con los analizadores Fluke, se puede afirmar que los valores simulados se acercan bastante a los valores reales, teniendo en cuenta el porcentaje de ocupación del edificio.

Los sistemas utilizados de regulación de intensidad, detectores de iluminación y de presencia suponen un ahorro de entre un 45% y un 50% de energía. Estos equipos se amortizarían en 9-10 años teniendo en cuenta el precio del kWh desde 2016 y en mucho menos tiempo con el precio actual de la energía. Son pocos años dentro de lo que es la vida útil del edificio.

Se puede afirmar entonces que la regulación automática de la iluminación juega un papel importante en la eficiencia energética del edificio y que la inversión inicial se compensa con creces en términos económicos y medioambientales.

10.2. En cuanto al reparto de fases del edificio

Los resultados muestran un desequilibrio en los consumos medidos. Los consumos de la planta baja se han medido en su totalidad, mientras que en las plantas superiores se han medido principalmente los consumos de los equipos que se consideraba que más podían estresar la red.

En la planta baja las cargas de las fases B y C son bastante similares, mientras que la fase A es bastante más mayor, en torno a un 60% más que la carga de la fase B. La carga en la fase C es idéntica a la de A en las primeras horas de la mañana y durante el resto del día se mantiene en los niveles de B. Los mínimos que se pueden apreciar durante la noche son más bajos en la fase C e iguales en A y B. Esto significa que en la fase C hay conectados menos equipos pasivos, como el alumbrado de emergencia.

En la planta primera sí que hay un desequilibrio mayor. La fase C tiene una carga bastante por encima de las cargas de A y B y es constante durante las 24h del día. No es excesivamente preocupante pues los valores no son demasiado altos y no se han podido medir todos los consumos de la primera planta para evaluar la carga en su totalidad.

Por último en la planta segunda se observa una gran variabilidad de carga a lo largo de todo el día. Se han medido expresamente las zonas con cámaras frigoríficas, cámaras de congelación y cámaras de conservación que se utilizan con frecuencia en la segunda planta, destinada a laboratorios. Los datos muestran una diferencia considerable de carga entre la fase B y las fases A y C. Las tres fases tienen consumos durante todo el día, lo cual es esperable al tratarse de cámaras frigoríficas y congeladores.

A la vista de los datos puedo afirmar con seguridad que la fase B está descompensada con respecto a las fases A y C. Hasta cierto punto se debe al porcentaje de ocupación del edificio, pero lo cierto es que los consumos que más acentúan las diferencias entre la fase B y las fases A y C son constantes durante la noche, cuando el porcentaje de ocupación del edificio no afecta para nada a la potencia que se demanda de la red.

Algunos ajustes sencillos como cambiar los enchufes de algunas de las cámaras frigoríficas pueden permitirnos equilibrar mejor las fases. Se pueden buscar los enchufes en los planos y luego en el cuadro comprobar a qué fase están conectados.

10.3. En cuanto a los consumos de cada espacio

Teniendo en cuenta la ocupación, el uso y la potencia instalada en los espacios, no se han encontrado apenas anomalías, los resultados son mayormente los esperados, con una excepción: el espacio B16. Inicialmente la planta baja se pensó para oficinas, pero el equipo que está en este espacio tiene un montaje complejo y está formado por varios módulos que no son fáciles de instalar en plantas superiores. De todas formas, el edificio LUCIA está pensado para poder adaptarse fácilmente a este tipo de necesidades.

También mencionar el RACK. Como decía, es un espacio destinado a servidores, que están en funcionamiento todo el día y que tienen necesidades especiales de ventilación y refrigeración.

En la planta primera el trabajo estaba concentrado en muy pocos espacios y la mayor parte de la planta estaba desocupada. Muchos de los consumos casi imperceptibles son de equipos pequeños como básculas que tenían en otros espacios que solo se usaban ocasionalmente.

En la planta segunda destaca el consumo de la sala blanca. Esta planta tenía mayor ocupación y el trabajo estaba repartido en más espacios, pero a excepción de la sala blanca, los consumos no destacan.

10.4 En cuanto a la simulación de consumos y los consumos reales

Resulta imposible realizar una comparación realista cuando el edificio tiene apenas un 50% de ocupación, pero puedo afirmar que muchas de las estimaciones han sido bastante acertadas.

