

LOS EDIFICIOS DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO: PROPUESTA PARA EL CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE MERCABARNA

EZEQUIEL USÓN GUARDIOLA, JUAN LUIS FUMADO ALSINA
y JOSÉ VIVES REGO

Cómo citar este artículo: USÓN, E.; FUMADO, J.L. y VIVES, J. *Los edificios de consumo energético casi nulo: propuesta para el centro de tratamiento de residuos sólidos de Mercabarna* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 9 (25): 13-42, 2013. DOI: 10.5821/ace.9.25.3620. ISSN: 1886-4805.

ACE 25

Electronic offprint

Separata electrónica

THE NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS: PROPOSAL FOR THE WASTE TREATMENT CENTRE IN MERCABARNA

Key words: Directive EPDB 2010/31/EU of the European Union; nearly zero energy buildings; renewable energy; passive design.

Abstract

The building sector is one of the productive sectors that we should act upon if we want to drastically reduce CO2 emissions. Therefore, adapting the existing buildings to the future energy requirements resulting from Directive 2010/31/EU of the European Parliament (1) is a challenge we must address if we want to seriously deal with the global warming and climate change issue.

This topic is addressed in this two-section paper. After an introduction to buildings with nearly zero energy consumption, the paper describes a proposal to achieve these objectives in an existing industrial facility: the solid waste treatment plant of Mercabarna, the central food market of Barcelona's metropolitan area.

The proposal outlines the architectural modifications designed to enable the installation of a PV system capable of producing the same amount of energy consumed in the existing facility and also improve the environmental aspects of the current building.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

LOS EDIFICIOS DE CONSUMO ENERGÉTICO CASI NULO: PROPUESTA PARA EL CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS DE MERCABARNA

USÓN GUARDIOLA, Ezequiel¹
FUMADO ALSINA, Juan Luís²
VIVES REGO, José³

Remisión inicial: 25-02-2013

Remisión definitiva: 24-01-2014

Palabras clave: Directiva Europea EPDB 2010/31/EU; edificios de consumo energético casi nulo; energías renovables; diseño pasivo.

Resumen

El sector de la edificación es uno de los sectores productivos en los que se debería actuar si se desean reducir drásticamente las emisiones de CO², Por ello, si queremos afrontar seriamente el problema del cambio climático global hemos de abordar el desafío de adecuar los edificios existentes a los futuros requerimientos energéticos derivados de la Directiva Europea EPDB (2010/31/EU).

De ello trata este artículo que se desarrolla en dos partes. Después de una introducción con las consideraciones relativas a los edificios de consumo energético casi nulo, describe una propuesta para conseguir estos objetivos en una instalación industrial existente: el centro de tratamientos sólidos de Mercabarna, el mercado central alimentario del Área Metropolitana de Barcelona.

La propuesta expone las modificaciones arquitectónicas proyectadas para permitir la incorporación de una instalación de energía fotovoltaica capaz de producir la misma cantidad de energía que consume el edificio actual mejorando al mismo tiempo su comportamiento ambiental.

¹ **Ezequiel Usón Guardiola:** Departamento de Proyectos Arquitectónicos de la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, Avda. Diagonal, 649 08028 Barcelona. Email de contacto: ezequiel.uson@upc.edu

² **Juan Luís Fumado Alsina:** Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, de la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Avda. Diagonal, 649 08028 Barcelona. Email de contacto: Juan.luis.fumado@upc.edu

³ **Jose Vives Rego:** Departamento de Microbiología de la UB. Avda. Diagonal, 645 08028 Barcelona. Email de contacto: jvives@ub.edu

1. Introducción⁴

1.1. La dependencia de los combustibles fósiles y el cambio climático global

Si se desea abordar seriamente el problema del cambio climático global debe implementarse una política basada en la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles y su progresiva sustitución por fuentes de energía renovable. Según un informe de la Comisión Europea del año 2012, en nuestro país los combustibles de origen fósil constituyen la fuente primaria para la generación de energía: la dependencia de la energía importada (fósil) es actualmente del 79%, lo cual representa una tasa muy superior a la media de la Unión Europea (en adelante, UE) que es del 54% (Comisión Europea, 2012). En España a pesar de la contribución de las energías renovables el 46% de la generación de energía eléctrica todavía procede de los combustibles fósiles (ver Figura 1).

Esta dependencia energética del exterior no solamente incide en el déficit de la balanza comercial por la desorbitada factura de los combustibles fósiles importados, (cada aumento de 10 dólares en el precio del barril de petróleo le supone a España un desembolso extra de 5.000 millones de dólares), sino que además contribuye al cambio climático global.

De todos es conocido el hecho de que la combustión de las reservas fósiles acumuladas en 150 millones de años está produciendo la liberación de enormes cantidades de los denominados gases manta tales como el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFC, etc. Actualmente, la concentración de partículas de CO² en la atmósfera es la mayor en los últimos 850.000 años (ya supera las 400 partes por millón). Este gas contribuye en un 64% a la generación del efecto invernadero, lo que sumado además a la menor pero también considerable contribución del metano, el óxido nitroso y los clorofluorocarbonos, está provocando el calentamiento global.

También asistimos a la paradoja de que en la mayoría de los países los combustibles de origen fósil están subsidiados. Por ello y para evitar el desastre, en el informe Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-5 del PNUMA (PNUMA, 2012) se señala que en las próximas décadas deberían eliminarse todos los subsidios perjudiciales para el medio ambiente, o sea, los directamente relacionados con los combustibles fósiles, y crear en cambio impuestos a las emisiones de carbono e incentivos forestales para la captura de carbono. Sirva como dato que la subvención a la energía fósil en el mundo es cinco veces mayor que la destinada a las energías renovables.

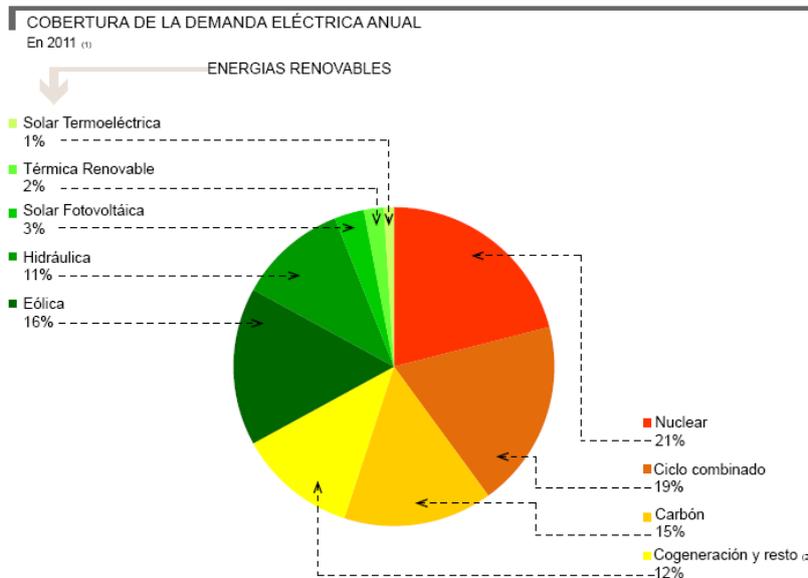
Alcanzar la meta de reducir al menos a la mitad las emisiones de gases de efecto invernadero, tomando como base las emisiones del año 1990 para así poder limitar la concentración a un máximo de 450 partes por millón en el año 2050, constituye un desafío para los gobiernos, la sociedad civil y la ciudadanía (ver Figura 2).

Asimismo, existe el convencimiento de que esta dinámica nos encamina hacia una próxima crisis energética. Asistimos a un incremento progresivo del precio de los productos derivados

⁴ Este artículo desarrolla con mucha mayor amplitud la ponencia que ha sido publicada en las actas del Congreso 28th International PLEA Conference, Opportunities, Limits & Needs. Towards an Environmentally Responsible Architecture (Lima, Perú), noviembre 2012, con el título "Pathways to Reach the Net Zero Energy Building, The waste treatment centre in Mercabarna, Barcelona, Case Study." Disponible en: <<http://www.plea2012.pe/pdfs/T11-20120122-0015.pdf>>.

del petróleo y a un paralelo agotamiento de los recursos. Esta previsión presagia una futura carestía e inseguridad de suministro en un entorno geopolítico crecientemente complejo, lo que para nuestro país puede tener consecuencias catastróficas.

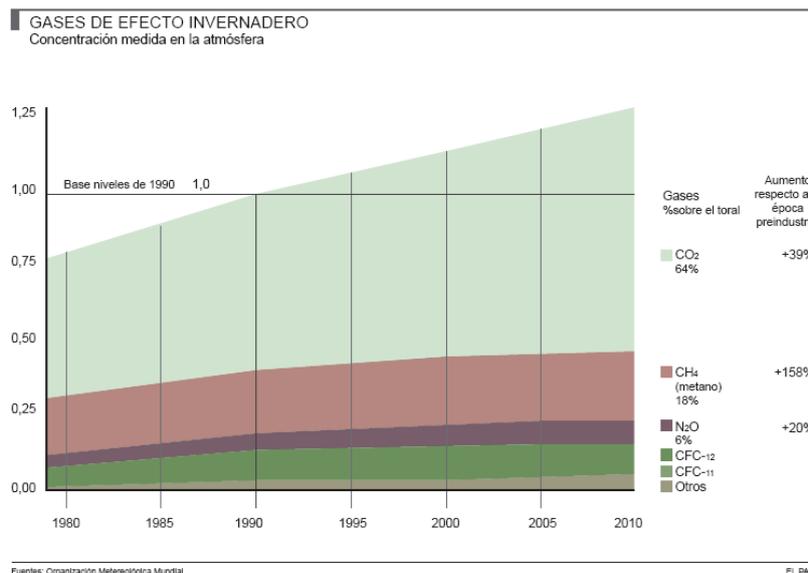
Figura 1. Dependencia de los combustibles fósiles en la generación eléctrica de nuestro país



Notas: (1) No incluye generación de bombeo. (2) Incluye térmica no renovable y fuel-gas.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Red Eléctrica de España.

Figura 2. Aumento progresivo de la emisión de gases de efecto invernadero en los últimos 30 años



Fuente: OMM (2011).

1.2 Incidencia en el sector de la edificación

En Cataluña, los datos son extrapolables al resto del país, el sector de la edificación consume alrededor del 40% de la energía primaria y genera más del 30% de las emisiones de carbono (Cuchí y Societat Orgànica, 2009). Esto hace que la edificación sea uno de los sectores en los que se debe actuar prioritariamente, si se desean reducir drásticamente las emisiones de CO₂. Para mejorar esa situación deben implementarse políticas de ahorro y eficiencia energética e incrementar el aprovechamiento activo de las energías renovables.

En las últimas décadas la reducción de la demanda energética de los edificios se ha basado en la mejora de su comportamiento energético. Posteriormente, la combinación de estrategias pasivas y el aprovechamiento activo de las energías renovables, ha dado lugar a la aparición de un nuevo tipo de edificio: los edificios híbridos, capaces de producir energía y enviarla a la red de la que asimismo se suministran. Esta nueva categoría de edificios permite una disminución sustancial de las emisiones procedentes de la combustión de fósiles en el sector de la edificación y abre una nueva vía de evolución hacia el edificio de consumo de energía nulo (en adelante y por sus siglas en inglés, ZEB) capaz de producir tanta energía como la que consume (Newton y Tucker 2010).

