



**Congreso Nacional del Medio Ambiente**  
Cumbre del Desarrollo Sostenible

**COMUNICACIÓN TÉCNICA**

# El hidrógeno limpio como solución de futuro. Proyecto HYDROSOLAR 21

Autor: Santiago Ojeda Arriaga

Institución: Universidad de Burgos

E-mail: [Ircano@ubu.es](mailto:Ircano@ubu.es)

Otros autores: Luis R. Rodríguez; Rolando Valdés



## RESUMEN:

El panorama actual de la producción de energía presenta dos graves problemas bien conocidos: el agotamiento de los recursos no renovables en un plazo de tiempo incompatible con la esperanza de vida en la Tierra y la contaminación ambiental relacionada con el quemado de los combustibles. Estos problemas motivan la búsqueda de fuentes de energía perdurables y limpias que, junto con otras medidas como el ahorro y la eficiencia en el proceso de producción y consumo de energía y el desarrollo de sistemas generalizados de acumulación de energía limpios, solucionen el abastecimiento energético a medio y largo plazo de manera compatible con las formas de vida en la Tierra. En el proyecto LIFE: HYDROSOLAR 21 que presentamos se plantea como uno de sus objetivos la producción de hidrógeno a partir de las fuentes de energía eólica y fotovoltaica, su almacenamiento en fase gaseosa en depósitos a presión y su quemado en pilas de combustible. Objetivos de la instalación de hidrógeno:

- ° Diseño y cálculo de una planta aislada para la generación de hidrógeno combustible mediante energías renovables limpias.
- ° Alimentación del sistema mediante generadores eólicos y fotovoltaicos actuando de forma conjunta.
- ° Acoplamiento de ambas fuentes al electrolizador mediante un subsistema de acondicionamiento de potencia.
- ° Acoplamiento del generador de hidrógeno a una pila de combustible mediante un sistema de almacenamiento.
- ° Estimación del rendimiento de la planta.
- ° Diseño del sistema de regulación y control de la planta.
- ° Optimización del funcionamiento global del sistema.



## INTRODUCCIÓN

La producción de energía a partir de fuentes no renovables presenta, entre otros, dos problemas bien conocidos: el agotamiento de los recursos en un plazo de tiempo incompatible con la esperanza de vida en la Tierra y la contaminación ambiental relacionada con el quemado de los combustibles. El primero es irresoluble mientras que las posibles soluciones al segundo carecen, por razones económicas y técnicas, de posibilidades de aplicación en la mayoría de los casos. Como es conocido, una solución a estos problemas es utilizar fuentes renovables y limpias tal como lo son la energía solar o la eólica. Este tipo de fuentes está sometido a las condiciones de intermitencia propias de los fenómenos naturales por lo que para que su aplicación sea universal es preciso disponer de un buen sistema de almacenamiento de los excedentes de energía. De esta manera se puede desacoplar la producción del consumo con lo que se resuelve el gran problema de la intermitencia en la generación y el no menor del acoplamiento de estas fuentes a la red.

El trabajo que presentamos es el diseño de la parte de hidrógeno de un proyecto de la Comisión Europea que estamos desarrollando en el departamento de Física de la Universidad de Burgos. Con este proyecto: "LIFE05 ENV/E/000333 HYDRO SOLAR 21", cofinanciado por la Comisión Europea en el programa "Life Medioambiente 2004", se pretende mostrar, como experiencia piloto, tanto la viabilidad de la refrigeración solar como la de la generación, almacenamiento y consumo en pila de combustible del hidrógeno producido mediante energías eólica y fotovoltaica. Para la generación, almacenamiento y consumo del hidrógeno se ha diseñado una minicentral de 70 kWp. La energía producida se aplica al abastecimiento de un edificio de 2.200 m<sup>2</sup> de planta, que está siendo rehabilitado con criterios de sostenibilidad. La energía eléctrica producida por la minicentral de hidrógeno se empleará en la iluminación externa del edificio y en alimentar las necesidades eléctricas de la minicentral de frío.

La duración del proyecto es de tres años, desde diciembre de 2005 hasta noviembre de 2008; su presupuesto total es de 3.283.929,00 € siendo la subvención total de 1.499.224,00 €. La Universidad de Burgos es uno de los siete socios participantes y está encargada de la tarea del desarrollo científico y técnico, para lo que dispuso inicialmente de un presupuesto de 959.747,52 €. Posteriormente se incrementó dicho presupuesto en 200.000 € gracias a una subvención del Ente Regional de la Energía de la Junta de Castilla y León. El resto de los socios participantes realizan tareas de coordinación, de gestión y de difusión del proyecto. Estos socios son: Asociación Plan Estratégico Ciudad de Burgos, Ayuntamiento de Burgos, Instituto de la Construcción de Castilla y León, Instituto Tecnológico de Castilla y León, Centro Europeo de Empresas e Innovación y Agencia Provincial de la Energía de Burgos.