Lo que resulta llamativo es que la simulación del edificio LUCIA tiene una curva de demanda bastante plana a lo largo de todo el año, sin embargo la curva de consumo real se parece más a la del edificio de referencia, no en valores, sino en forma. Los meses de verano la demanda es mayor que en los meses de invierno. De nuevo, echo la culpa de esto a la escasa ocupación del edificio. Los espacios sin ocupar no tienen las mismas exigencias que los espacios ocupados, pero sí que tienen gastos por el mero hecho de formar parte del edificio. Los pasillos, si bien no se utilizan lo mismo entre los espacios sin

ocupación, sí que tienen algún consumo ocasional. Y sobre todo las necesidades de climatización y calefacción, la consigna para los espacios sin ocupar es menos exigente que para los espacios ocupados, pero también tienen sus necesidades energéticas aunque no se usen.

En resumen: tener espacios sin ocupar supone un coste energético que no se aprovecha.

10.5. En cuanto a la generación fotovoltaica

Es la gran sorpresa del edificio LUCIA. La potencia esperada es un 10% menor que la potencia que se obtiene en la práctica y además no como se esperaba. Los lucernarios han resultado ser mucho menos eficientes de lo que se había calculado y la fachada solar sin embargo produce bastante más, compensando a los lucernarios. Se esperaba que los lucernarios generasen 5500kWh anuales y la fachada 5000kWh anuales, pero de los 12206kWh generados en 2017, la fachada sur generó el 92%.

De cara a la instalación de paneles en edificios, cabe destacar que los meses de verano no son los mejores en cuanto a generación cuando estás obligado a colocar los módulos fotovoltaicos a 90° del suelo. Esto supone una desventaja, ya que es en verano cuando las necesidades de refrigeración son mayores y la generación fotovoltaica ayudaría a compensarlas.

Pero es necesario entrar a valorar de qué otras maneras contribuyen los paneles en el ahorro y eficiencia energéticos.

Los lucernarios proporcionan luz natural, reduciendo el consumo de electricidad destinada a iluminación y aumentando el confort.

La fachada fotovoltaica proporciona sombra, que reduce las necesidades de climatización en verano a la par que genera electricidad.

Estas ventajas no son solo económicas, también medioambientales.

10.6. Conclusiones finales

La energía fotovoltaica no es el sistema más importante a la hora de garantizar el consumo cero en un edificio de estas características.

La iluminación, aunque también importante, tampoco lo es.

La biomasa es la principal encargada de la producción de energía eléctrica y térmica, pero genera un excedente de calor para las necesidades del edificio.

Todos los sistemas y medidas de eficiencia energética tienen algo en común: la reducción de las necesidades de calefacción y climatización.

Cuando hablaba de la energía fotovoltaica, era imposible no hablar del efecto que tiene el sombreado a la hora de mantener la temperatura interior y reducir consumos en climatización.

Cuando hablaba de iluminación natural, también tenía que hacer mención a cómo los huecos se diseñaron de tal forma que dejaran entrar la luz al mismo tiempo que producían sombra. De nuevo, para reducir las necesidades de climatización.

Cuando describía los edificios de consumo cero, hacía mención a edificios sin generación de energía que reducían los mayores consumos mediante aislamientos térmicos para evitar pérdidas de calor.

Es por eso que considero todas las medidas de conservación de la temperatura interior lo más importante para garantizar el consumo 0 en un edificio: forma compacta del edificio, uso de materiales aislantes, sistemas de iluminación natural, diseño de los huecos y orientación del edificio.

10.7. Líneas futuras de trabajo

En vista de la influencia que tiene la ocupación del edificio, sería interesante realizar medidas cuando el porcentaje de ocupación sea próximo al 100% para volver a hacer un estudio y comparar los resultados. En esta ocasión también sería interesante medir los consumos de las otras dos plantas y observar si hay diferencias notables entre los consumos de iluminación de los laboratorios y los de las oficinas. Las consignas que se aplican para la regulación automática de la intensidad de las luminarias son diferentes, proporcionando más luz en los laboratorios pues las necesidades son mayores. Sería interesante ver si el ratio se cumple en la realidad o entra en juego el factor humano.

Dado que cambiar la instalación eléctrica no solo es más laborioso, costoso y complicado, sino que además es necesario que el edificio esté parado, se podría plantear un plano señalando a qué fases pertenece cada toma de corriente para así tratar de equilibrar las cargas de la red. Es necesario informar a los trabajadores, pues son ellos los que van a dar uso a las instalaciones.

También puede ser interesante medir los consumos de los sistemas de climatización durante todo el año y especialmente en los meses de verano.