2. Los edificios de consumo de energía casi nulo

El edificio de consumo de energía casi nulo, *Nearly Zero Energy Building* (en adelante, NZEB), se define como aquel edificio que es muy eficiente desde el punto de vista energético, o sea que consume muy poca energía comparativamente con el consumo promedio de edificios similares y en el que además esa reducida cantidad de energía necesaria para su funcionamiento se genera a partir de fuentes renovables, de manera que el balance energético final sea cero. En este tipo de edificios puede incluso producirse más energía de la que se consume con la combinación de estas estrategias, obteniéndose en este caso un balance positivo.

En esta definición el concepto - balance energético cero - hoy todavía es objeto de discusión. En los Estados Unidos la definición se ha debatido en el ámbito de la IEA SHC Task 40 (Mlenick et al., 2011) y entre las aportaciones de diferentes instituciones cabe destacar la clasificación de las diferentes casuísticas, realizada por la *International Energy Agency* (en adelante, IEA) a partir de los trabajos desarrollados por el *National Renewable Energy laboratory* (en adelante, NREL).

Según esta aportación (Pless y Torcellini, 2010) el balance neto del edificio puede contabilizarse dependiendo del lugar donde se produce la energía renovable, teniendo en cuenta la fuente de suministro de la energía importada, el coste económico de la energía importada y exportada y las emisiones que se generan (ver Tabla 1).

Tabla1: Definiciones de balance neto, según el origen, la fuente, el coste y la contabilización de emisiones

Net-Zero Site Energy	El "Site NZEB". Se produce en el propio edificio, tanta energía renovable como la que se consume en un año.
Net-Zero Source Energy	El "Source NZEB", se produce (o compra) en una fuente de suministro externa tanta energía renovable como la que se consume en un año. Para calcular la cantidad de energía suministrada desde la fuente de suministro se valora el origen de la energía primaria utilizada para extraer, procesar, generar y suministrar la energía al edificio, la energía importada y exportada se multiplica por el factor de conversión apropiado según la fuente energética utilizada.
Net-Zero-Energy Costs	En el "Cost NZEB", se considera la cantidad de dinero que el propietario percibe por la venta de la energía renovable que exporta a la red y que debe ser como mínimo igual a la cantidad que paga por la energía consumida de la red durante un año.
Net-Zero-Energy Emissions	En el "Net-Zero emissions", el edificio produce (o compra) la suficiente energía de origen renovable como para compensar las emisiones de Carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de sulfuro, etc. debidas al consumo del edificio procedente de la red pública. O sea el balance neto se contabiliza en base a la consecución del equilibrio de las emisiones con los factores de conversión apropiados según la fuente energética.

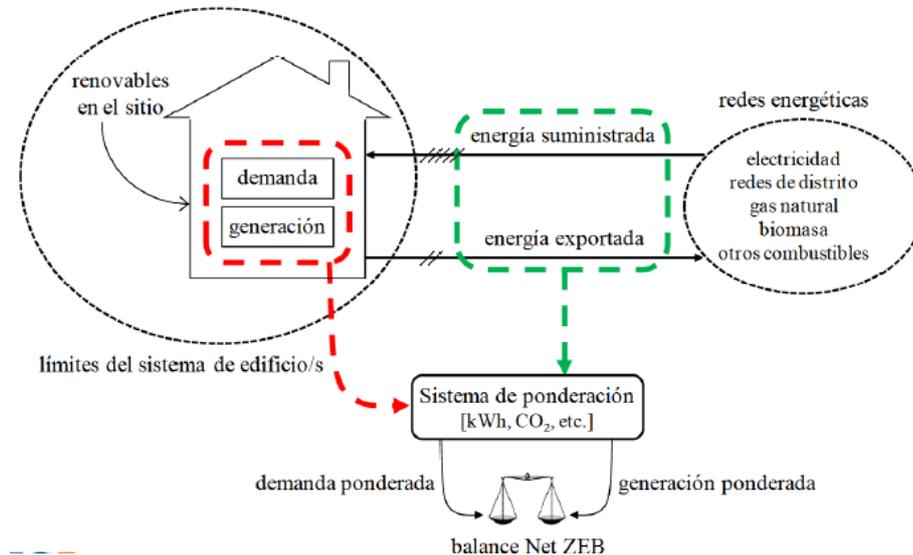
Fuente: Pless y Torcellini (2010).

2.1 La Directiva europea sobre los edificios de consumo de energía casi nula (NZEB)

En la Unión Europea el concepto NZEB se ha definido en la *Directiva de Eficiencia Energética de edificios 2010/31/EU* (texto refundido) aprobada en mayo de 2010 (en adelante, EPDB), con la particularidad de que la energía producida a partir de fuentes renovables en el propio edificio debe ser *casi* la misma energía que consume de la red (Directive, 2010). Es evidente que esta definición genera un espacio de ambigüedad en la determinación de la cantidad de energía que debe producirse.

Conceptualmente el edificio NZEB tiene un alcance superior al mero edificio autosuficiente y aislado que es capaz de generar toda la energía que consume (ZEB). Los NZEB están conectados a las redes de suministro energético, (eléctrica, gas, *District heating*, etc.) de las que reciben (importan) la energía necesaria para su funcionamiento en aquella franja horaria en la que por las condiciones climáticas no pueden producir energía y a las que envían (exportan) la energía generada en el edificio en las franjas horarias en las que producen mayor cantidad de energía de la que consumen (ver Figura 3).

Figura 3. Esquema de funcionamiento del NZEB: equilibrio entre energía importada de la red y energía exportada a la red por parte del edificio



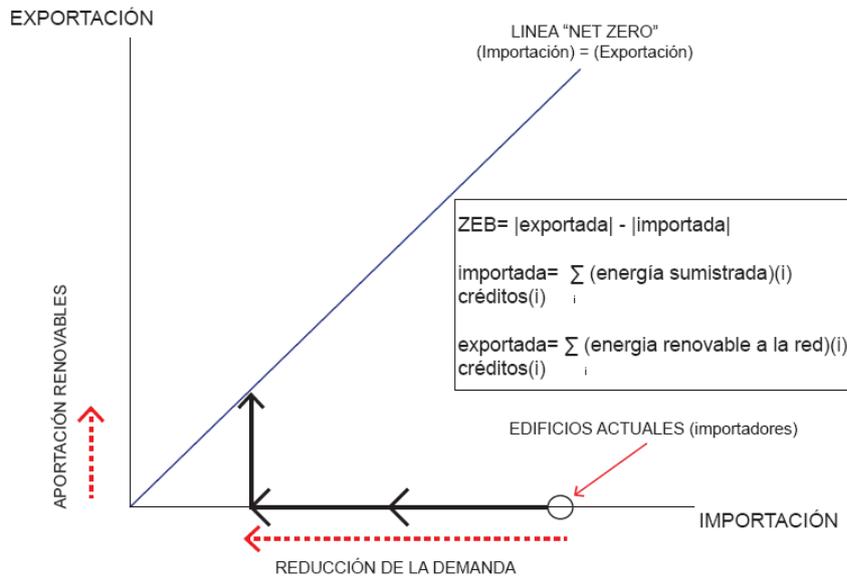
Fuente: Voss et al (2012).

La EPDB urge además a sus estados miembros a asegurarse que a partir del 31 de Diciembre del año 2020 (2018 para los edificios que dependan de las administraciones públicas), todos los edificios de nueva construcción de la UE deberán ser NZEBs. Como este objetivo, de hecho cambiará la manera de construir los edificios de los países de la UE, la EPDB también está abierta para su adaptación a las condiciones específicas, estatales, regionales o locales de los diversos países miembros, y para ello incorpora algunas aclaraciones y precisiones de este concepto (Directive, 2010):

- En los próximos años, deben mejorarse de forma gradual los niveles de eficiencia energética, aumentando los estándares mínimos actuales de calificación energética en las diferentes legislaciones europeas.
- En el cálculo del consumo energético deben incluirse como mínimo los correspondientes a los sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente sanitaria e iluminación, y se deja abierta la posibilidad a considerar otros consumos (electrodomésticos, etc.) tal y como sucede con los estándares vigentes en algunos países.
- No toda la energía necesaria deberá ser de origen renovable (por ejemplo la biomasa, que puede considerarse como un material regenerable entraría dentro de esta consideración) y por lo tanto será necesario definir el porcentaje mínimo suministrado por esas fuentes.
- La energía debe proceder de fuentes renovables, por lo tanto deja abierta la posibilidad de compra de energía verde así como la posibilidad de que la energía se produzca *in situ* o *en el entorno*, aunque no se detalla el alcance de éste.
- Las fuentes energéticas renovables que se consideran en la directiva son: eólica, solar, aerotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, y gases de plantas de depuración biogás; y entre los sistemas que considera la directiva y se incluyen los equipos aerotérmicos (bombas de calor).

Para proyectar un edificio NZEB se considera que debe utilizarse la siguiente metodología (ver Figura 4): Minimizar la demanda energética (etapa 1); Utilizar equipos y sistemas de elevada eficiencia energética (etapa 2); Sustituir las fuentes energéticas convencionales por otras de origen renovable (etapa 3).

Figura 4. Metodología para proyectar un edificio NZEB



Fuente: Fuente: Voss et al (2012).

2.2 El objetivo NZEB en la rehabilitación de los edificios existentes

La EPDB se refiere a las condiciones que deberán cumplir los edificios de nueva planta, pero tiene pocas menciones relativas a las actuaciones que deberían realizarse en el patrimonio arquitectónico construido en la UE durante el extraordinario *boom inmobiliario* de las últimas décadas. Sin embargo en un escenario de crecimiento económico estancado o negativo como es el previsto para los próximos años, si se quiere mantener el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ del sector de la edificación, es evidente que el mayor esfuerzo deberá concentrarse en la mejora energética del patrimonio arquitectónico e industrial ya existente.

No siempre será posible adaptar los edificios actuales a los retos futuros, haciéndolos más eficientes desde el punto de vista energético e integrando en el propio edificio sistemas para la producción de energía a partir de fuentes renovables. Las condiciones del lugar y las estrategias utilizadas previamente en la concepción del edificio, como su forma, orientación, envolvente e instalaciones de producción de frío y calor, serán determinantes para su aptitud para alcanzar el objetivo NZEB y, en su caso, escoger la solución adecuada. Seguramente y en muchas ocasiones deberán proponerse sistemas que puedan suministrar energía renovable procedente de su entorno local por la imposibilidad de generarla en la propia envolvente del edificio. Para ello la solución no es incorporar paneles solares colocados al azar sin ninguna constricción estética que sobresalen en el perfil del edificio y degradan su calidad arquitectónica. Por el contrario, nuestro compromiso como arquitectos es conseguir unir la

innovación con la sensibilidad y por ello no debemos olvidar la capacidad que tiene la Arquitectura de producir emociones estéticas.

En el caso de de la instalación *Punt Verd* de Mercabarna, se opta por una vía intermedia: la imposibilidad de incorporar sistemas de producción de energía en el edificio actual -tal y como está- y la voluntad de solucionar adicionalmente otros problemas ambientales -la instalación consume una gran cantidad de agua y energía y genera molestias y malos olores en su entorno- nos ha llevado a diseñar una nueva envolvente.

En la propuesta que se expone en la segunda parte de este artículo, se describe el proyecto de una nueva cubierta sobre la instalación existente y se justifica como esta nueva *piel* podría transformar la actual instalación industrial en un edificio híbrido capaz de suministrar la totalidad de la energía que el proceso industrial actual consume y alcanzar, por tanto, los objetivos del edificio de energía casi nula tal como se define en el art. 9 de la EPBD.