## OBJETIVOS DE LA PLANTA DE HIDRÓGENO

- Producción de hidrógeno mediante generación eólica y fotovoltaica combinada

Tanto la fuente eólica como la solar fotovoltaica son de naturaleza intermitente por lo que la energía eléctrica que producen tiene limitada su integración en la red eléctrica. A pesar de ello estas fuentes están experimentando un fuerte desarrollo en muchas zonas y particularmente en España, lo que aconseja buscar soluciones que permitan romper las limitaciones en su crecimiento. Tomando estas dos fuentes para su uso



conjunto en una central de hidrógeno se disminuye su intermitencia y se pueden aprovechar los recursos de manera más eficaz en zonas razonablemente ventosas y soleadas

- Acoplamiento de ambas fuentes al electrolizador mediante un subsistema de acondicionamiento de potencia.

Dado que en este trabajo se van a utilizar fuentes de distinta naturaleza, se persigue como objetivo que un único acondicionador de potencia sirva de interfaz entre las fuentes y el electrolizador. De esta manera optimizamos el funcionamiento del equipo de electrolisis.

- Acoplamiento del generador de hidrógeno a una pila de combustible mediante un sistema de almacenamiento.

Se toma como objetivo la máxima protección del medio ambiente por lo que la generación de energía eléctrica para el consumo se realizará el acoplamiento del generador de hidrógeno a una pila de combustible mediante un sistema de almacenamiento.

- Estimación del rendimiento de la planta.

Como etapa previa al desarrollo preindustrial de la planta se obtendrá una estimación de su rendimiento en función de las características del viento y de la irradiancia local y de las características técnicas de los equipos previstos.

- Determinación de los parámetros para la regulación y control de la planta.

Otro de nuestros objetivos es el funcionamiento optimizado y automático de la planta. En esta situación es preciso determinar los parámetros esenciales para conseguir mediante la regulación de los procesos dicho funcionamiento.

- Estudio inicial de la viabilidad del sistema.

El grado de consecución de los objetivos previos anteriores nos permitirá establecer una estimación de las posibilidades de desarrollo industrial del sistema.

## **ANTECEDENTES**

El almacenamiento de energías renovables para salvar la disparidad entre la curva de generación y la de demanda es un reto planteado desde hace mucho tiempo. Uno de los medios para poder lograrlo es la transformación de la energía eléctrica procedente de generadores eólicos y fotovoltaicos en hidrógeno a través de un proceso electrolítico. Este gas se puede almacenar y posteriormente se puede utilizar como combustible.

Se han realizado instalaciones prototipo de acoplamiento de electrolizadores a fuentes fotovoltaicas y eólicas en distintos lugares del mundo. [1]. La gran mayoría de

estos trabajos emplean exclusivamente un única fuente, fotovoltaica, siendo menor el número de proyectos que trabajan con eólica. Sólo algunas instalaciones de laboratorio hacen uso de dos fuentes al unísono.

Al inicio de este proyecto no había instaladas plantas de producción de hidrógeno electrolítico que inyectaran potencia eólica y fotovoltaica a un electrolizador de agua de forma aislada de la red, por lo que se abrió una oportunidad a la innovación en este campo desarrollando plantas de producción de hidrógeno electrolítico de origen limpio.

### **UBICACIÓN DE LA PLANTA.**

La planta está ubicada en las inmediaciones del aeropuerto de Villafría, Burgos (España) en un terreno boscoso propiedad del Ayuntamiento de la capital y sometido a diversos tipos de protecciones y servidumbres. En concreto la servidumbre aérea limita la altura a la que se pueden elevar los aerogeneradores, mientras que la protección de la fauna del bosquecillo obliga a situar dichos aerogeneradores en el exterior del perímetro del arbolado. Estas dos limitaciones condicionan el desarrollo del proyecto, sin embargo y dado que éste tiene un fin demostrativo, la ubicación de la planta junto al edificio de utilización proporciona una evidente ventaja en cuanto a su utilidad. En la figura 1 se ilustra un esquema de la instalación.

