

# HYDRO SOLAR 21 - ENERGÍAS RENOVABLES E HIDRÓGENO PARA EL ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO DE UN EDIFICIO

**HYDRO SOLAR 21 - A BUILDING ENERGETIC DEMAND PROVIDING SYSTEM BASED ON RENEWABLE ENERGIES AND HYDROGEN**



Rubén Renilla Collado  
Ingeniero Industrial  
Instituto Tecnológico de  
Castilla y León



Margarita Ortega Izquierdo  
Ingeniero Industrial  
Agencia Provincial de la  
Energía de Burgos

Recibido: 11/11/08  
Aceptado: 17/11/08

## RESUMEN

Hydro Solar 21 es un proyecto de innovación energética realizado en la ciudad de Burgos en el que se desarrolla un sistema basado en energías renovables para satisfacer la demanda de iluminación y de climatización de un edificio rehabilitado. La iluminación nocturna del edificio se satisface mediante la producción de electricidad en pilas de combustible alimentadas por hidrógeno producido por un sistema compuesto por dos aerogeneradores y un sistema fotovoltaico. Por otro lado el aporte de climatización se realiza mediante el uso de frigoríficos solares por adsorción que produce agua fría a partir de energía solar térmica.

**Palabras clave:** Hidrógeno, energía solar fotovoltaica, energía eólica, edificio sostenible, adsorción, frío solar, Hydro Solar 21.

## ABSTRACT

*Hydro Solar 21 is an energy innovation Project carried out in Burgos City to develop an energy production system based on renewable energies to satisfy light and air condition requirements of a restored building. Nocturnal light demand is satisfied with hydrogen consumption in fuel cells. This hydrogen is produced with an energy renewable system made up of two wind turbine generators and a photovoltaic system. The air conditioning demand is satisfied with an adsorption solar system which produces cold water using thermal solar energy.*

**Key words:** Hydrogen, photovoltaic solar energy, wind energy, sustainable building, adsorption, solar cold, Hydro Solar 21.

## 1.- NECESIDADES ENERGÉTICAS EN LOS EDIFICIOS

Las necesidades energéticas básicas de los edificios son la iluminación y la climatización. Esto permite garantizar un confort adecuado de sus ocupantes y unas condiciones aptas para su uso como centro de trabajo o de residencia. Estos dos conceptos son los de mayor impacto en la factura energética del mismo.

Un edificio, principalmente cuando su uso se destina a oficinas o lugar de trabajo, tiene unos requisitos altos de iluminación, aun disponiendo de luz natural es necesario aportar iluminación artificial. A su vez requie-

re de iluminación nocturna exterior para los accesos al edificio y la fachada.

También es cierto que las necesidades de climatización de los edificios, especialmente de los edificios de oficinas y lugares de trabajo, son cada vez mayores. El empleo de equipos informáticos y eléctricos que aportan una gran carga de calor al espacio habitado provoca esta necesidad. Se están ampliando por tanto las necesidades de refrigeración de los edificios, aumentado de este modo su consumo energético.

## 2.- HYDRO SOLAR 21 – PROYECTO DE INNOVACIÓN ENERGÉTICA

El proyecto *Hydro Solar 21* se plantea como un proyecto de innovación energética donde se valora la viabilidad del empleo de energías renovables para abastecer tanto parte de las necesidades de iluminación externa nocturna como de climatización de un edificio rehabilitado que alojará un semillero de empresas y un “call center”.

El objetivo es la rehabilitación de un edificio en desuso para su empleo como lugar de trabajo para nuevas empresas, abasteciendo parte de los consumos energéticos mediante energías renovables. Los frentes de trabajo son dos: mejorar las condiciones constructivas del edificio disminuyendo sus necesidades energéticas y proveer a dicho edificio, mediante instalaciones piloto, de iluminación y climatización con fuentes de energía renovable.

Como edificio anfitrión se ha seleccionado un antiguo edificio militar en desuso ubicado en el complejo de Villafraja en la ciudad de Burgos, junto a las instalaciones del *Centro Europeo de Empresas e Innovación de Burgos* (CEEI Burgos).