3. Propuesta para el centro de tratamiento de residuos sólidos de Mercabarna

3.1 El centro de tratamiento de residuos sólidos “Punt Verd” de Mercabarna

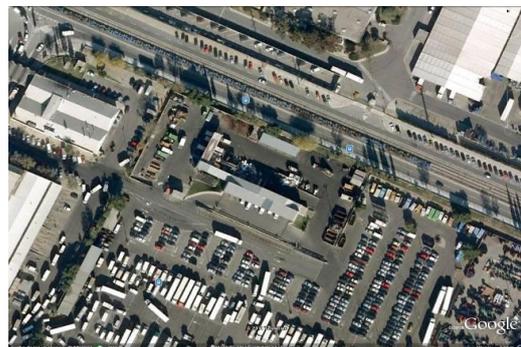
Mercabarna es el mercado central alimentario del Área Metropolitana de Barcelona, está situado en la franja costera del municipio de El Prat de Llobregat, junto a la ciudad de Barcelona, y disfruta de un clima mediterráneo: recibe un alto nivel de radiación solar anual, alcanza altas temperaturas y humedad en verano y tiene temperaturas moderadas en invierno. El centro de tratamiento de residuos no tiene ninguna protección solar y por ello está expuesto a una intensa radiación que le afecta durante la mayor parte del año. Genera molestias en el entorno debido a los malos olores que produce la descomposición acelerada de los residuos orgánicos y consume una gran cantidad de energía eléctrica para su funcionamiento, así como una gran cantidad de agua para su limpieza y mantenimiento. Por la noche la instalación tiene un deficiente nivel de iluminación (ver Figuras 5 y 6).

Figura 5. El centro de tratamiento *Punt Verd*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Vista aérea de la instalación

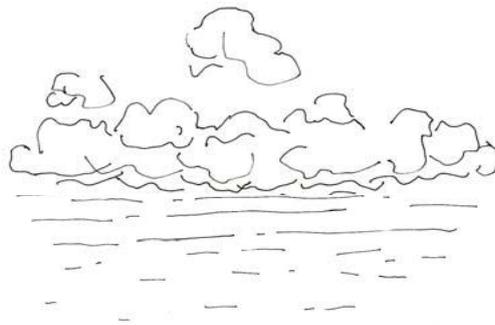


Fuente: Google Earth (2012).

3.2 La concepción del proyecto

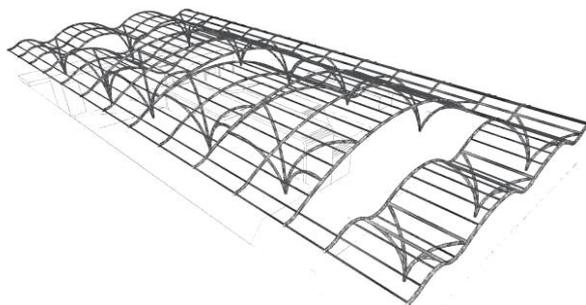
En la concepción del proyecto nos hemos basado en la imitación de la naturaleza, y para ello nos hemos inspirado en las nubes. Las nubes tienen un efecto enorme en el clima: la energía que impulsa la vida en la Tierra llega en forma de luz solar y para mantenerse a una temperatura estable, la Tierra tiene que devolver al espacio parte de la energía que recibe, fundamentalmente en forma de calor. Es decir, gracias a las nubes se enfría nuestro planeta. Las densas y bajas son responsables de gran parte de este efecto, porque devuelven la luz del sol al espacio, mientras que las nubes altas y poco densas tienen el efecto opuesto, permiten que la luz del sol llegue a través de ellas y retienen el calor que trata de escapar. Asimismo en las nubes se acumula el agua y la energía que posteriormente genera las descargas eléctricas en forma de rayos en las tormentas (ver Figura 7). La propuesta elaborada para la mejora ambiental de la instalación *Punt Verd* imita metafóricamente el efecto de las nubes, porque persigue reducir la radiación solar sobre la instalación aumentando las zonas en sombra, acumulando agua y generando energía (ver Figura 8).

Figura 7. Las nubes



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Estructura de la nueva cubierta

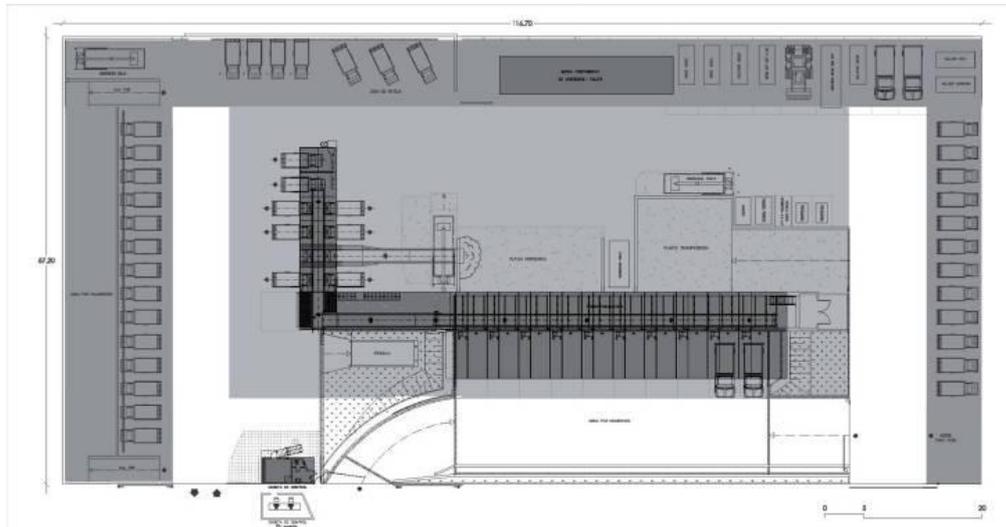


Fuente: Elaboración propia.

Analizando la planta actual del *Punt Verd* se constata que sólo una pequeña parte de la instalación está cubierta. En esta misma Figura 8 se señala la porción de la instalación que realmente debería protegerse totalmente de la lluvia y la parte en la que debería evitarse la

radiación solar. Así pues, el primer objetivo de la propuesta es aumentar el área protegida, con el diseño de una nueva cubierta (ver Figura 9).

Figura 9. Cubierta existente y detalle del requerimiento de aumento de la cubrición y zona de sombra



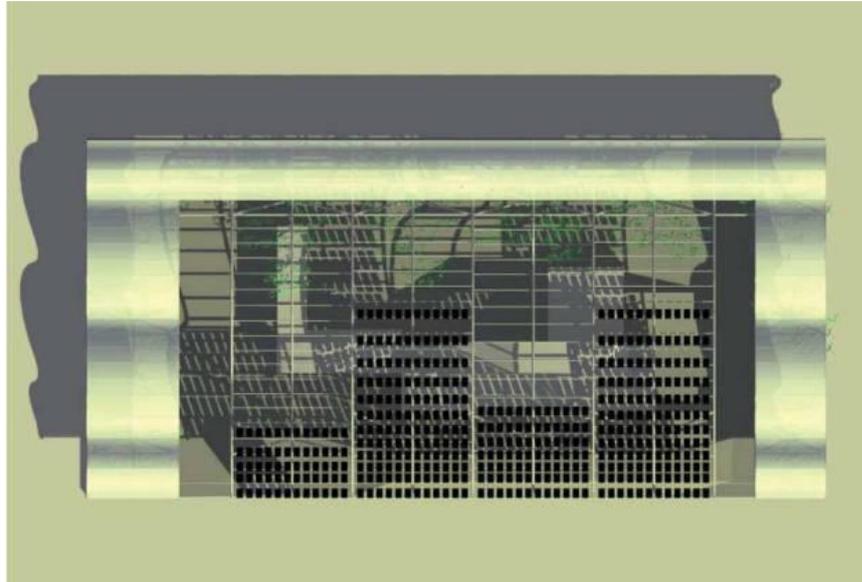
Notas: Cubiertas existentes. Requerimiento cubrición. Requerimiento sombra.

Fuente: Elaboración propia a partir de los planos básicos facilitados por Mercabarna.

Para conseguir estos efectos se ha diseñado una nueva cubierta especializada (ver Figura 10) que ofrecerá las siguientes mejoras:

- Genera una protección solar sobre la instalación existente que produce sombra y, al disminuir los niveles de radiación solar, atempera las condiciones climáticas del lugar, sobre todo en el periodo estival.
- La parte completamente opaca, no sólo protegerá sino que también recogerá el agua de lluvia para conducirla a un depósito de acumulación. El agua de lluvia acumulada posteriormente será utilizada para el riego y la limpieza de la instalación.
- Otra porción de la cubierta será una gran pérgola que incorpora vegetación compuesta por plantas aromáticas, ello permitirá generar sombra y al mismo tiempo fomentar procesos de termo-ventilación para reducir la temperatura y disminuir la alta humedad ambiental. Ello frenará el proceso de descomposición de los residuos orgánicos y mejorará la calidad del aire al disminuir la consiguiente generación de malos olores, efecto que se incrementará con el aroma de las especies de plantas situadas en la cubierta verde.
- En la zona donde se dan las mejores condiciones para el aprovechamiento de la radiación solar, por no existir sombras arrojadas, se situarán los paneles fotovoltaicos para producir electricidad. La instalación fotovoltaica situada encima podrá ser capaz de producir suficiente energía a partir del aprovechamiento de la radiación solar como para equilibrar el consumo actual de energía eléctrica procedente de la red y alcanzar el objetivo NZEB.
- Finalmente y para mejorar la iluminación nocturna se ha diseñado una nueva instalación dotada de luminarias de bajo consumo que se situarán bajo la cubierta.

Figura 10. **Forma definitiva de la nueva cubierta con detalle del campo fotovoltaico**



Fuente: Elaboración propia.

3.3 Proceso metodológico

A - Consecución del Equilibrio energético

En la presente propuesta y para alcanzar el objetivo NZEB se ha seguido la metodología a la que ya nos hemos referido en el apartado 2.2 de este mismo artículo.

Para conseguir la eficiencia energética el primer factor que debemos tomar en consideración es el propio diseño arquitectónico: en la concepción del proyecto debe utilizarse el principio básico de *construir con el clima y no contra el clima*, lo que también se denomina diseño pasivo o arquitectura solar pasiva. En este caso su consecuencia más importante sería la mejora ambiental que adicionalmente se consigue con la nueva estructura de cubrición.

El proceso se inicia con el conocimiento de los datos básicos del entorno climático; temperaturas, pluviometría, humedad relativa, régimen de vientos, niveles de iluminación natural y radiación solar, etc. En este caso los datos se han obtenido de las estaciones meteorológicas más cercanas y su interpretación se ha realizado a con las herramientas de software que se utilizan para estos supuestos y que concretamente son: *Meteonorm*, *Weather Tool* y *Climate Consultant*.

La forma de la nueva cubierta que se generó inicialmente de una manera intuitiva a partir de la metáfora de la *imitación de las nubes* ha ido evolucionando como consecuencia de las modificaciones surgidas a partir de las sucesivas comprobaciones que se han realizado utilizando las herramientas de software específicas: para ello se ha simulado su comportamiento frente al viento y la generación de zonas en sombra. Con este proceso de correcciones sucesivas el diseño inicial ha alcanzado la forma definitiva.

En este sentido resulta particularmente importante la comprobación aerodinámica que permite optimizar flujos y evitar turbulencias y la comprobación de sombras arrojadas que permite determinar las superficies óptimas donde situar la instalación fotovoltaica. Para ello se han utilizado las herramientas de software *Ecotect* y *Phoenix*.