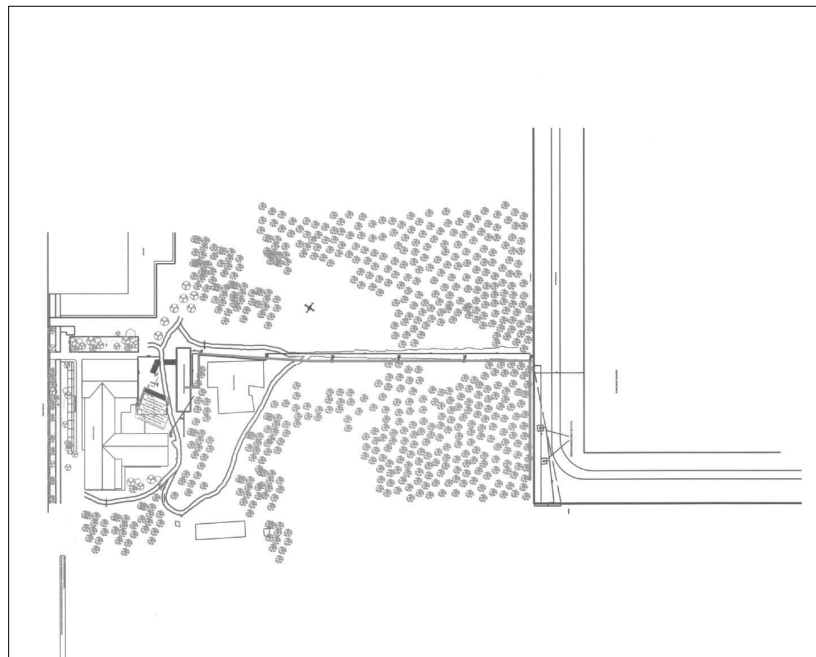


Figura 1. Ubicación de la planta de hidrógeno

### CONDICIONES INICIALES.

El emplazamiento disponible goza de buenas condiciones de insolación y de viento. No obstante existen ciertos obstáculos que apantallan parcialmente los generadores con la consiguiente pérdida del potencial de aprovechamiento.

Respecto de la insolación, el número medio anual de horas de sol en Burgos es de 2.183. En el cuadro 1 se indican los valores medios de la irradiancia anual sobre superficie horizontal medidos en una estación situada en las inmediaciones de la ubicación de la planta de hidrógeno.

	Radiación solar media anual					
Año	2001	2002	2003	2004	2005	2006
W/m <sup>2</sup>	244	174	168	160	175	172

Cuadro 1. Irradiancia media anual sobre superficie horizontal entre 2001 y 2006 [2]

En la figura 2 se representan los niveles de irradiancia sobre superficie horizontal entre enero de 2001 y octubre de 2003, para varias localizaciones, siendo BU5 la que corresponde a las inmediaciones la planta.