*Hydro Solar 21* está coordinado por la *Asociación Plan Estratégico de Burgos* y en él participan varios investigadores de la *Universidad de Burgos*, el *Ayuntamiento de Burgos*, el *Instituto de la Construcción de Castilla y León*, el *Instituto Tecnológico*

*de Castilla y León*, la *Agencia Provincial de la Energía de Burgos* y el *Centro Europeo de Empresas e Innovación de Burgos*. Este proyecto está cofinanciado por la *Unión Europea* dentro del programa *Life*. El *Ente Regional de la Energía de Castilla y León* (EREN) también colabora en el proyecto a través de la adquisición de parte de sus instalaciones.

El proyecto *Hydro Solar 21* a nivel técnico se desglosa en tres líneas de trabajo principales:

- Suministro de energía eléctrica para iluminación exterior nocturna a un edificio demostrativo a partir de pilas de combustible alimentadas por hidrógeno, producido por energía solar y energía eólica.

- Suministro de refrigeración a un edificio demostrativo producido mediante una instalación de refrigeración por adsorción solar.

- Rehabilitación y mejora del edificio para la disminución de la demanda energética debido a su uso.

Como resultado de la ejecución y puesta en marcha de la instalación prototipo se generará conocimiento sobre la viabilidad y los costes técnicos y económicos para la integración de tecnologías como son las energías renovables, la producción de hidrógeno y la producción de frío mediante adsorción. Este conocimiento permitirá en un futuro diseñar y plantear instalaciones “mixtas”, con distintas tecnologías, de forma más eficiente y con mayores rendimientos técnicos y económicos.

## 3.- EL HIDRÓGENO COMO SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Debido a que una característica inherente a las energías renovables es su estacionalidad, y su variabilidad en función de las condiciones climatológicas, en el proyecto *Hydro Solar 21* se ha planteado el uso del hidrógeno como elemento de almacenamiento de energía producida. Como energías renovables se emplea energía solar fotovoltaica y energía eólica para la producción de electricidad y energía solar térmica para la produc-

ción de frío mediante un ciclo de adsorción solar para la climatización del edificio.

El hidrógeno es uno de los vectores energéticos con más potencial y proyección a futuro en la actualidad. Se trata de un elemento en cuya combustión o consumo no se emite ningún gas contaminante, solo vapor de agua, y permite su uso como combustible para los vehículos de transporte. Por tanto el hidrógeno es empleado dentro del proyecto *Hydro Solar 21* como el elemento que conecta las necesidades de iluminación nocturna del edificio y la producción de energía eléctrica mediante fuentes renovables. La energía producida por los sistemas eólicos y fotovoltaicos es transformada en hidrógeno mediante la electrolisis y dicho hidrógeno es consumido en una pila de combustible cuando realmente es necesario el aporte de iluminación. De este modo se garantiza un suministro estable de energía eléctrica.

Paralelamente, para dar apoyo a la climatización del edificio a rehabilitar se plantea un conjunto de frigoríficos solares desarrollados por la Universidad de Burgos que funcionan en base al principio de la adsorción solar. La única fuente de energía para el funcionamiento de estos frigoríficos de adsorción es la energía solar térmica, sin uso de compresores o elementos mecánicos de compresión que consuman electricidad.

## 4.- PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

*Hydro Solar 21* persigue la evaluación técnica de los rendimientos obtenidos en la producción de energía eléctrica para la iluminación nocturna del edificio mediante energías renovables. Por ello en el diseño del sistema se emplean varias tecnologías y fuentes energéticas distintas, pudiendo así analizar las ventajas y desventajas de cada una de ellas. La producción de energía eléctrica esta planteada con los siguientes sistemas:

a) Sistema eólico formado por dos aerogeneradores de 20 kW de

potencia cada uno (ver figura 7).

b) Sistema solar fotovoltaico con seguidor solar de dos ejes de 10 kW de potencia (ver figura 6).

c) Sistema solar fotovoltaico fijo instalado en cubierta con 20 kW de potencia instalada (ver figura 8).

La potencia total instalada en sistemas de energías renovables para la producción de electricidad es de 70 kW de potencia, que por sus características producirán energía con distintos rendimientos, en distintos momentos y en distintas situaciones meteorológicas (ver figura 3). Se espera que el sistema eólico y el sistema solar se complementen, asegurando producción de energía la mayor parte del día tanto por uno como por el otro de los dos sistemas (ver figura 1).

