

CENTRO INTEGRAL DEL TRANSPORTE DE METRO DE MADRID

Resumen Proyecto: El Centro Integral del Transporte es un complejo situado en el centro de Madrid, en el antiguo depósito de Metro de Plaza de Castilla. Está compuesto por cuatro edificios, un aparcamiento y un gran jardín urbano en superficie. Desde sus orígenes Metro de Madrid lo concibió como un complejo sostenible y eficiente, así se solicitó en el concurso de arquitectura y así se proyectó por el equipo ganador, Jardín 1. Si bien el proyecto era algo anterior a la normativa EECN, Metro de Madrid quiso que los edificios cumplieran con la futura normativa. La gestión del proyecto es compleja, en gran parte por la falta de precedentes, y por las exigencias de la propia explotación en cuestiones de energía, de seguridad y de conexión con la infraestructura.



Figura 1. Vista del conjunto de edificios y jardín, desde una torre Kío.

DATOS GENERALES PROYECTO	
Emplazamiento:	Avenida de Asturias s/n, Madrid.
Uso Característico Edificio:	Logística del transporte
Zona Climática:	Zona D3 (CTE)
Obra Nueva / Rehabilitación:	Obra Nueva
Superficie Total Construida:	23.297m2c
Fase del Proyecto:	En construcción

MEMORIA DESCRIPTIVA

Agentes del Proyecto

- Propiedad: Metro de Madrid S.A.
- Projectistas: Jardín 1 UTE. Lourdes Carretero, Andrés Perea Ortega, Julio de la Fuente, Iván Carbajosa.
- Dirección de Obra: Lourdes Carretero, Andrés Perea Ortega, Julio de la Fuente, Iván Carbajosa y Manuel Leira.
- Dirección de Ejecución: Carrionat. Jorge Carrión.
- Otros Técnicos Intervinientes: Silvia Acera (arquitecta), Pasquale Ludovico (arquitecto).
- Otros Agentes: Valladares Ingeniería (estructuras e instalaciones), Batlle I Roig (Paisajismo), Safecor (Coordinación Seguridad y Salud), Grupo CPV (Control de Calidad), Architectural Green Method-Ana García y Manuel Macías (certificación ambiental), Estudio Medem (estudio geotécnico), Ingitep (levantamiento topográfico).

Antecedentes

Metro de Madrid tuvo como máxima a cumplir, desde sus orígenes, que el Centro Integral del Transporte fuera un complejo sostenible y de bajo consumo energético. Esto se plasmó en los pliegos (se explica con mayor detalle en la Comunicación) y la propuesta ganadora del concurso, con lema “Jardín 1”, dio la mejor respuesta en todo lo que se solicitaba:

- Carácter representativo.
- Espacios funcionales y confortables para los usuarios, además de flexibles, para permitir modificaciones en puestos de trabajo, despachos y dependencias, con la mínima incidencia en el cambio de instalaciones.
- Solución eficiente que:
 - o integrara energía, sistemas portantes, climatización, luz natural, orientación, gestión del agua y el espacio,
 - o priorizara las estrategias de diseño en favor de un bajo aporte energético y reducción de recursos naturales,
 - o considerara la durabilidad de la edificación y urbanización a lo largo de su vida útil.
- Tener presente la Historia de la Compañía con su legado patrimonial y transmitir un ambiente sincero, cercano y de confianza a la sociedad.

En cuanto a criterios ambientales, se solicitó obtener una calificación A, cumplir con los estándares EECN y acercarse, lo máximo posible, a los estándares Passiv Haus o similar, y a los requisitos de VERDE/Leed/Breeam o similar.