B - Evaluación energética

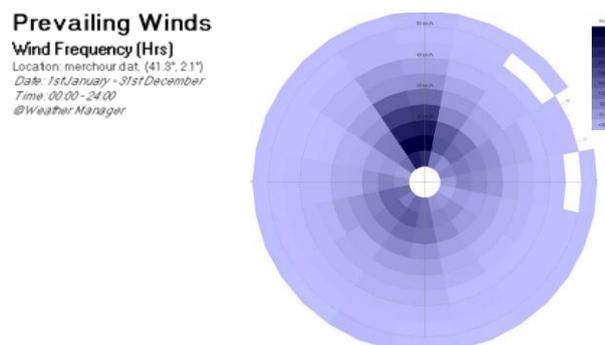
Al tratarse de una instalación industrial, y considerando que el objeto de esta investigación aplicada no es el realizar una auditoria energética, sino más bien incorporar sistemas de energías renovables para producir electricidad, se han evaluado los consumos de electricidad de los últimos cinco años utilizando la información suministrada por la propiedad. Con esta información se ha dimensionado una instalación fotovoltaica capaz de producir la misma cantidad de energía que se consume de la red en la modalidad *Net-Zero Site Energy*.

3.4 Comprobaciones realizadas con las herramientas de software para determinar la idoneidad de la forma de la cubierta

A - Comprobación aerodinámica

Mercabarna se encuentra situada en la localidad de El Prat de Llobregat. Los datos de velocidad del viento se han obtenido en el Servicio meteorológico de Cataluña y se han complementado con los datos de *Meteonorm* para esa posición geográfica (latitud 41,3°, 21"). (ver Tabla 2). A partir de estas premisas se ha considerado una velocidad de cálculo de 2,5m/seg. con las direcciones predominantes (ver Figura 11).

Figura 11. Vientos dominantes



Fuente: Elaboración propia.

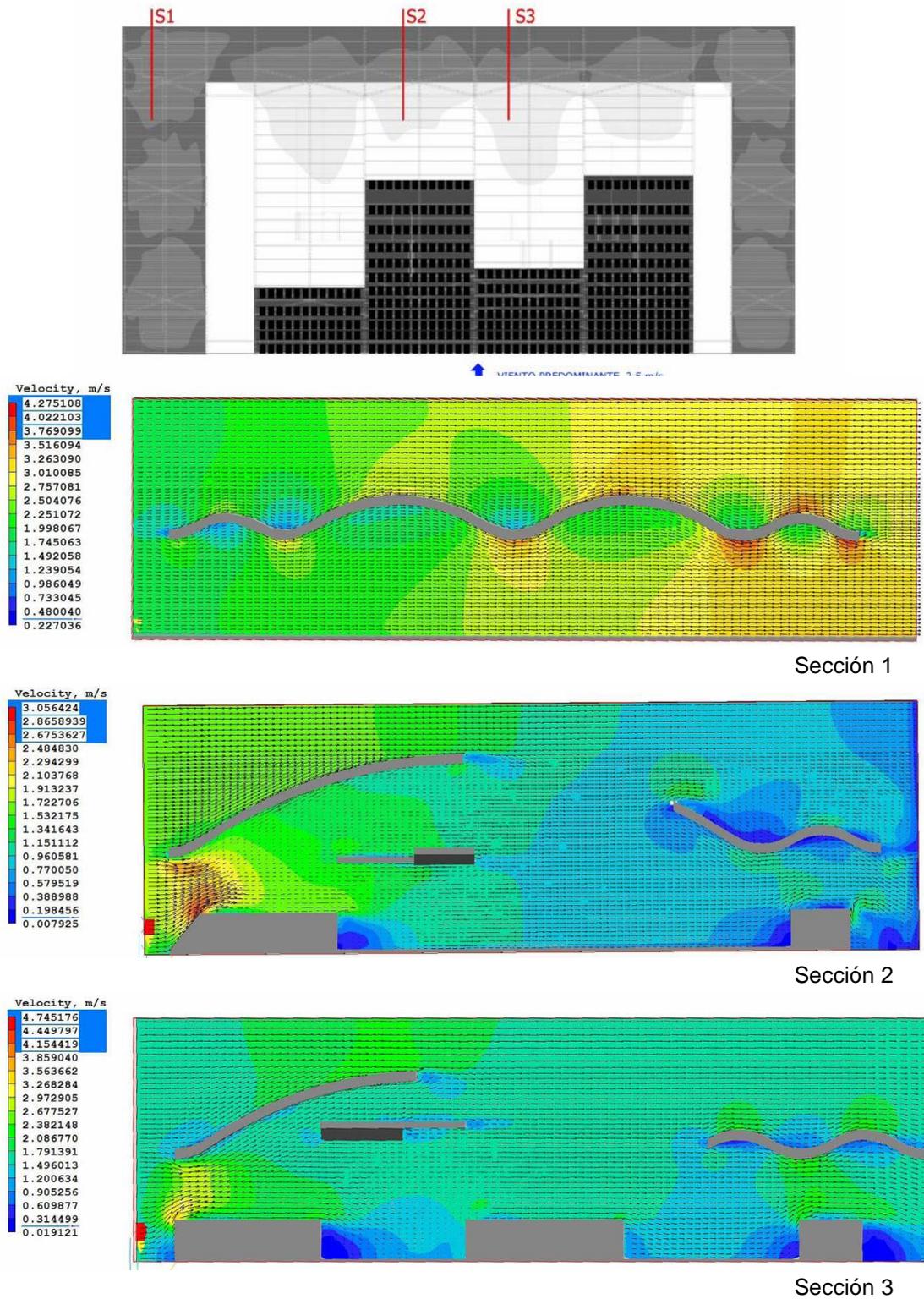
Tabla 2. Velocidad media mensual del viento (m/s) – Año 2009

COMARCA	CODI i NOM EMA	vent	GEN	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DEC	ANY
Barcelonès	WU Badalona-Museu	6m	3,1	2,6	2,6	2,9	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,3	2,8	2,9	2,6
	DS Barcelona-Obser Fabra	10m	4,8	3,7	3,9	4,3	3,7	3,6	3,2	3,3	3,5	3,5	4,0	5,4	3,9
	X4 Barcelona-Raval	10m	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9	2,0	1,9	1,8	1,7	1,5	1,8	1,7	1,8
	X8 Barcelona-Zona Universt	10m	2,8	2,4	2,4	2,5	2,2	2,1	2,0	1,8	1,9	1,7	2,4	2,5	2,2
Baix Llobregat	UF Begues-PN del Garraf	2m	3,0	2,6	2,9	2,7	2,6	2,2	2,1	1,6	2,0	1,9	3,2	2,7	2,5
	D3 Valirana	10m	1,6	1,7	1,8	1,7	1,6	1,8	1,7	1,8	1,7	1,5	2,1	1,9	1,8
	UG Viladecans	2m	1,6	1,4	1,7	1,5	1,3	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	1,2	1,3

Fuente Elaboración propia.

Para la determinación de los flujos de ventilación así como sus velocidades y la influencia que tienen en la forma de la cubierta se ha utilizado el programa *Phoenix*, considerando como planos resistentes al viento las partes opacas de la cubierta y como zonas permeables la pérgola-umbráculo (ver Figura 12).

Figura 12. Planta de la cubierta y simulación de los efectos del viento en tres secciones diferentes



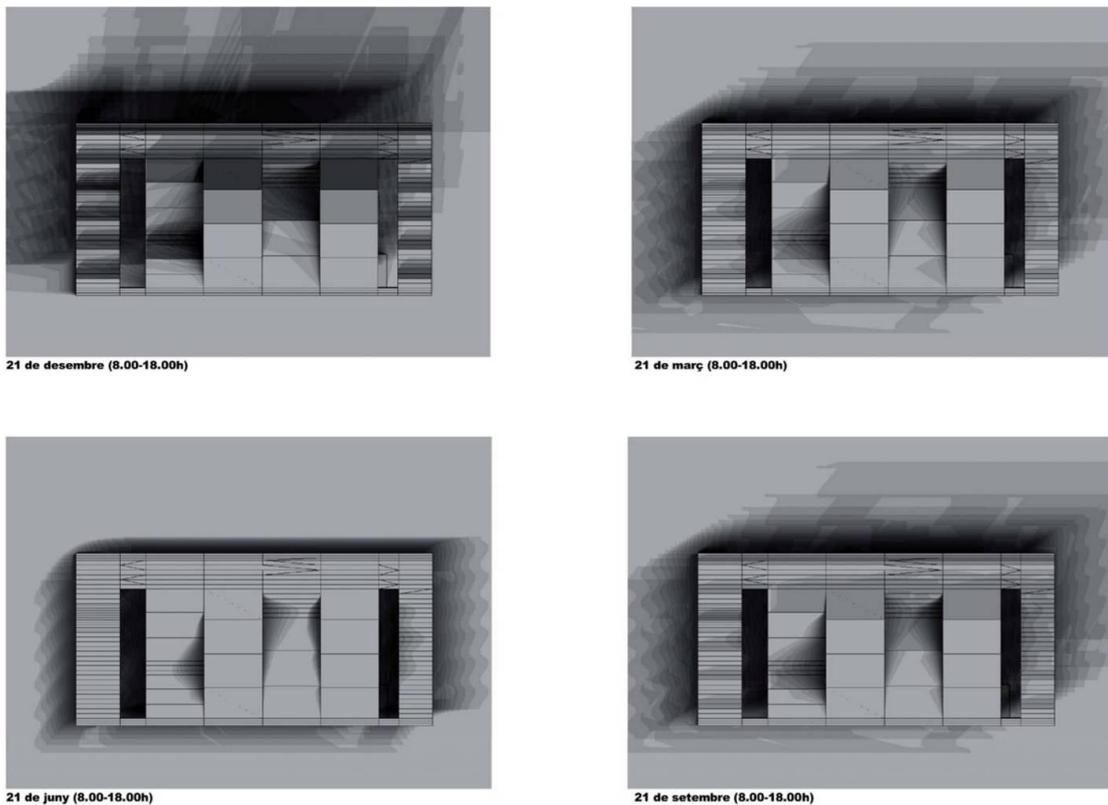
Fuente: Elaboración propia con el programa *Phoenix*.

La forma sinuosa de la cubierta con importantes tramos perforados crea zonas de aceleración y deceleración del viento que varían su velocidad de manera poco importante. En la sección 2 (de la Figura 12) vemos como se produce una importante aceleración en el tramo en el que la cubierta está más cerca de la plataforma elevada a la que acceden los vehículos. Esta aceleración inicial en este tramo se ralentiza conforme el viento se adentra en la instalación.

B - Simulación de sombras

Para evitar pérdidas por sombreado se ha realizado un estudio del asoleamiento utilizando el programa *Ecotech*, para determinar la zona de la cubierta que tiene las mejores condiciones de radiación (ver Figura 13).

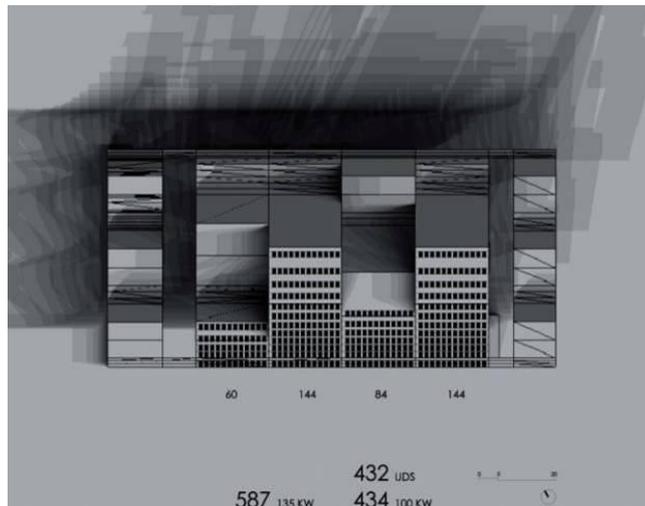
Figura 13. **Simulación de sombras en los solsticios y el equinoccio**



Fuente: Elaboración propia.