La energía eléctrica producida por ambos sistemas, eólico y fotovoltaico, es convertida a una tensión de 400 Voltios en corriente continua mediante un inversor, alimentando un electrolizador de 18 kW de potencia que emplea un electrolito de KOH, solución al 30%, para la electrolisis del agua. De esta forma se convierte la energía eléctrica producida mediante energías renovables en hidrógeno, que realizará la función de sistema de almacenamiento de energía.

Durante esta conversión de energía eléctrica en hidrógeno se generan pérdidas de energía. La potencia suministrada por el sistema de energías renovables dependerá de la climatología, del nivel de radiación solar y de la velocidad del viento. El electrolizador comienza a producir hidrógeno cuando se suministra al menos el 15% de su potencia nominal. Se darán situaciones donde la potencia suministrada sea insuficiente para poner en funcionamiento el electrolizador y situaciones donde la potencia suministrada será mayor que la que pueda consumir el electrolizador. Debido a estas situaciones no es posible aprovechar el 100% de la energía de origen renovable.

El hidrógeno producido es almacenado en un conjunto de botellas a la presión producida en el electrolizador, que es algo mayor de 50 bares,

de tal modo que pueda ser consumido durante el horario nocturno para proveer de energía eléctrica al sistema de alumbrado exterior del edificio anfitrión. Para convertir el hidrógeno en energía eléctrica se emplean dos pilas de combustible de membrana polimérica (tipo PEM), de 5 kW de potencia cada una de ellas, que mediante dos inversores proveerán una corriente eléctrica de 220 voltios en alterna.

ción solar, a su vez, permiten calcular la producción de energía eléctrica producida y potencia suministrada por las instalaciones fotovoltaicas, tanto para la instalación fotovoltaica fija, como la instalación fotovoltaica con seguidor solar.

Se han introducido los rendimientos individuales de los distintos sistemas, parametrizando su comportamiento y aportando como datos de entrada las condiciones meteorológi-

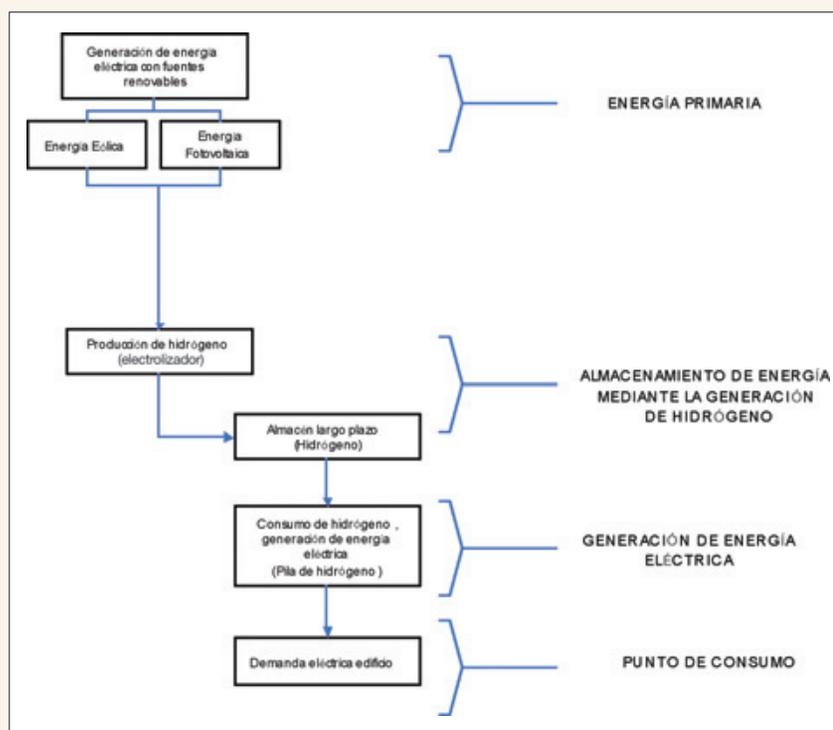


Figura 1. Esquema básico de la instalación.