Descripción del Proyecto

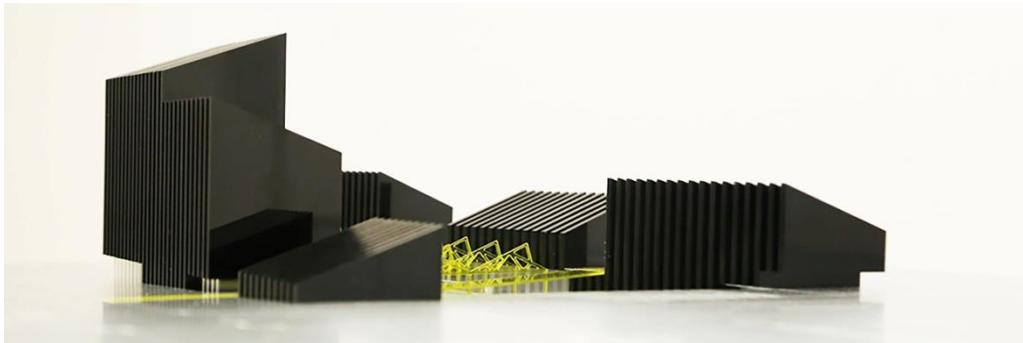


Figura 2. Maqueta del concurso organizado con el COAM

El gran desnivel de la parcela, característica de muchos depósitos ferroviarios, permite que, de los 48.000m²c, casi la mitad queden bajo las rasantes de las calles, y únicamente emerjan unos volúmenes acordes con la escala de los edificios colindantes. El conjunto tiene una imagen potente y reconocible en la ciudad: unos prismas en color negro con cubiertas inclinadas que le dan un carácter industrial muy característico, y un gran jardín urbano en el centro que evoca su pasado ferroviario como cochera del metro.

El primero que se está construyendo es el CTA (Centro Técnico y Administrativo), la sede de Metro de Madrid. Este edificio es el más grande, tiene una base rectangular que se levanta en dos cubiertas inclinadas en sentidos opuestos, y es el que marcará las directrices de aprendizaje para alcanzar los objetivos EECN en el complejo. Con una superficie construida de unos 23.300m², dará servicio a unos 1.000 empleados.

Prestaciones del Edificio

La estrategia energética planteada en el edificio desde el propio concurso no se quedó únicamente en un consumo energético nulo en su fase de uso, sino que todos los sistemas (estructurales, constructivos, instalaciones, diseño arquitectónico) se plantearon orientados hacia la reducción de la energía embebida en los materiales, reducción de la demanda con el diseño de la envolvente y el factor de forma, empleo de estrategias de atemperamiento para climatización, atemperamiento de la envolvente térmica mediante vegetación, autogeneración de energía y optimización de equipos de instalaciones. La reducción de la huella medioambiental, las estrategias pasivas y activas se consiguen en prácticamente todos los sistemas.



Figura 3. Vista del edificio del CTA, y acceso al jardín desde la calle Magnolias

El jardín Metro

El jardín central es un elemento importante en la propuesta de sostenibilidad, eficiencia energética y recuperación de la imagen ferroviaria que había en el lugar.

El agua pluvial se filtra mediante zanjas y pozos de infiltración que sirven como drenaje propio del jardín y reducen la necesidad de riego. El agua que circula en una vía acequia refresca el ambiente, crea vida y verla nos relaja; esta lámina de agua sigue la huella de las vías e incorpora vegetación acuática. Las gradas verdes de acceso al jardín tendrán vegetación y pavimentos drenantes para permitir la infiltración de agua y evitar el sobrecalentamiento.

Para las especies vegetales se tuvo en cuenta su adaptación agroclimática local, priorizando las especies autóctonas. También se buscó una máxima biodiversidad, con presencia de flores todo el año, para atraer, alimentar y cobijar a la máxima fauna posible, y con una vegetación en parterres que favoreciera la creación de biotopos. El arbolado para regular la humedad, almacenar CO₂ y oxigenar el aire, así como generar espacios de sombra y depurar agua de lluvia.

Asimismo, se buscó minimizar los residuos. La plataforma va en cota 723,5, cota actual de la parcela, reduciendo el volumen de tierras a manejar. En la premisa de reducción y reciclaje de materiales, se reutilizan elementos históricos de las cocheras antiguas para los acabados finales, tales como mobiliario urbano, mástiles, luminarias, etc.