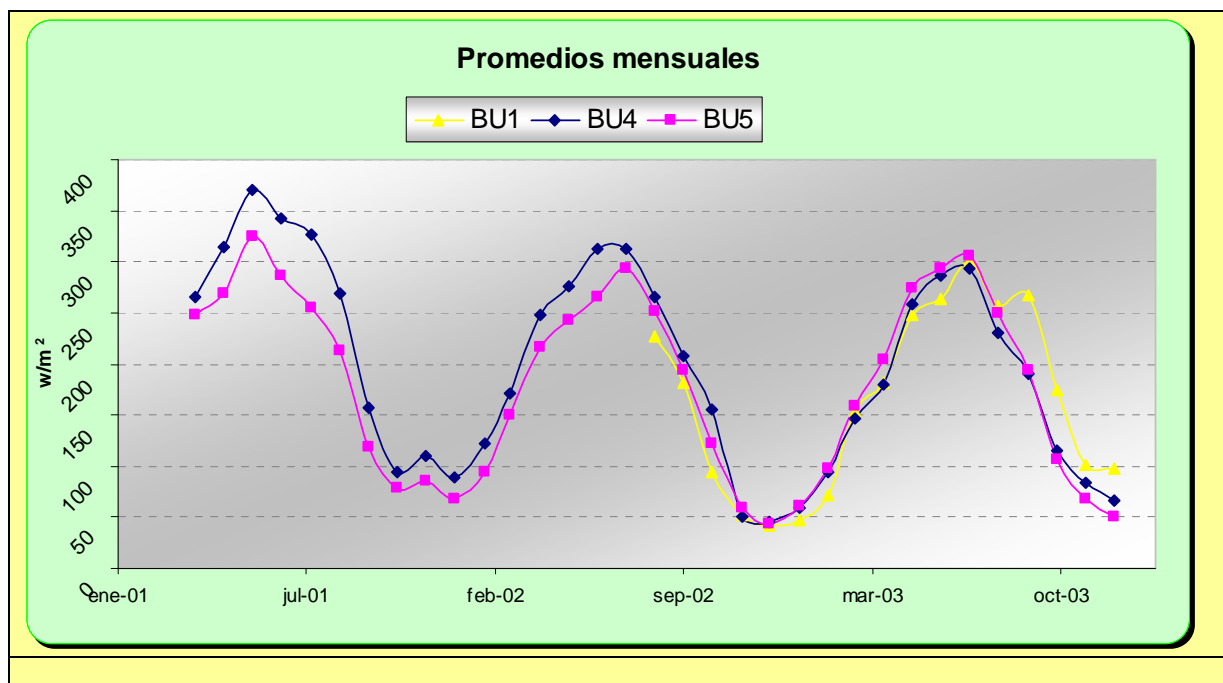


Figura 2. Variación mensual de la irradiancia sobre superficie horizontal en la planta [2]

Respecto del potencial eólico, las mediciones realizadas en la estación meteorológica del Departamento de Física de la UBU en Villafría arrojan para el año 2.003 los datos reflejados en el cuadro 2. Extrapolando la velocidad a la altura de 18m se obtiene una velocidad media anual de 4,29 m/s. En la figura 3 se muestra, a título de ejemplo la variación de la velocidad media del viento en el año 2003 a 9m de altura.

Nº de medidas	52.560
Velocidad media	3,89 m/s
Velocidad máxima	4,36 m/s
Parámetro escala (Weibull)	4,36 m/s
Parámetro forma (Weibull)	1,8
Dirección predominante	NE-E
Dirección más energética	NE-E

Cuadro 2. Datos de viento estación de Villafría medidos a 9 m de altura (año 2003) [3]

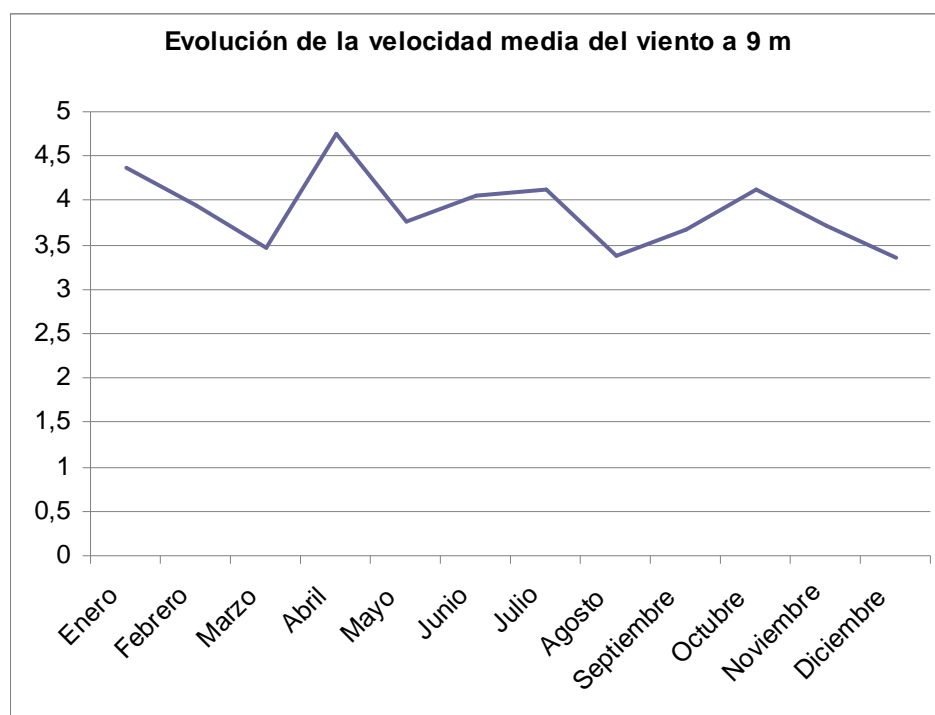


Figura 3. Velocidad media del viento (año 2.003) [3]

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En la figura 4 se representa esquemáticamente la planta de hidrógeno. Dicha planta consta de dos sistemas de generación: eólica y fotovoltaica, ambas aisladas de la

red. El generador eólico está constituido por dos turbinas de 20kW de potencia nominal unitaria, mientras que el generador fotovoltaico consta de un subsistema fijo de 20kWp de potencia pico y de otro subsistema con seguidor solar de 10kWp. Ambos generadores están conectados a un acondicionador de potencia que admite entradas de tensión continua y alterna. El acondicionador dispone de un sistema externo de baterías estabilizadoras y está conectado a un electrolizador. El hidrógeno producido se almacena en un conjunto de botellas de alta presión o bien se consume directamente en una pila de combustible que por medio de un inversor proporciona potencia en alterna al consumo.