#### 4.1- RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A partir de los datos climatológicos obtenidos de la estación meteorológica de Villafraía de velocidad del viento y los datos de radiación solar aportados el "sistema de información geográfico fotovoltaico" promovido por la Comisión Europea, la Universidad de Burgos ha realizado una simulación del comportamiento del sistema mediante el uso del software MATLAB. La velocidad del viento junto con la curva de potencia de los aerogeneradores permite calcular la potencia suministrada por los aerogeneradores. Los datos de radiación

de la zona. Estas simulaciones se han empleado para dimensionar correctamente tanto el electrolizador como el sistema de almacenamiento de hidrógeno. Se esperan obtener más de 100.000 kWh de energía primaria de las fuentes renovables (ver figura 2).

Los resultados de las simulaciones del sistema realizadas por la Universidad de Burgos han permitido decidir entre varias posibilidades la potencia a instalar tanto de energía renovable como la potencia a instalar para el electrolizador. El objetivo planteado es obtener un sistema donde se optimicen el funcionamiento del electrolizador, y el aprovechamiento de la

energía de origen renovable. Ha sido necesario sobredimensionar el sistema de producción de energía eléctrica mediante energías renovables para compensar el hecho de que dichos sistemas aportan energía en momentos distintos, y sólo puntualmente producen a carga máxima, garantizando que el aporte de potencia eléctrica es suficiente para el funcionamiento continuado del electrolizador.

Como ya se ha comentado, será inevitable que existan momentos puntuales donde se produzca más energía eléctrica de la que puede absorber el electrolizador. Mediante el sistema de control instalado para monitorizar y controlar el funcionamiento de la instalación se regulará la producción de energía eléctrica gestionando el funcionamiento de los aerogeneradores.

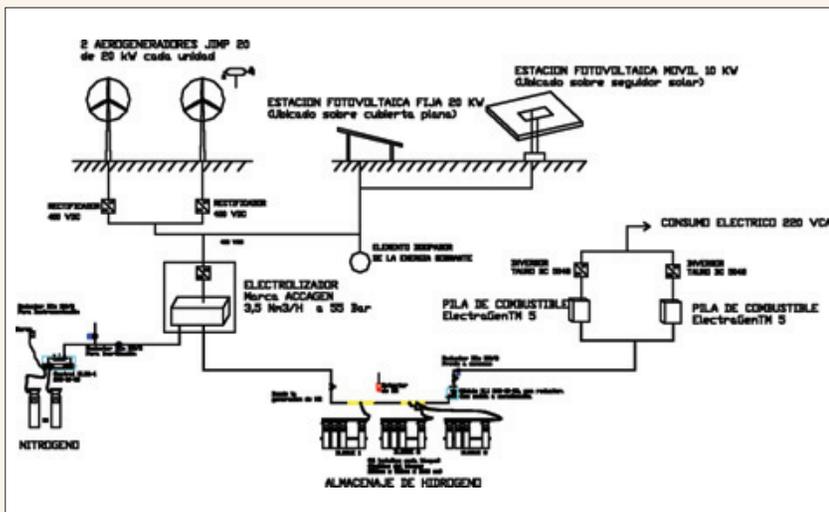


Figura 3. Esquema de la instalación para producción de hidrógeno y electricidad.

equivalente al consumo de 5 viviendas tipo medio según datos publicados por

en los procesos de conversión del hidrógeno, como son la producción en el electrolizador y su consumo en las pilas de combustible. Para hacernos una idea, una central térmica convencional produce electricidad con rendimientos comprendidos entre el 30-40 %, sin contar las pérdidas originadas en la redes de transporte de energía eléctrica.

Es importante tener en cuenta que en todo momento se trata de un proceso totalmente limpio sin ningún tipo de emisión de gases contaminantes. Mediante la energía producida con energías renovables, por el día en su mayor parte, se da servicio a las necesidades de iluminación nocturna del edificio.

Uno de los objetivos de *Hydro Solar 21* es poder validar los rendimientos esperados de todo el sistema y obtener datos que permitan en un futuro mejorar el diseño de este tipo de instalaciones para obtener rendimientos mayores. Se pretende validar la viabilidad técnica y económica de este tipo de soluciones y del uso del hidrógeno como elemento de almacenamiento de energía.