En términos de movilidad, se incorporan aparcamientos de bicicletas para potenciar este medio de transporte y así reducir el ruido y la polución en el barrio, generadas por el tráfico rodado.

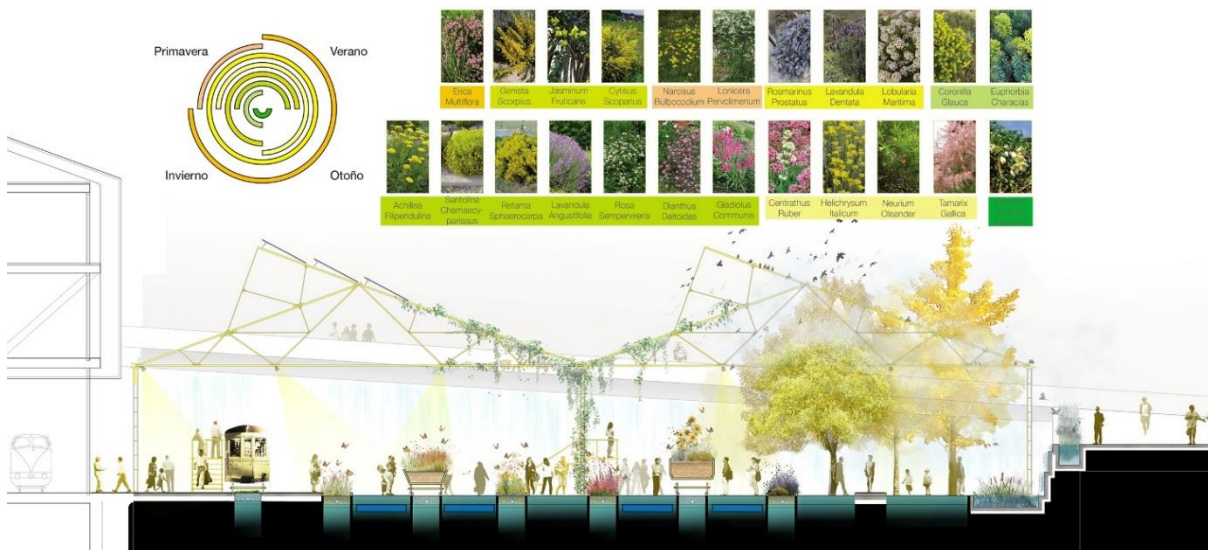


Figura 4. Sección del jardín central, espacio que quiere evocar el pasado ferroviario del recinto

MEMORIA CONSTRUCTIVA

La clave fundamental de este proyecto es la convivencia entre arquitectura, construcción, eficiencia espacial, estructuras e instalaciones. Los edificios fueron cobrando forma bajo la mano de estas cinco protagonistas, añadiendo además otros dos ingredientes: un fácil mantenimiento y absoluta austeridad en el presupuesto.

Esta última directriz marcó una clara estrategia en la arquitectura y la construcción, donde el principio de “economía” se trabajó diferenciando entre:

- Una alta calidad de los elementos esenciales, esto es, envoltentes, estructura e instalaciones,
- Una carácter austero y neutro, pero calidad suficiente, para el resto de componentes de arquitectura y paisajismo.

Algunas de las medidas de alta calidad que se proponen a nivel de arquitectura van orientadas al mantenimiento, como es la ejecución de una galería perimetral con que se envuelven los espacios bajo rasante (cámaras laterales y forjado sanitario registrables). Un mantenimiento fácil e inmediato para reparación, reposición o ampliación de todos los sistemas fue condición primordial. Otras medidas, en este caso ambientales, responden a los espacios de trabajo, donde se cuida con detalle que los entornos acústicos, formales y lumínicos sean de excelencia.

Sustentación del Edificio y Sistema Estructural

La estructura se concibió como un elemento integrador de proyecto y no como un elemento independiente. Con una estructura de pilares en el exterior, se permiten unos espacios interiores de calidad. Con sistemas prefabricados, se reduce el peso de la estructura, la huella de producción y desplazamiento de materiales de construcción.