A partir del estudio realizado se ha delimitado la zona de la cubierta que está libre de sombras en los meses más desfavorables para poder situar los paneles fotovoltaicos (ver Figura 14).

Figura 14. Posición del campo de paneles fotovoltaicos en la cubierta



Fuente: Elaboración propia a partir del programa *Ecotech*.

3.5 Consumos actuales

A partir de los datos suministrados por la propiedad se ha elaborado una tabla con los consumos de agua y electricidad de los últimos cinco años (ver Tabla 3).

Tabla 3. Consumo de agua y electricidad en los últimos cinco años

Año	Consumo electricidad kWh/año	Consumo agua m3/año
2007	231.344,00	1.113,00
2008	220.926,00	2.198,00
2009	219.124,00	1.642,15
2010	203.089,00	3.052,00
2011	226.428,00	2.896,00
Promedio	220.178,00	2.180,33

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos suministrados por Mercabarna.

3.6 Dimensionado y cálculo de la instalación fotovoltaica

Se ha proyectado una instalación fotovoltaica conectada a la red y capaz de generar la totalidad del consumo eléctrico de la instalación *Punt Verd*. Para ello y una vez realizado un estudio comparativo del comportamiento de los paneles fotovoltaicos según su rendimiento y orientación y tomando en cuenta la superficie de la cubierta que reúne las condiciones óptimas para situar los paneles fotovoltaicos a partir del estudio de las sombras arrojadas, se han escogido paneles monocristalinos con seguidor a un eje. Para dimensionar la instalación se ha utilizado como dato de cálculo el valor promedio del consumo de un año (220.178 Kw.h/año) (ver la Tabla 4).

A - Cálculo de la producción anual

Para calcular la energía que generará el campo fotovoltaico se han utilizado los siguientes parámetros:

- Gdm (α, β) valor medio mensual y anual de la irradiación diaria sobre el azimut $\alpha=0^{\circ}$ y inclinación $\beta=35^{\circ}$, en kWh/m² día (ver Tabla 5).
- PR (*Performance Ratio*). Rendimiento energético de la instalación, variable mensualmente (adimensional).
- La eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo, que depende de: la dependencia de la eficiencia con la temperatura; la eficiencia del cableado; las pérdidas por dispersión de parámetros y suciedad; las pérdidas por errores en el seguimiento del punto de máxima potencia; la eficiencia energética del inversor; otros.
- La estimación de la energía inyectada (Ep) a red se realiza de acuerdo con la siguiente ecuación [1]:

$$E_p = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) P_{mp} PR}{G_{cem}} \text{ kWh/día [1]}$$

Siendo,

Pmp = Potencia pico de todo el campo fotovoltaico (kWp);

Gcem = Factor de conversión (1kW/m²).

Tabla 4: Irradiación diaria para una orientación Sur e inclinación 35° (10)

Mes	MJ/m ² /día	kWh/m ² /día	HSP/día	HSP/mes
Enero	11,97	3,33	3,33	103,08
Febrero	14,52	4,03	4,03	112,93
Marzo	17,77	4,94	4,94	153,02
Abril	20,45	5,68	5,68	170,42
Mayo	21,90	6,08	6,08	188,58
Junio	22,43	6,23	6,23	186,92
Julio	22,34	6,21	6,21	192,37
Agoto	21,48	5,97	5,97	184,97
Septiembre	19,36	5,38	5,38	161,33
Octubre	16,13	4,48	4,48	138,90
Noviembre	13,01	3,61	3,61	108,42
Diciembre	11,28	3,13	3,13	97,13

Fuente: Generalitat de Catalunya (2001).

Los valores medios mensuales y el promedio anual se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Valores medios mensuales y promedio anual para calcular la potencia pico de todo el campo fotovoltaico

Mes	Gdm($\alpha=0^\circ$ $\beta=35^\circ$) kWh/m ² /día	soporte fijo PR	soporte fijo Ep/m ² (kWh/día m ²)	soporte fijo (kWh/día m ²)	seguidor 1 eje (kWh/día)	seguidor 1 eje kWh/mes
Enero	3,33	0,851	2,83	410,62	492,75	15.275,14
Febrero	4,03	0,844	3,40	492,85	591,42	17.742,65
Marzo	4,94	0,801	3,96	573,36	688,03	21.329,01
Abril	5,68	0,802	4,56	660,07	792,09	23.762,58
Mayo	6,08	0,796	4,84	701,27	841,52	26.087,23
Junio	6,23	0,768	4,78	693,29	831,95	24.958,60
Julio	6,21	0,753	4,68	677,57	813,09	25.205,65
Agosto	5,97	0,757	4,52	654,85	785,81	24.360,24
Septiembre	5,38	0,769	4,14	599,48	719,38	21.581,39
Octubre	4,48	0,807	3,62	523,87	628,64	19.487,80
Noviembre	3,61	0,837	3,02	437,83	525,39	15.761,72
Diciembre	3,13	0,850	2,66	385,51	462,61	14.340,84
Total						249.892,85

Nota: Las unidades del valor total son Kw/año.

Fuente: Generalitat de Catalunya (2001).

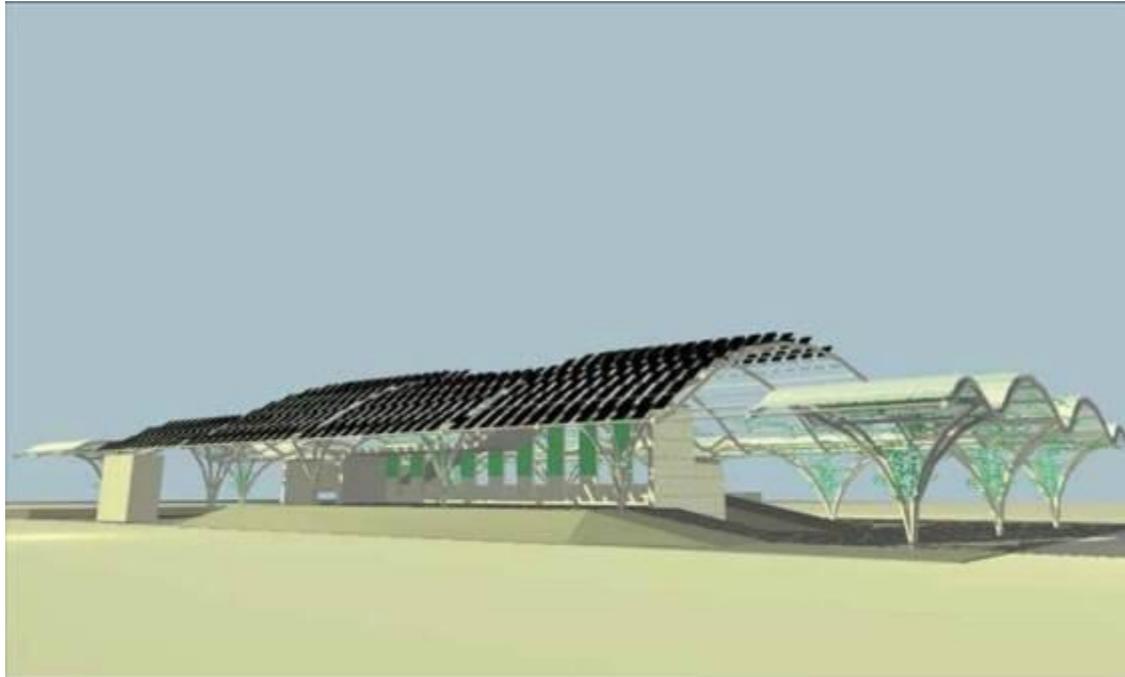
La aplicación de los cálculos anteriores nos da como resultado una potencia pico de 144,90 kWp. Para generar la cantidad de electricidad suficiente que cubra el consumo eléctrico de la instalación *Punt Verd*, se han escogido paneles fotovoltaicos monocristalinos de 230 Wp patente ATERSA colocados sobre una instalación con seguidor a un eje (ver Figura15). Para obtener una potencia pico de 144,90 kWp necesitamos un total de 630 paneles que ocupan una superficie de 1.064,08 m² (630 paneles x 1,68902 m²/panel) a la que se ha de añadir la superficie de los espacios de separación (ver Figura 16). Estará conectado a la red pública para evacuar toda su producción y dispondrá de un contador de salida, y al mismo tiempo el consumo eléctrico del edificio se suministrará desde la red pública contabilizándose con un contador de entrada. Produce el 100% del total del consumo actual (NZE).

Figura 15. Imagen de un panel con una inclinación de 35° y estructura soporte con seguimiento a un eje de la trayectoria diaria del sol



Fuente: ATERSA (2012).

Figura 16. Imagen de la instalación fotovoltaica sobre la nueva cubierta



Fuente: Elaboración propia.

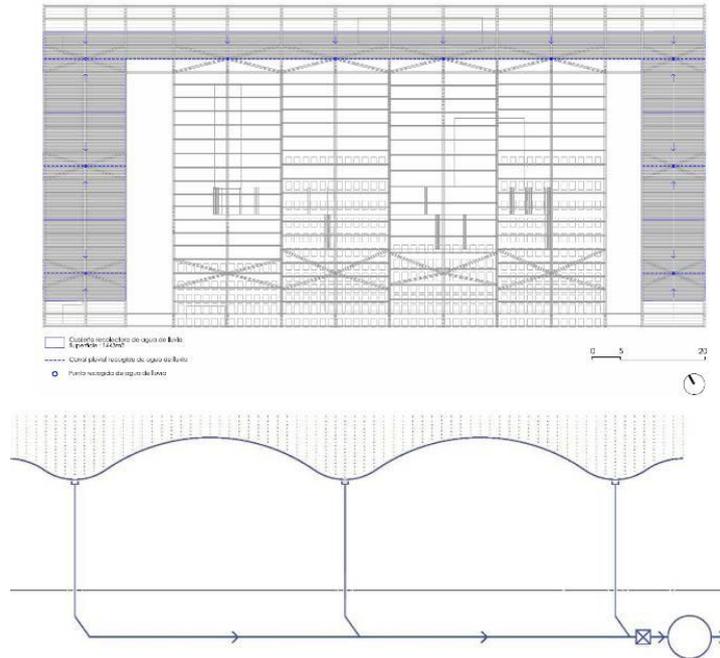
3.7 Mejoras adicionales

Como mejoras adicionales desde el punto de vista ambiental ya se ha señalado en el capítulo anterior que la nueva cubierta aumenta la protección de la instalación existente, puesto que genera sombra y al disminuir los niveles de radiación solar atempera las condiciones climáticas del lugar, sobre todo en el periodo estival. Esta cubierta también permitirá recoger y acumular el agua de lluvia que posteriormente será utilizada para el riego y la limpieza de la instalación y mejorará la calidad del aire mitigando los malos olores originados por la descomposición de la materia orgánica, al incorporar vegetación compuesta por plantas aromáticas.