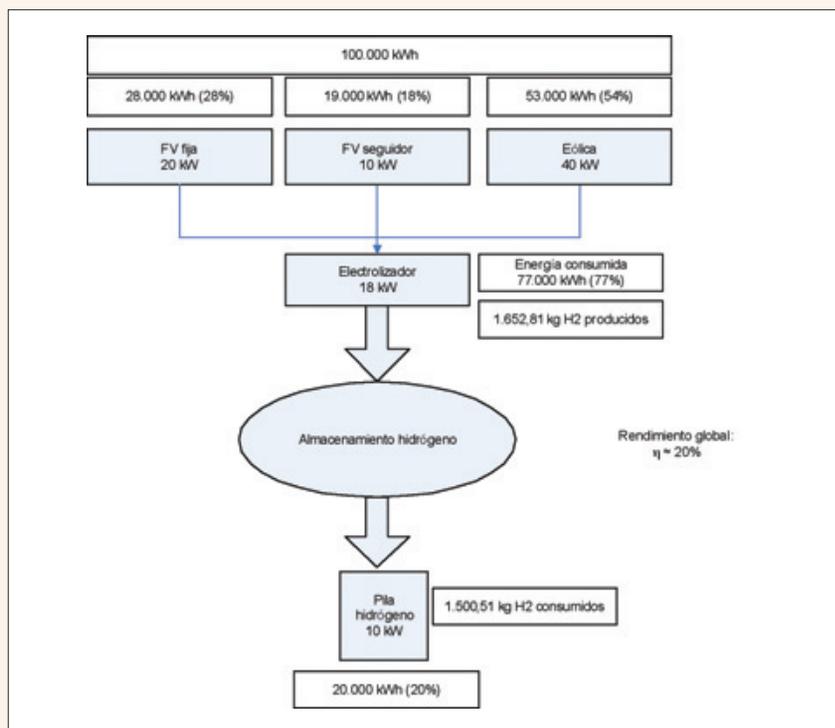


Figura 2. Estimación de energía a producir.

Como resultado de la simulación del comportamiento del sistema se espera una producción de hidrógeno de algo más de 1.600 kg en un año, lo que permitirá que las pilas de combustible produzcan energía eléctrica por el valor de 20.000 kWh. Esta energía sería el

el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

En base a estos datos y cálculos realizados, el rendimiento global de la instalación prototipo esperado se sitúa en torno al 20%. Las mayores pérdidas se espera que se produzcan

## 5.- ADSORCIÓN SOLAR PARA LA PRODUCCIÓN DE FRÍO

De forma paralela a la instalación de producción de energía eléctrica, se plantea una instalación prototipo de

enfriamiento con tecnología basada en el fenómeno de la adsorción. Mediante esta instalación se obtendrá un ciclo frigorígeno que produzca frío para satisfacer parcialmente la demanda de climatización del edificio anfitrión a partir de energía solar térmica.

El resto de la demanda de climatización del edificio, calefacción y resto de necesidad de refrigeración, serán suministrados por un sistema de climatización propio del edificio. El edificio irá equipado con una caldera de gas natural para el aporte de calefacción y agua caliente sanitaria apoyado por un sistema de placas solares térmicas de vacío. La parte de climatización que no se pueda satisfacer por el sistema de adsorción solar será aportada por un sistema comercial de absorción que funcionará a partir del calor producido por el conjunto de placas solares térmicas de vacío y las calderas de gas natural.

La tecnología de absorción solar se basa en el fenómeno físico de la adsorción de las moléculas de un gas adsorbato sobre la superficie de un sólido adsorbente, y de que la cantidad adsorbida depende de la temperatura del adsorbente (ver figura 4). En base a este fenómeno físico el Departamento de Física de la *Universidad de Burgos* ha diseñado prototipos de frigoríficos solares (ver figura 6) empleando carbono activo como adsorbente y metanol como adsorbato. Estas máquinas completan un ciclo frigorígeno que dura un día completo empleando la radiación solar como foco caliente para el funcionamiento del ciclo.