A través de un conjunto de losas y pilares (y puntualmente muros) se transmiten las cargas verticales desde su origen hasta la cimentación y el terreno. En general, los pilares se distribuyen cada 2 m como elementos no sólo estructurales, sino que forman parte de la protección al soleamiento de las fachadas, hecho que conllevará una reducción significativa de la demanda energética; estas costillas negras prefabricadas de hormigón en fachadas norte y sur también marcarán la identidad de los edificios. La excepción es la planta baja, con pilares metálicos cada 8 metros. Los forjados sobre rasante tienen losas prefabricadas en T con perforaciones que permiten el paso de instalaciones: estructura e instalaciones quedan vistas, creando una imagen potente. Los vanos internos (dentro de la pastilla central del núcleo) son losas macizas de hormigón armado para permitir una distribución amplia y libre de instalaciones.

El forjado de sótano en contacto con el terreno es tipo cavity, de grandes dimensiones. Se compone de un forjado en contacto con el terreno, unos muros de apoyo cada 8m y losas alveolares pretensadas apoyadas, generando un espacio abierto para el paso de instalaciones, ventilación y mantenimiento, además de evitar la entrada de agua desde terreno.

Sistemas de Envolventes y Acabados

Para el sistema envolvente y la simulación energética, además de la orientación de las fachadas, se realizó un estudio del sombreado de los edificios colindantes.

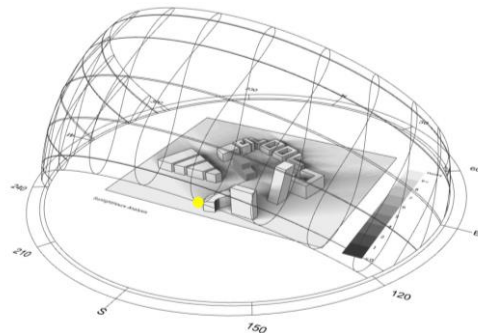


Figura 5. Estudio de de soleamiento para solucionar la envolvente y la sombra proyectada

En la envolvente se buscaron altas prestaciones térmicas. Desde el propio concurso se evitó el muro cortina, introduciendo petos opacos; la altura de los petos era distinta en función de la orientación, petos más bajos y ventanas más altas al norte y petos más altos y ventanas más bajas al sur. Asimismo, la composición de las fachadas varía según su orientación: las fachadas norte y sur tienen una composición, y los testeros este-oeste, otra. Además, se diferenció el tratamiento en planta baja y la zona de instalaciones en el ático. Siguiendo una secuencia de abajo a arriba, encontramos:

1. Planta baja (retranqueada): fachada de vidrio de contacto del edificio con la cota cero. Fachada acristalada con perfilería de aluminio lacado y vidrios laminares de seguridad, con una familia principal de montantes con tapeta en U invertida y una familia secundaria de juntas ocultas con sellado de silicona que aparece solo en las zonas de doble altura. Las puertas principales de acceso son puertas pivotantes con carpintería de acero inoxidable oculta y vidrio templado.
2. Plantas superiores, fachadas norte y sur. Además de las costillas estructurales de hormigón prefabricado que quedan separadas de la fachada gracias a unos conectores estructurales, tenemos, en términos generales, una fachada acristalada con dos zonas:
 - Zona de visión de los espacios de trabajo: compuesta por doble acristalamiento con vidrio exterior incoloro templado de control solar, y un vidrio interior laminar de seguridad con aislamiento acústico.
 - Zona ciega del peto: compuesto por aislamiento de lana mineral y acristalamiento monolítico de 8mm.
3. Plantas superiores, fachadas este y oeste (testeros). Revestimiento de chapa plegada de aluminio y montantes revestidos de composite con acabado exterior de aluminio. Hay pocos huecos para minimizar el deslumbramiento y las ganancias energéticas por radiación solar: ventanas balconeras practicables para ventilación y mantenimiento, protegidas con un peto de vidrio laminar termoendurecido.
4. Planta instalaciones en la coronación del ático: fachada permeable de chapa perforada para ventilación.