A - Aprovechamiento de las aguas pluviales

Las aguas pluviales recogidas en la cubierta serán utilizadas para limpieza y riego (ver Figura 17). El consumo anual y mensual del *Punt Verd* excede el suministro procedente del agua de lluvia y por ello sería necesario una contribución suplementaria procedente del sistema de abastecimiento público (ver Tabla 6). La utilización exclusiva para limpieza y riego simplifica notablemente la instalación porque hace innecesario el tratamiento de las aguas grises

Figura 17. Sistema de recolección y acumulación del agua de lluvia



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Cuadro comparativo: computo del aprovechamiento de las aguas pluviales captadas en la cubierta (datos de pluviometría y consumo del año 2009)

Mes	Pluviometría l/m2	V (m3)	G (m3)
Enero	66,40	98,19	184,00
febrero	120,40	178,04	77,00
marzo	63,40	93,75	224,00
abril	17,40	25,73	185,00
mayo	106,80	157,93	206,00
junio	30,00	44,36	334,00
julio	3,00	4,44	280,00
agosto	80,40	118,89	421,00
septiembre	80,70	119,33	267,00
Octubre	79,00	116,82	344,00
noviembre	6,00	8,87	293,00
diciembre	37,00	54,71	237,00
TOTAL	690,50	1.021,04	3.052,00

Notas:

V = Captación pluvial ($V1 = S \times Ce \times \text{pluviometría}$)

$V1 = 1.643\text{m}^2 \times 0,9 \times \text{pluviometría} \times 0,01 \text{ m}^3/\text{dm}^3$.

$S = 1.643,00\text{m}^2$

$Ce = 0,9$

G= consumo del *Punt Verd* = $3052,00\text{m}^3/\text{año}$

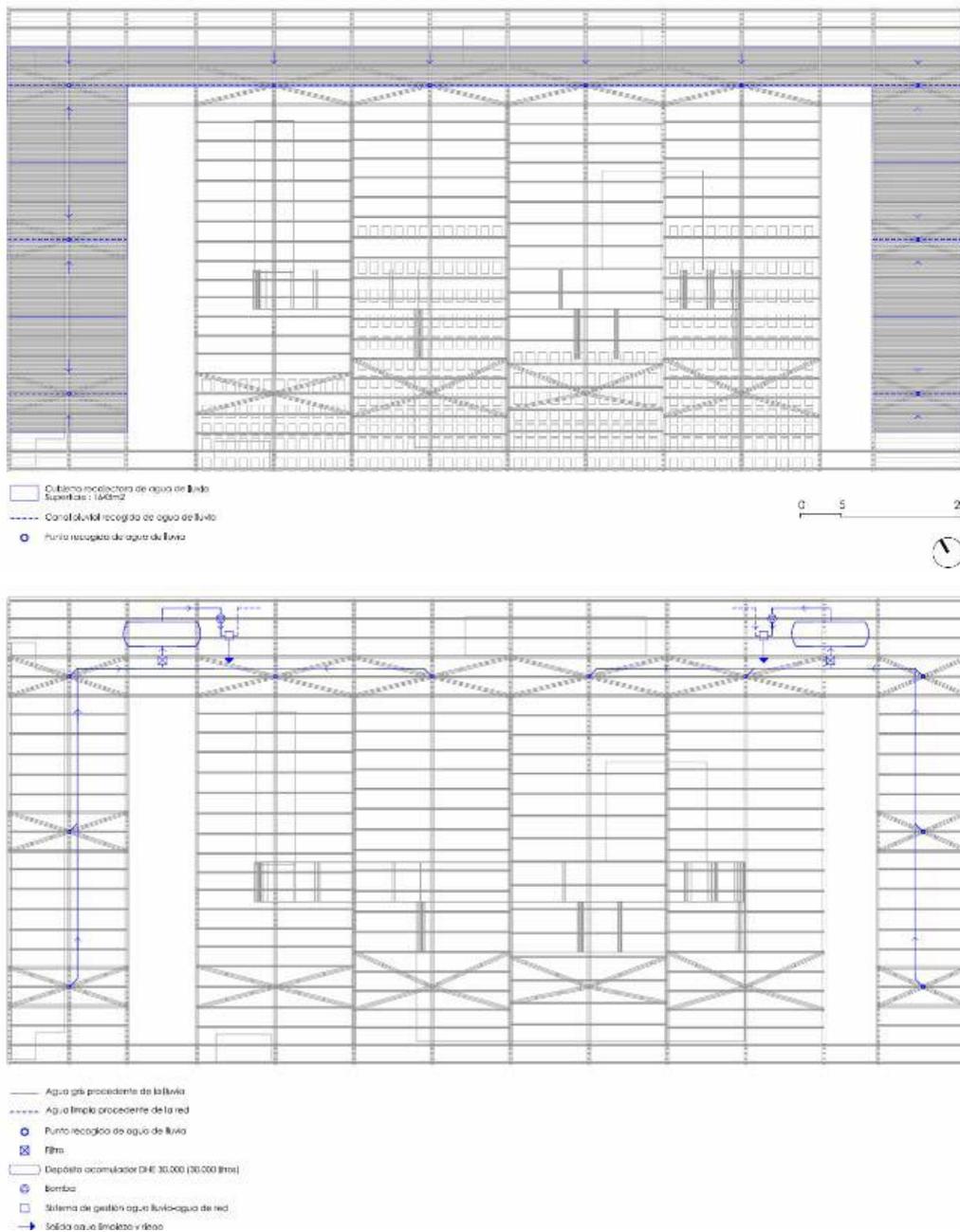
V= volumen recogido en la cubierta procedente de la lluvia $1.021,04 \text{ m}^3/\text{año}$ (lo que constituye el 33,45% del consumo total)

Fuente: Elaboración propia.

B - Dimensionado del depósito de acumulación

Para determinar el volumen del depósito de acumulación se ha escogido el dato correspondiente al mes de mayor pluviométrica, en este caso es Febrero: $120,40 \text{ (l/m}^2\text{)} = 178 \text{ m}^3$. El depósito de acumulación tendrá que poder acumular una cantidad correspondiente al 30% del máximo valor mensual: $30\% \text{ de } 178 = 53,4 \text{ m}^3$. Capacidad del depósito de acumulación = 55 m^3 . En este caso y debido a la gran superficie de cubierta y para optimizar los recorridos de los conductos se propone dos depósitos de 30 m^3 cada uno (ver Figura 18).

Figura 18. Planta del esquema de recolección v acumulación



Fuente: Elaboración propia.

C - Reducción de los malos olores producidos por la descomposición de la materia orgánica, mediante aireación

La acumulación en los envases de restos de residuos orgánicos vegetales (verduras y frutas) y animales (carnes y pescados) acomete espontáneamente y rápidamente una serie de procesos de fermentación y putrefacción que producen malos olores y sustancias tóxicas. Estos procesos de putrefacción son directamente proporcionales a los incrementos de temperatura, humedad y anoxia en el sistema de almacenamiento.

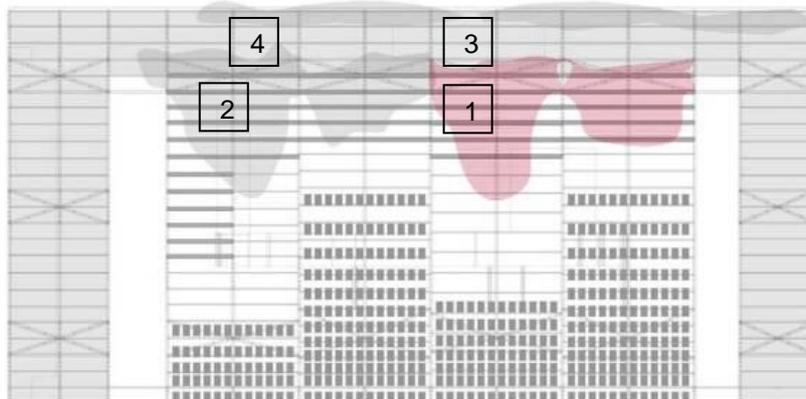
La aireación forzada por la brisa marina y la reducción del diferencial térmico que se generan por el propio diseño, tienen las siguientes ventajas. En primer lugar la aireación-ventilación elimina por dilución gaseosa los malos olores que puedan acumularse. Por otro lado, la aireación forzada implementada en la instalación actual implica una oxigenación que inhibe los procesos de fermentación y putrefacción con la consiguiente reducción de sustancias de malos olores que incluso pueden llegar a ser nocivas para la salud (caso del SH₂) de los empleados de la planta. Los contenedores multicapa con orificios de forma y diámetro variables facilitan la aireación y los flujos de aire con la consiguiente oxigenación, que puede optimizarse si se utilizan toberas direccionales de flujo forzado. Otra ventaja de la aireación-ventilación es que no sólo inhibe los procesos de degradación anaerobios sino que acelera los procesos de degradación aerobios con lo que se acelera el proceso degradante, facilitando por tanto el proceso de producción de compost en caso de que los residuos se trasladen a una planta de compostaje.

D - Cubierta vegetal con especies aromáticas

La cubierta vegetal se acomoda a la estructura y al modulado de la cubierta. Las correas estructurales que estabilizan las jácenas principales, actúan como maceteros en los que plantar las especies trepadoras. Entre esos maceteros se coloca una malla electrosoldada por la que estas plantas podrán trepar. Sin embargo, estos maceteros no llegan a cubrir toda la zona trasera del punto verde. Por un lado tenemos la parte de cubierta opaca que utilizamos para la recogida de aguas pluviales y, por otro, no agotamos la superficie restante para esta cubierta vegetal ya que esa vegetación podría acercarse demasiado a las placas fotovoltaicas y reducir su eficacia.

El riego se realiza a partir de la recogida de aguas pluviales de las zonas de cubierta *opaca* adyacente a esta cubierta vegetal. Esta agua de lluvia se acumula en un depósito que suministrará el riego para esta vegetación. El circuito de riego gota a gota subirá a partir de los pilares, situados entre la zona de recogida y la cubierta vegetal, y se distribuirá a partir de las jácenas estructurales entrando dentro de los diferentes maceteros. Las especies seleccionadas permiten reducir el consumo de agua para riego al ser especies que soportan bien la sequía (ver Figuras 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25).

Figura 19. Planta de la distribución de especies vegetales sobre la cubierta:
1 - *Cestrum nocturnum*, 2 - *Lonicera japónica*, 3 - *Jasminum grandiflorum*,
4 - *Trachelospermum jasminoides*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20. 1 - *Cestrum nocturnum*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21. 2 - *Lonicera japónica*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. 3 - *Jasminum grandiflorum*



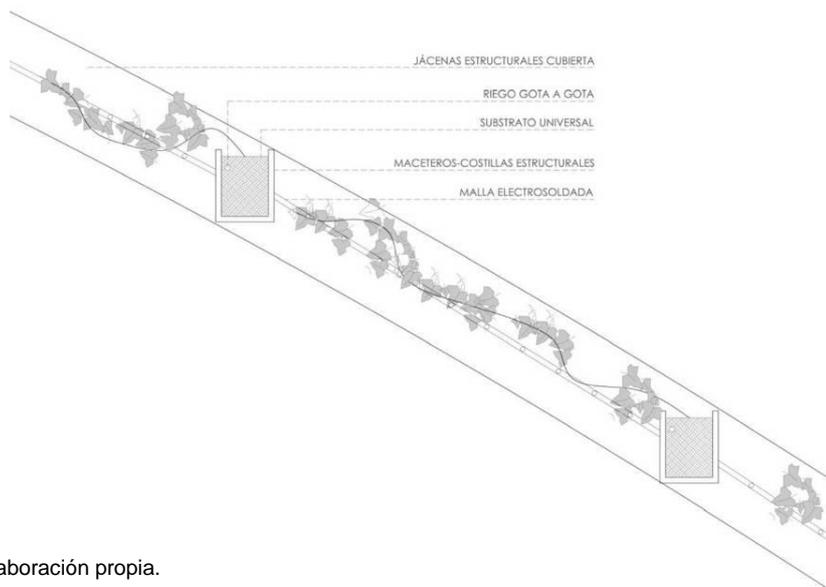
Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. 4 - *Trachelospernum jasminoides*