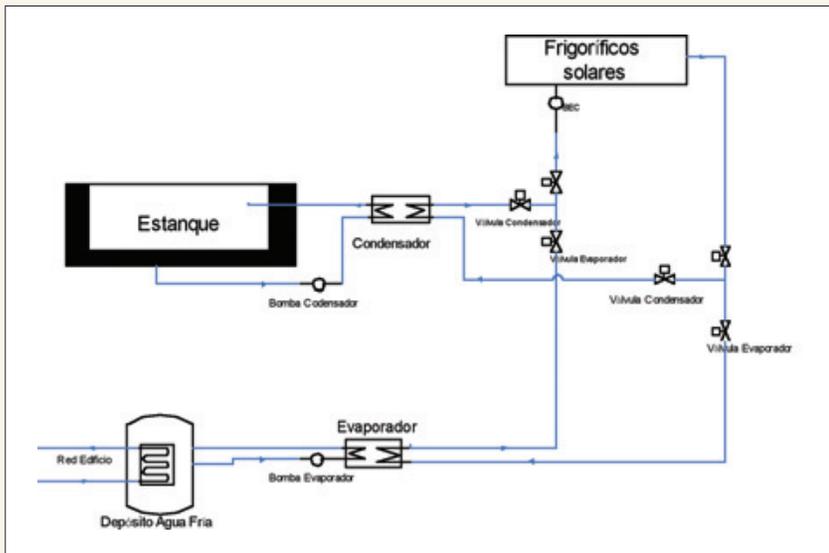


Figura 5. Esquema de la instalación de enfriamiento mediante adsorción solar.

Cuando el adsorbente es calentado (línea AB, calentamiento isostérico) se produce la desorción del adsorbato, aumentando la presión en la cámara. El adsorbato liberado se condensa cediendo su calor a un líquido refrigerante disminuyendo la presión del sistema y disminuyendo su temperatura (línea BC, desorción – condensación).

Posteriormente, cuando se enfría el adsorbente (línea CD, enfriamiento isostérico) comienza la adsorción del adsorbato por parte del adsorbente, disminuyendo la presión de la cámara. Mediante un fluido térmico se evapora el adsorbente condensado en la fase anterior para ser adsorbido por el elemento adsorbente (línea DA, adsorción – evaporación). El efecto frigorígeno se obtiene al evaporar el adsorbente que roba calor al fluido térmico reduciendo su temperatura.

disminuyendo la presión de la cámara. Mediante un fluido térmico se evapora el adsorbente condensado en la fase anterior para ser adsorbido por el elemento adsorbente (línea DA, adsorción – evaporación). El efecto frigorígeno se obtiene al evaporar el adsorbente que roba calor al fluido térmico reduciendo su temperatura.

### 5.1- CICLO DIARIO DE UN FRIGORÍFICO SOLAR DE ADSORCIÓN PARA PRODUCIR FRÍO

La fase de condensación del metanol (adsorbato) del ciclo frigorígeno se obtiene durante la fase diurna empleando como foco frío para la condensación del metanol agua almacenada en un estanque en las inmediaciones del edificio anfitrión. El sol se emplea como fuente de calor para aumentar la temperatura del carbono activo (adsorbente) (ver figura 5). Durante la noche se cierra el ciclo realizando la fase de evaporación del metanol del ciclo frigorígeno. Durante la etapa nocturna es cuando se obtiene el enfriamiento del agua que se empleará como fluido térmico para la climatización del edificio. El agua fría es almacenada en un depósito de unos 1.500 litros de capacidad realizando la función de foco caliente que cede calor para la evaporación del metanol. Dicha agua fría se introduce

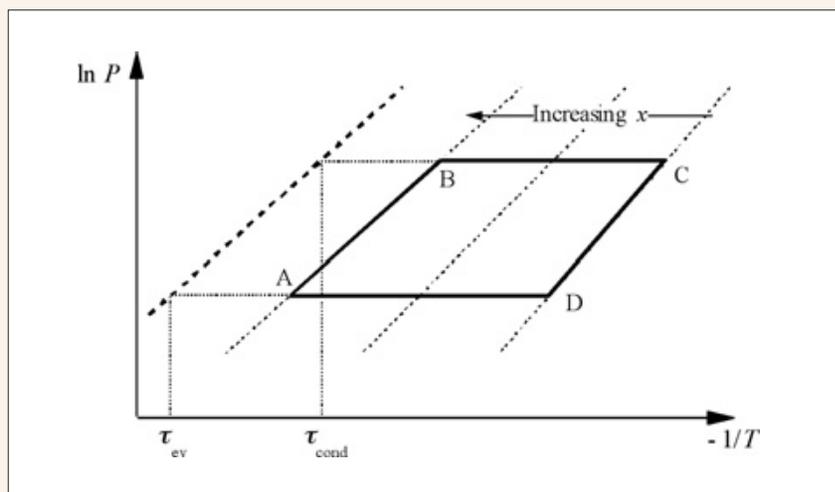


Figura 4. Ciclo ideal de adsorción.