DATOS CONSIDERADOS EN LA SIMULACIÓN	PARTES OPACAS			PARTES ACRISTALADAS	
	Fachada	Techo	Suelo	Cara Norte, Este y Oeste	Cara Sur
Transmitancia térmica (W/m2K)	0,177	0,209	0,652	1,099	1,099
Reflectancia	0,08	0,08	-	-	-
SHGC	-	-	-	0,599	0,333
Transmitancia visible	-	-	-	0,781	0,572

Figura 6. Datos considerados en la simulación energética.

Sistemas de Acondicionamiento e Instalaciones

Se ha optó por un sistema a cuatro tubos de caudal variable de agua: las diferentes zonas del edificio se climatizan con vigas frías a cuatro tubos, y el aporte de aire primario de los climatizadores se realiza a través de las propias vigas.

La Sala Polivalente, que puede disponer de un alto grado de exigencia, se dota con un climatizador independiente, el cuál, además de aportar aire primario, vencerá las cargas térmicas.

Calefacción

La central de producción de calefacción y agua caliente se compone de un módulo tipo rooftop compuesto por dos calderas de condensación (ubicado en cubierta) y dos bombas de calor geotérmicas. La central de producción de agua caliente dará servicio a dos circuitos, uno de alta temperatura para el ACS y otro de baja temperatura para la climatización (suministro a climatizadores y vigas frías). Cualquier elemento de la central de calor tendrá la capacidad de dar servicio a cualquiera de los dos circuitos en caso de que fuese necesario por pico de demanda térmica en cualquiera de ellos. El circuito de baja temperatura también dará apoyo al de ACS con un precalentamiento del mismo.

Refrigeración

La central de producción de frío está compuesta por dos enfriadoras aire-agua ubicadas en cubierta y las dos bombas de calor geotérmicas ubicadas en sótano -2. Dará suministro de agua enfriada a los climatizadores y a las vigas frías a través de las tuberías del circuito de agua fría. El sistema utiliza compresores tipo scroll controlados por inverter, lo que implica elevados coeficientes de rendimiento. En cuanto a las unidades interiores, las estancias de plantas sobre rasante van con vigas frías a cuatro tubos para proporcionar frío o calor. Las estancias de los sótanos cuentan con unidades interiores VRF de tipo cassette. Los racks de planta cuentan con unidades interiores VRF de tipo pared.

Ventilación

Los climatizadores de aire exterior incluyen recuperador de tipo rotativo que mejora las condiciones del aire que entra a la batería. Además, contarán con nivel de filtración según RITE para asegurar la calidad de aire exterior. Todos los filtros estarán dotados de presostatos para indicar su estado de ensuciamiento.

Iluminación

Las luminarias seleccionadas en proyecto responden a tecnología LED, consiguiendo un ahorro en consumos de iluminación respecto a una iluminación convencional, además de ahorrar en labores de mantenimiento por existir un menor número de reposición de lámparas. Además, contará con un sistema de control digital con sistema de comunicación DALI. Este sistema permitirá:

- Flexibilidad. Si se decide compartimentar no es necesario recablear el sistema, sólo reprogramar los módulos de control de alumbrado.
- Regular las luminarias al aporte de luz natural y crear distintos tipos de alumbrado según sean las necesidades.
- Ahorro en el mantenimiento de la instalación. Se introducirán los datos de número y potencia de cada una de las luminarias, se crearán históricos de horas de funcionamiento, potencia y energía consumida, y se obtendrá información fiable del envejecimiento de los elementos y datos de consumos en cada zona.
- Ahorro energético en horarios nocturnos, ya que permite una regulación desde el 100 % al 3% de intensidad al disponer de balastos digitales.
- Ahorro en climatización. La potencia que se ahorra en iluminación es aporte térmico que no realizamos.