Por último, desde la recogida de medidas hasta la fecha actual, los medidores integrados en la instalación han tenido que recoger nueva información que seguramente sea muy útil, además de haberse colocado correctamente aquellos medidores que estaban al revés y que no registraron datos, proporcionando nueva información para analizar.

11. Bibliografía

- [1] <http://edificio-lucia.blogspot.com/> (Septiembre 2020)
- [2] DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios, Boletín Oficial del Estado, mayo 2010, España (Febrero 2022)
- [3] Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. Solar energy materials and solar cells, Mariska J. De Wild-Scholten, Solar Energy Materials and Solar Cells}, vol. 119, pages={296-305}, 2013 (Febrero 2022)
- [4] <https://www.treehugger.com/architecture-goes-after-embodied-carbon-and-very-big-deal-4852211> (Febrero 2022)
- [5] <https://astrummx.com/como-funcionan-paneles-solares/> (Marzo 2022)
- [6] https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_en_Espa%C3%B1a (Marzo 2022)
- [7] <https://www.onyxosolar.es/> (Marzo 2022)
- [8] <https://www.energias-renovables.com/> (Marzo 2022)
- [9] <https://www.ree.es/es> (Marzo 2022)
- [10] Simulación Equest Edificio LUCIA, Instituto de la construcción de Castilla y León (Marzo 2022)[8]
- [11] Análisis de la contribución fotovoltaica en un edificio de 0 emisiones, Universidad de Valladolid (Marzo 2018)
- [12] ANÁLISIS ENERGÉTICO DE DOBLE PIEL FOTOVOLTAICA. EDIFICIO “LUCÍA”, PICH-AGUILERA (Abril 2022)
- [13] Separata proyecto de instalación eléctrica en baja tensión edificio de cogeneración e instalación fotovoltaica para edificio de experimentación (LUCIA), Manuel Álvarez Oliver, Colegio oficial de ingenieros técnicos industriales de Valladolid (Abril 2022)
- [14] Edificio de energía CERO: comenzando por la arquitectura. Caso práctico del edificio LUCIA de la Universidad de Valladolid, Francisco Valbuena García, María Jesús González Díaz. (Abril 2022)
- [15] Biomasa en España. Generación de valor añadido y análisis prospectivo, Margarita de Gregorio (Abril 2022)
- [16] Energy Analysis at a Near Zero Energy Building. A Case-Study in Spain (Javier M. Rey Hernández, Eloy Velasco Gómez, Julio F. San José Alonso, Ana Tejero González y Francisco J. Rey Martínez) (Abril 2022)
- [17] <https://observatoribiomasa.es/informes/casosExisto/lucia> (Abril 2022)
- [18] SISTEMA DE COGENERACIÓN CON ASTILLA DE BIOMASA INSTALADO EN EL EDIFICIO LUCIA DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID, Construction21 (Mayo 2022)
- [19] <https://www.energy.gov/eere/energy-efficiency> (Junio 2022)
- [20] <https://www.eesi.org/topics/energy-efficiency> (Junio 2022)
- [21] <https://definedelectric.com/efficient-energy-use/> (Junio 2022)
- [22] <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/overview> (Julio 2022)
- [23] <https://www.cge.cl/consejos-para-llevar-la-eficiencia-energetica-al-hogar/> (Julio 2022)
- [24] <https://gbce.es/certificacion-verde/> (Julio 2022)
- [25] <https://www.usgbc.org/leed> (Julio 2022)

- [26] https://ec.europa.eu/info/news/focus-improved-eu-energy-label-paving-way-more-innovative-and-energy-efficient-products-2021-lut-16_es (Julio 2022)
- [27] <https://dinuy.com/wp-content/uploads/2021/10/TARIFA2020-1.pdf> (Julio 2022)
- [28] <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/informe/precio-luz> (Julio 2022)
- [29] <https://www.se.com/es/es/product/A9MEM3150/medidor-iem3150-63-a-clase-1-modbus/?range=61273-iem3000-series> (Julio 2022)

12. Anexos

ANEXO A. Plano alumbrado planta baja (color A0)

ANEXO B. Inventario Iluminación Planta Baja.

ANEXO C. Esquemas eléctricos IV plano 6 (B-N A1)

ANEXO D. Medidas de potencia en iluminación en planta baja

ANEXO D. Medidas de potencia en iluminación en planta baja

ANEXO F. Medidas PB 2017

ANEXO G. Medidas PP 2017

ANEXO H. Medidas PS 2017

ANEXO I. Medidas PSot 2017