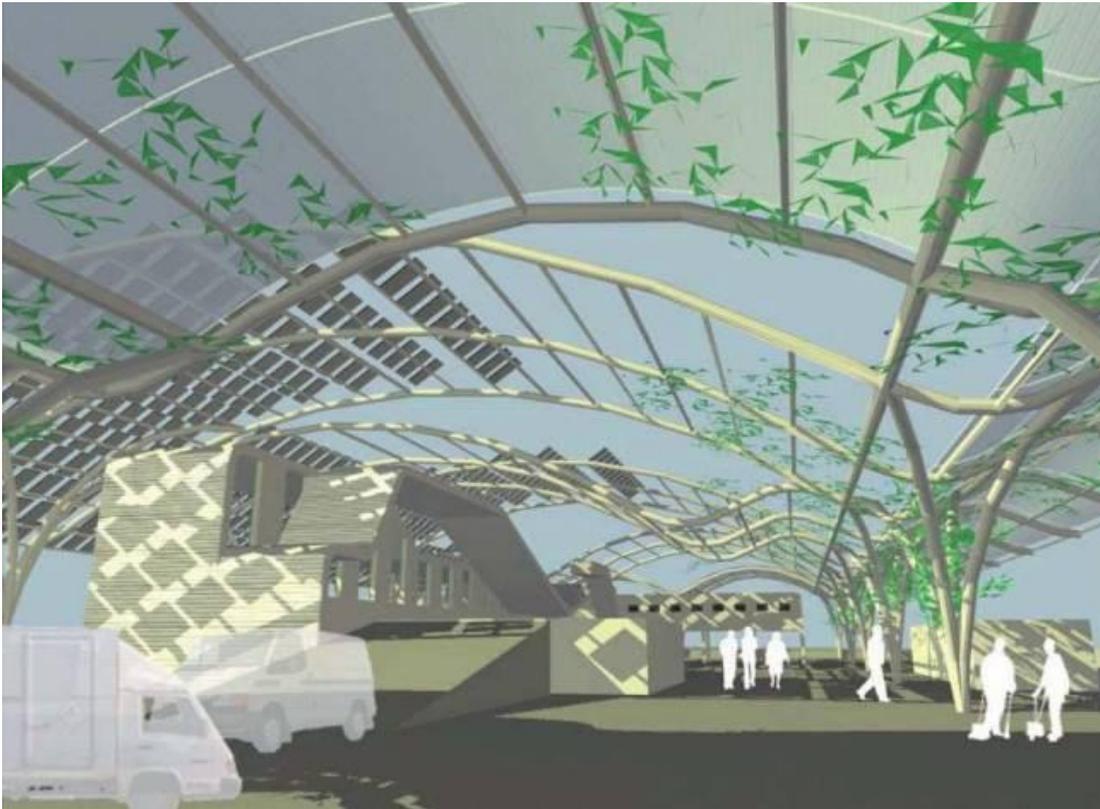
Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. **Detalle de la cubierta vegetal**



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Render del aspecto interior de la instalación con la cubierta verde



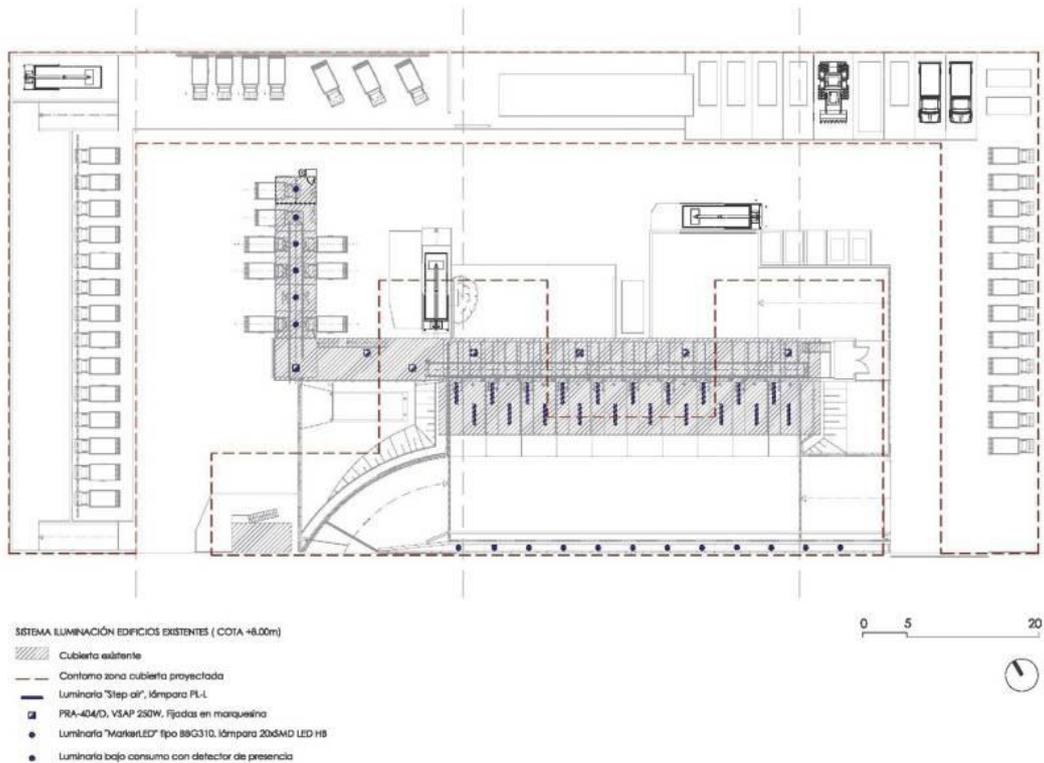
Fuente: Elaboración propia.

E - Mejora del Sistema de iluminación

Se propone un sistema de iluminación mejorado que se divide en dos subsistemas:

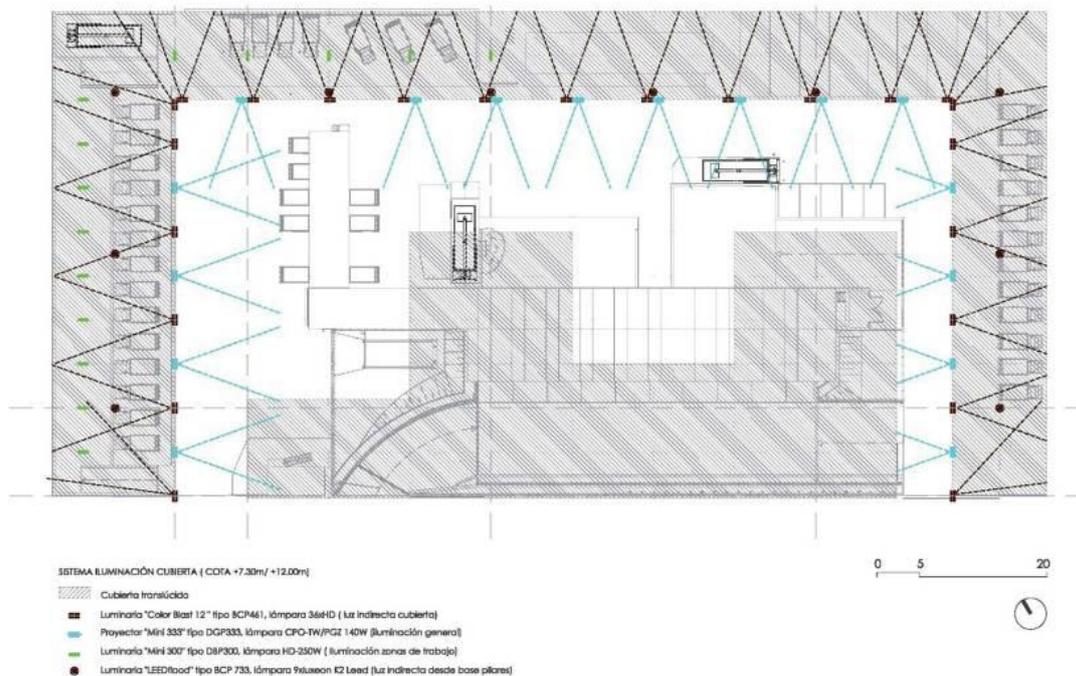
- El primero incluye las zonas del *Punt Verd*, que están dotadas en la actualidad de un sistema de iluminación independiente (afecta básicamente en las zonas cubiertas actualmente), en estas zonas se propone cambiar los sistemas de iluminación existentes por sistemas de bajo consumo. Se propone también utilizar sistemas de encendido por detectores de presencia en las zonas interiores de los edificios y sistemas de encendido por control de luminosidad en las áreas exteriores.
- El segundo subsistema está directamente relacionado con la cubierta proyectada, y se ha concebido con la intención por un lado de dotar a toda el área del *Punt verd* de una iluminación general, especialmente en las zonas de tránsito y de trabajo, y por otro lado con la intención de potenciar la estructura proyectada utilizando sistemas de iluminación indirecta que iluminan la cubierta, mediante luminarias con *leds* de color, que permiten la creación de efectos de color que conviertan al *Punt Verd* en un punto de referencia. La instalación de iluminación se caracteriza por un bajo consumo energético, que da lugar a un coste promedio de energía de poco más de 1euro/hora, generando una reducción de energía de hasta un 80%. La iluminación se refuerza en las zonas donde se prevén trabajos puntuales, con luminarias que funcionen con detectores de presencia (ver Figuras 26, 27, 28 y 29).

Figura 26. Detalle de la iluminación actual



Fuente: Elaboración propia a partir de la información suministrada por Mercabarna.

Figura 27. Detalle de iluminación complementaria propuesta



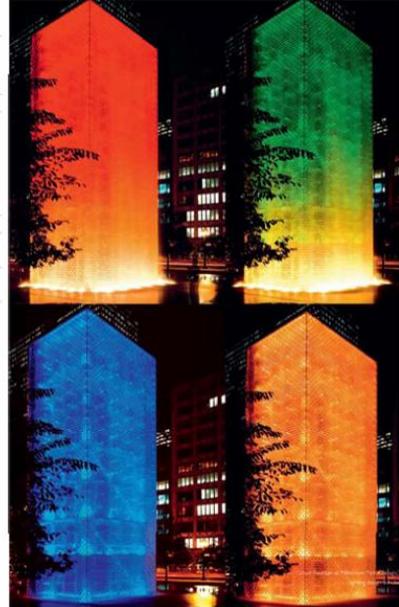
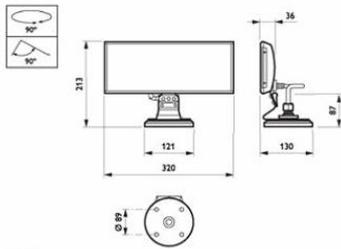
Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Iluminación mediante luminarias con *leds* de color