Automatización y Control

El edificio cuenta con un sistema cuya misión es gestionar de manera centralizada las instalaciones electromecánicas presentes en el edificio, lo cual supone tenerlas todas bajo la tutela de un único sistema que:

- Permita la supervisión y el control, específicos de cada una de ellas.
- Posibilite el intercambio de todo tipo de informaciones y actuaciones entre instalaciones.

El Sistema de Gestión del Edificio suministrará información de los equipos e instalaciones de climatización y ventilación, contraincendios, electricidad, control del consumo de energía eléctrica, etc.

Energías Renovables in situ o en el entorno

Sistema de geotermia

Compuesto por dos bombas de calor geotérmicas (GHP) ubicadas en sótano -2, próximo a los sondeos que constituirán el bucle hidráulico. Los sondeos serán verticales, de 150 metros, y el número total asciende a 56.

La producción geotérmica alimentará a los colectores de frío o calor, de forma que su energía se aprovechará en la climatización del edificio y en el precalentamiento del ACS. Para la certificación, se introdujeron estos datos en la simulación, bajo una serie de criterios. En relación con la geotermia, se simularon 3 lazos: Frío, Calor y Geotermia. En los elementos terminales, se simularon baterías de los climatizadores a 4 tubos y baterías de las vigas frías a 4 tubos.

SIMULACIÓN		
LAZO PRIMARIO / SECUNDARIO FRÍO (se proyectan 4 equipos)	LAZO PRIMARIO / SECUNDARIO CALOR (se proyectan 4 equipos)	LAZO GEOTÉRMICO (se proyectan 4 equipos con el intercambiador geotérmico de 56 sondeos)
-2 GHP condensando (272 kW c.u.)	-2 GHP evaporando (317 kW c.u.)	-2 GHP evaporando (317 kW c.u.)
-2 enfriadoras condensadas aire (637 kW c.u.)	-2 calderas (280 kW c.u.)	-2 GHP condensando (251 kW c.u.)
<i>**Las bombas del primario se han simulado a caudal constante y las del secundario a caudal variable.</i>	<i>**Las bombas del primario se han simulado a caudal constante y las del secundario a caudal variable.</i>	<i>**Estos dos equipos son los mismos con inversión hidráulica, pero para poder representarlos en el modelo de Energy plus se han duplicado funcionando sólo los dos correspondientes en temporada de calentamiento o temporada de enfriamiento.</i>

Figura 7. Lazos simulados para la instalación geotérmica

Instalación fotovoltaica

Como cumplimiento de los criterios EECN es necesaria la instalación de 156 kWp. Con la potencia de 156 kWp instalados obtendremos una energía mensual estimada de la planta de:

Mes	kWh/año	Mes	kWh/año	Mes	kWh/año
Enero:	11.900 kWh	Mayo:	24.000 kWh	Septiembre:	21.700 kWh
Febrero:	14.600 kWh	Junio:	25.700 kWh	Octubre:	17.600 kWh
Marzo:	20.800 kWh	Julio:	27.600 kWh	Noviembre:	12.500 kWh
Abril:	21.300 kWh	Agosto:	25.900 kWh	Diciembre:	11.300 kWh
Total anual: 234.900kWh					

Esto nos da una contribución fotovoltaica de 11,5 kWh/m2. Se emplearán 512 módulos solares fotovoltaicos monocristalinos que proporcionan una potencia de 305Wp cada uno de ellos.

PRESUPUESTO Y VIABILIDAD ECONÓMICA

Desde sus orígenes, el proyecto contó con un presupuesto limitado acorde al rango de PEM de mercado para este tipo de edificios (1.121€/m2) y había que ajustarse al mismo. Por otro lado, la ejecución se está acometiendo por fases, cuestión que facilita la construcción del complejo. Gran parte de la viabilidad económica se apoya en una re-estructuración patrimonial, destacando los siguientes aspectos:

- La construcción del CTA se acomete parcialmente con la venta de los edificios y parcelas de la actual Sede Social.
- Un estudio económico realizado muestra los ahorros derivados de la agrupación de edificios: por un lado, el aumento de productividad que supone la unificación del personal (en la actualidad disperso en ocho edificios en Madrid) y por otro lado, los desplazamientos que deja de realizar el personal entre dichos edificios.
- El ahorro al dejar de abonar el alquiler de uno de esos ocho edificios.
- El ahorro debido a la zonificación del nuevo diseño, la autoproducción y mejora de la eficiencia energética.