en el circuito de agua fría de climatización del edificio para acondicionar el aire de las salas mediante fan coils.

La instalación piloto consta de 18 frigoríficos solares, con una potencia de 570 vatios cada uno de ellos,



Figura 6. Vista de los frigoríficos solares y el seguidor solar fotovoltaico

completando unos 10 kW de potencia total instalada. Las unidades fabricadas son prototipos por lo que la planta prototipo permitirá la medición del COP (Coeficiente de eficiencia energética) de los frigoríficos durante su funcionamiento en condiciones reales. Se espera obtener un valor del COP mayor al 10%, e información de su funcionamiento que permita desarrollar y mejorar su diseño para mejorar dicho valor en futuras versiones de los frigoríficos solares.

Mediante esta instalación se pretende desarrollar una tecnología muy poco usada en la actualidad para la obtención de frío mediante energía solar térmica. Se trata de aprovechar la coincidencia entre las épocas de mayor radiación solar con las épocas de mayor necesidad de climatización. Estos frigoríficos solares pueden per-



Figura 7. Vista de los aerogeneradores

mitir la obtención de puntos de frío en lugares aislados o refrigeración de edificios que no dispongan de suministro eléctrico únicamente con el sol como fuente de energía.

## 6.- EXPECTATIVAS DEL PROYECTO

*Hydro Solar 21* debe permitir avanzar un paso más en el desarrollo de sistemas mixtos que permitan la integración de distintas tecnologías. El binomio renovables – hidrógeno puede ser muy provechoso, ya que propone una tecnología limpia de producción y almacenamiento de energía que sustituya en un futuro, esperemos no muy lejano, a los combustibles fósiles actuales.

A su vez, se pretende demostrar que la integración de la tecnología de los sistemas renovables y del hidró-



Figura 8. Vista del edificio técnico auxiliar con cubierta fotovoltaica.

geno en los edificios puede ser posible, sin causar perjuicios a los usuarios de dichos edificios, con tecnologías fiables y seguras.

Está previsto que las instalaciones prototipo estén en marcha para finales de este año 2008, y poder recopilar datos de funcionamiento de la instalación durante todo el año 2009. Con la información recopilada y todo el conocimiento recogido se seguirá avanzando en el desarrollo de instalaciones a nivel comercial que permitan integrar en la edificación tecnologías con carácter renovable, mejorando la eficiencia energética de los edificios y disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles.

## 7.- BIBLIOGRAFÍA

- Arias-Ergueta PL, Cambra-Ibañez JF, Güemez-Bilbao MB, et al. "El hidrógeno como nuevo vector energético". DYNA Ingeniería e Industria Junio 2008. Vol.83-5 p.291-295.

- Ayoub M. Kazim. "Energetic efficiency of a PEM electrolyser at various operating temperatures". *Int. J. Exergy*. Vol.1, No. 1, 2004.

- Correas-Husón L, Aso-Aguarta I, Burkhalter E. "Energía eólica e hidrógeno, una simbiosis anticipada". DYNA Ingeniería e Industria abril 2008. Vol.83-3 p.127-133.

- Electric Energy On-Line, News, [www.electricenergyonline.com](http://www.electricenergyonline.com), 2004.

- EPRI CT Center [www.eprictcenter.com](http://www.eprictcenter.com) (Noviembre 2008).

- González-Martín MI. "Tesis refrigeración solar por adsorción con sistema de captación cpc: experimentos y modelo". Universidad de Burgos, Escuela Politécnica Superior, Física del Medio Ambiente, 2006.

- Larminie J, Dicks A. *Fuel Cell System Explained*. Wiley New York.

- Peavy MA. *Fuel From Water*. Merit Inc Louisville. ■