ILUMINACIÓN INDIRECTA

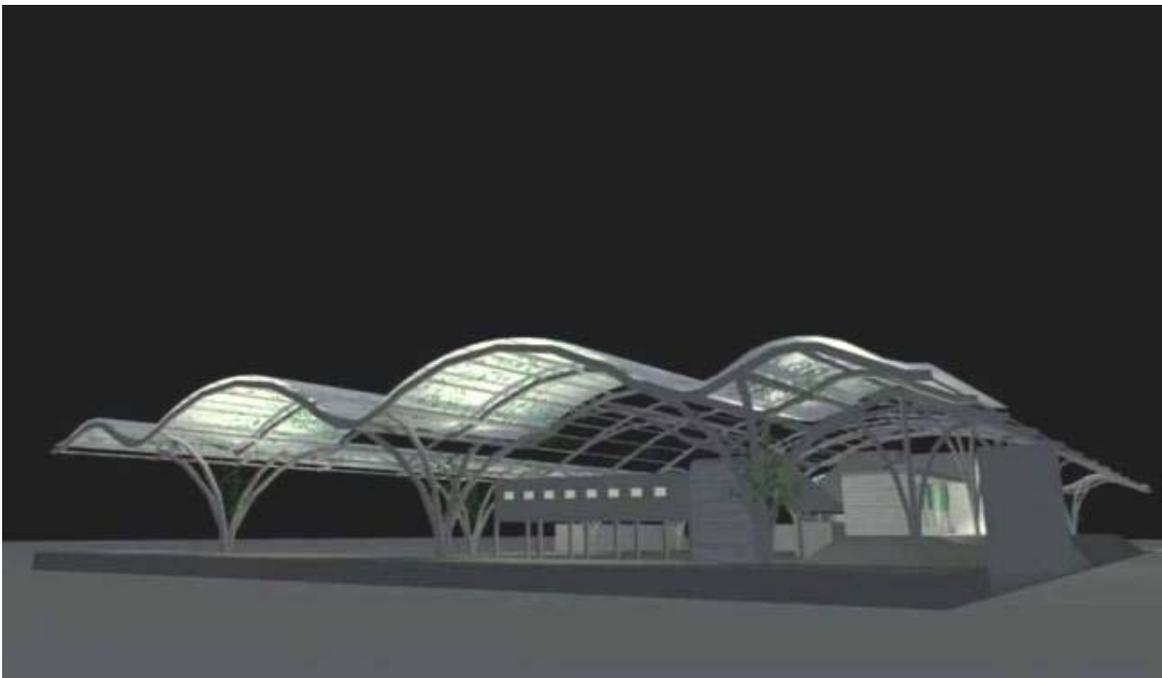
ColorBlast 12

ColorBlast 12		Color	Negro (BK) o blanco (WH)
Tipo	BCP461	Instalación	Montaje adhesivo
Tipo de lámpara	36 x LED 1-0		Temperatura inicial: -20°C < T _a < 50°C
Color de luz	Rojo, verde, azul (RGB)		Temperatura operativa: -40°C < T _a < 50°C
Alimentación eléctrica	24 V DC		Base articulada: rotación post instalación hasta 350°
Consumo de potencia	Máx. 50 W		Rotación bisagra: 110°
Óptica	Haz estrecho: 10° Haz medio: 2.3°	Vida útil	50.000 horas a 50°C (cumple con IES LM-79-08)
Sistemas de control	Compatible con la línea de controladores Philips DMX	Observaciones	El suministro de alimentación/datos, el equipo de control y los cables se deben pedir por separado
Materiales y acabado	Carcasa: fundición de aluminio Cubierta: vidrio templado, transparente o mate	Aplicaciones principales	Exteriores e interiores arquitectónicos (iluminación por proyección)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Render simulando la iluminación nocturna



Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión y Conclusiones

En un futuro no muy lejano, la implementación progresiva de la EPDB en el sector de la edificación liderará el proceso de transición hacia nuevos edificios en los que la concepción energética será una premisa fundamental. Ello representa un nuevo desafío para los arquitectos puesto que cambiará la manera como tenemos que diseñar los futuros edificios.

Desde el punto de vista didáctico las aportaciones de este artículo pueden resumirse así:

- A manera introductoria, se explica el marco interpretativo y las implicaciones prácticas de la EPDB.
- Para el desarrollo de la propuesta se propone una metodología novedosa en la que asume una gran importancia la utilización de herramientas de software específicas para comprobar el comportamiento, frente a su entorno climático, de la solución proyectual desarrollada inicialmente de una manera intuitiva.
- Se muestra como con las correspondientes modificaciones arquitectónicas, cualquier edificio actualmente existente podría asumir el objetivo NZEB y ser capaz de producir energía a partir de fuentes renovables en el propio edificio o en su entorno (en el ejemplo presentado se generaría el 100% de la energía que se consume).

La propuesta presentada trasciende el tema de la pura generación energética fotovoltaica y adicionalmente incorpora toda una serie de mejoras ambientales:

- Desde una perspectiva ecosostenible, la utilización directa de las aguas de lluvia supone un paso más en la implementación de las estrategias de optimización de recursos hídricos (en el ejemplo presentado el agua de lluvia recolectada supone el 33,45% del consumo total).
- Desde el punto de vista paisajístico, el desarrollo de cubiertas vegetales que mejoren la calidad del aire (consumo de CO² y producción de aromas) representa una opción estética de indudable valor ético, ya que nos recuerda a nivel simbólico y práctico la importancia del paisaje vegetal en la calidad de vida en términos estéticos y de salud.
- La implementación de las estrategias pasivas en el proyecto como la generación de sombra y los sistemas de aireación natural forzada, aunque no pueden resolver por sí solos los problemas de la producción de malos olores de los residuos vegetales y animales, representan una primera opción de bajo coste y que no excluye otras implementaciones basadas en sistemas de estanqueidad, evacuación por aspiración y aplican de perfumes de cobertura, sistemas todos ellos no siempre suficientes y de costes y complejidad de gestión muy superiores.
- Es un ejemplo demostrativo de que la concepción energética de la arquitectura, utilizando en el proceso de diseño herramientas bioclimáticas, de eficiencia energética con aprovechamiento activo de energías renovables y la consideración cíclica de consumo de recursos, es la vía apropiada para reducir la huella de carbono.

Finalmente cabe concluir que la aportación más útil de esta investigación aplicada radica en primer lugar en su capacidad para inspirar y orientar a Arquitectos e Ingenieros en las futuras rehabilitaciones energéticas de los edificios existentes en nuestro país, para su conversión en

NZEB - esta propuesta es la demostración práctica de que la sostenibilidad no sólo no es un obstáculo para el diseño sino que constituye una magnífica oportunidad para la creatividad - y en segundo lugar en su aptitud para influenciar sectores productivos muy afectados por la actual crisis económica. Los ejemplos demostrativos, como el presentado en este artículo, pueden ayudar a disminuir la resistencia del sector de la construcción a la adopción de estas premisas, permitir superar el concepto teórico para convertirlo en una realidad que pueda ser aceptada por el mercado y generar con ello actividad económica.

Agradecimientos

Esta investigación aplicada ha sido desarrollada mediante el Convenio A00830 del CTT entre la Universidad Politécnica de Cataluña y Mercabarna. Se ha contado con la colaboración de los estudiantes del Máster *Arquitectura y Sostenibilidad* Gemma Teres, Gabriel Noguera, Laura Ceña y Albert Casanovas, que bajo nuestra dirección han desarrollado la propuesta gráfica, dibujando los planos y renders, y por lo tanto nos han ayudado enormemente en el desarrollo de esta propuesta.

Bibliografía

ATERSA. *Módulo A-230P de 60 células monocristalinas* [en línea] Disponible en: <<http://www.atersa.com/categoriaproductos.asp?param=1>>. 2012.

Centro de tratamiento de residuos sólidos, Teres, Noguera, Ceña y Casanovas. *Planta del levantamiento planimétrico del "punt vert"*. Mercabarna. Escala gráfica, 1:250, Barcelona 2012, 1 plano, 29,7x42 cm.

COMISIÓN Europea. *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión. Evaluación del programa nacional de reforma y del programa de estabilidad de ESPAÑA para 2012* [en línea] Fecha de consulta: 1 de junio de 2012. Disponible en: <http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/nd/swd2012_spain_es.pdf>. 2012.

CUCHÍ, A. i SOCIETAT ORGÁNICA. *Avaluació dels impactes ambientals, socials i econòmics del sector de la construcció a Catalunya* [en línea] Fecha de consulta: 1 de junio de 2012. Disponible en: <[http // .www20.gencat.cat/.../Estrategia%20per%20al%20de...](http://www20.gencat.cat/.../Estrategia%20per%20al%20de...)>. 2009.

DIRECTIVE 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings, Official Journal of the European Union, L153, 18.6.2010, pp. 13–35. (recast) (COM) (2008) 0780-C6-0413/2008-2008/0223 (COD) [en línea] Disponible en: <[http://www..europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/cls/cons_cons\(2010\)05386\(rev3\)/cons_cons\(2010\)05386\(rev3\)_en.pdf](http://www..europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/cls/cons_cons(2010)05386(rev3)/cons_cons(2010)05386(rev3)_en.pdf)>. 2009.

GENERALITAT de Catalunya. *Atlas de Radiació Solar a Catalunya - Edició 2000* [en línea] Fecha de consulta: 10 de junio de 2012. Disponible en: <http://www20.gencat.cat/docs/icaen/02_Energies%20Renovables/Documents/Arxius/Atlas%20de%20radiacio%20solar.pdf>. 2001.

GOOGLE Earth. Visión aérea del centro “punt vert” de Mercabarna [en línea] Fecha de consulta: 20 de mayo de 2012. Disponible en: <http://www.google.es/intl/es_es/earth/>. 2012.

MERCABARNA. *Tabla resumen de consumos de agua y electricidad del centro de tratamiento de residuos sólidos desde el año 2007 al año 2011*. Fecha de consulta 10 mayo de 2012.

MLENICK, E.; ATTIA, S.; VAN LOON, S. y KONDRATENKO, I. *IEA Net zero energy building: a review of current-SHC* [en línea] Fecha de consulta: 5 de junio de 2012. Disponible en: <<http://task40.iea-shc.org/data/sites/1/publications/DA-TP11-Mlecnik-2011-11.pdf>>. 2011.

NEWTON, P. y TUCKER, S. *Hybrid Buildings: a Pathway to carbon neutral housing. Transforming markets in the built environment: adapting to climate change*. En: *Architecture Science Review*, 53 (1): 95-106, 2010.

OMM. Organización Meteorológica Mundial. *Las concentraciones de gases de efecto invernadero alcanzan un nuevo record*. Comunicado de prensa nº 965 [en línea] Disponible en: <http://www.wmo.int/pages/mediacentre/.../pr_965_es.html>. 2011.

PLESS, S. y TORCELLINI, P. *Net-Zero Energy Buildings: A classification System Based on Renewable Energy Supply Options*. Technical Report NREL/TP-550-44566, National Renewable Energy Laboratory (NREL) [en línea] Disponible en: <http://www.nrel.gov/sustainable_nrel/pdfs/44586.pdf>. 2010.

PLESS, S. y TORCELLINI, P. *Towards Net Zero Energy Solar Building*. Technical Report, NREL/TP-550-44586, National Renewable Energy Laboratory (NREL) [en línea] Disponible en: <<http://www.iea-shc.org/task40>>. 2010.

PNUMA. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *Informe: Perspectivas del Medio Ambiente Mundial GEO-5 del PNUMA* [en línea] Fecha de consulta: 21 de julio de 2012. Disponible en: <http://www.pnuma.org/geo/GEO5_SPM_sp_lowres_FINAL9marchweb.pdf>. 2012.

REE. Red Eléctrica de España. *La demanda de energía desciende un 1,2% en 2011* [en línea] En: *Entrelineas, revista digital de Red Eléctrica de España*, 23. Disponible en: <<http://www.revistaentrelineas.es/observatorio/la-demanda-de-energia-electrica-desciende-un-1-en-el-2011>>. 2012.

VOSS K.; SARTORI, I. y LOLLINI, R. *Nearly-zero, NetZero and Plus Energy Buildings-How definitions & regulations affect the solutions* [en línea] En: *REHVA Journal*. Disponible en: <<http://task40.iea-shc.org/publications>>. 2012.