CUMPLIMIENTO DB-HE AHORRO DE ENERGÍA

La normativa vigente durante la redacción del proyecto fue la del CTE-2013. Para dar cumplimiento a dicha normativa se empleó la herramienta HULC, cuyo resultado fue una calificación energética de proyecto de clase A, con:

Demanda Calefacción:	7,41 kWh/m2año
Demanda Refrigeración:	18,67 kWh/m2año
Emisiones CO2 Edificio:	10,13 kgCO2/m2año

CUMPLIMIENTO EECN

En previsión del cambio de normativa, se solicitó en pliegos dar cumplimiento a EECN, con la información disponible en ese momento. Se establecieron unas consideraciones de partida sobre las que se introdujeron cambios, se realizó la simulación con EnergyPlus y cálculos de radiación con la herramienta Radiance 5.0.

Condiciones del edificio	Instalaciones consideradas en nZEB	Consumos	
<div>- Temperatura interior entre 25 °C y 21°C</div> <div>- Ocupación 8 m2 por persona</div> <div>- Vidrios con elevado factor solar</div> <div>- Costillas en fachada Norte y Sur</div> <div>- Control del alumbrado</div>	<div>- Calefacción</div> <div>- Refrigeración</div> <div>- Ventilación</div> <div>- ACS</div> <div>- Iluminación</div> <div>- No incluye consumos internos de equipos para el Puesto de Trabajo.</div>		Source Electricity [kWh/m2]
		Heating	1.7
		Cooling	16.4
		Interior Lighting	23.9
		Fans	6.8
		Pumps	10.5
		Total Source Energy	59.3

Figura 8. Condiciones de partida y consumos

Si se aplican los coeficientes de paso del documento del IDAE, “Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España”, tenemos que un consumo de 59,34 kWh/m2 de energía primaria, equivale a 25,06 kWh/m2 de energía final. Considerando el autoconsumo debido a los paneles fotovoltaicos, la energía final real consumida (neta) pasa a ser: 25,06 – 11,5 =13,56 kWh/m2.año. Volviendo a aplicar los coeficientes de paso, se traduce en:

Energía Primaria renovable Consumida	5,61 kWh/m2.año
Energía Primaria no renovable Consumida	26,49 kWh/m2.año
Energía Primaria Total Consumida	32,10 kWh/m2.año

Para la Zona Mediterránea (Recomendaciones UE 2016/1318) tendríamos que cumplir los siguientes valores límite:

- 90 kWh/m2.año (energía primaria de fuentes renovables y no renovables) > **32,10 kWh/m2.año**
- 30 kWh/m2.año (energía primaria neta) > **26,49 kWh/m2.año**

Con estos resultados, el edificio está dentro del límite para poder clasificarse como EECN.

CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS Y AMBIENTALES

El complejo se certificará con la herramienta VERDE, cuya metodología está basada en una aproximación al Análisis de Ciclo de Vida. Se definen una serie de criterios para reducir los impactos ambientales, sociales y económicos del proyecto. Los impactos valorados en VERDE NE Equipamientos, versión Ω, son: cambio climático, emisiones a la atmósfera, tierra y agua, cambios en la biodiversidad, agotamiento de energía no renovable, agotamiento de agua potable, agotamiento de recursos, generación de residuos, impactos sobre el vecindario, accesibilidad salud y confort, aspectos económicos por ahorro en el coste del ciclo de vida. El proyecto incluye el mayor número de medidas viables para alcanzar la mayor puntuación posible, estando en estos momentos entre las cuatro y cinco hojas.