Además de los sistemas principales de la planta: los generadores eólico y fotovoltaico, el acondicionador de potencia, el electrolizador, el depósito de hidrógeno y la pila de combustible, cabe mencionar los sistemas secundarios, como el sistema de refrigeración del electrolizador con agua de un estanque, el depurador de agua para la electrolisis, el sistema de nitrógeno para la instrumentación y la inertización, los sistemas de medición y control, los de protección eléctrica y relativa al hidrógeno y el sistema de protección antiincendios.

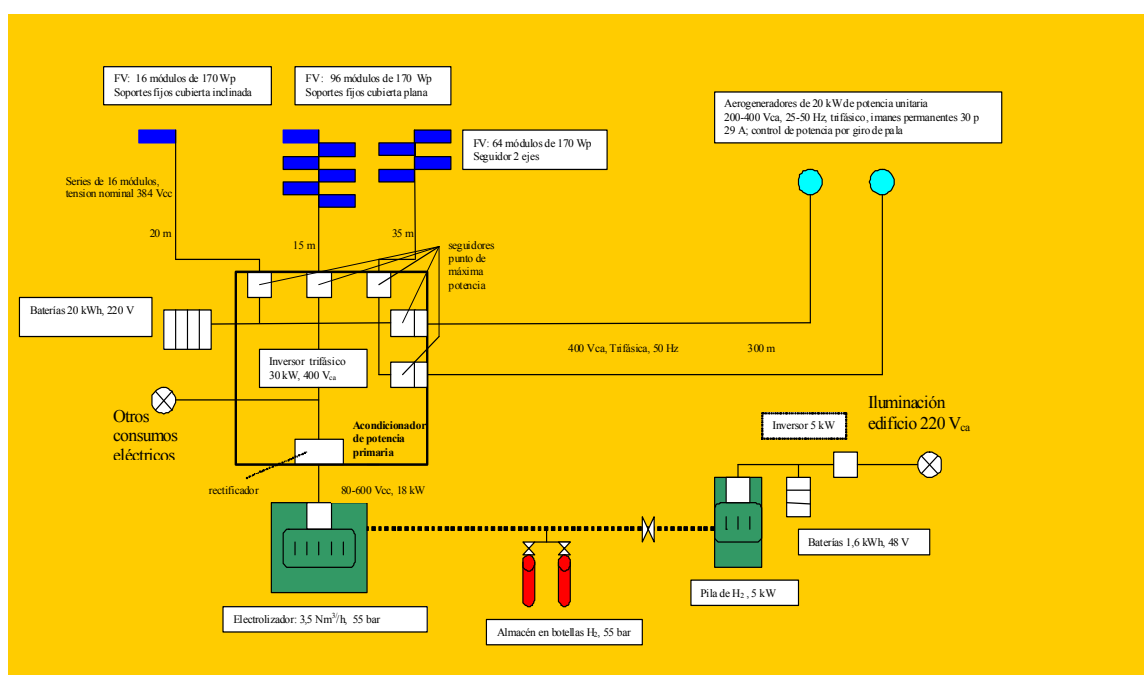


Figura 4. Esquema de la instalación de hidrógeno

## GENERADOR EÓLICO

Para aprovechar los recursos eólicos de que se disponen en la zona, es necesario emplear aerogeneradores que estén optimizados para trabajar a bajas velocidades de viento.

Se ha realizado un estudio de mercado de aerogeneradores en el rango de potencia menor de 100kW y se ha comprobado la escasez de oferta de equipos existentes. Además muy pocos cumplen con la normativa CEI IEC 61400.



En la zona de implantación por la proximidad de un aeropuerto la servidumbre aeronáutica limita la máxima altura alcanzable de la torre. Todos los condicionantes mencionados, unidos a la existencia de edificios próximos, llevan a la elección del aerogenerador de 20kWe de potencia nominal, de marca Jonica Impianti, modelo Jimp20 Plus, que se instalará sobre una torre metálica de 18 m de altura.

El modelo elegido lleva incorporado un generador síncrono de imanes permanentes y acoplamiento directo entre el rotor y el generador eléctrico. Va dotado de regulación de potencia por giro de pala y se orienta por una veleta de cola. Cuando alcanza las 150 rpm se regula por cambio de paso y por pérdida aerodinámica. Las características del generador eólico se consignan en el cuadro 3. La curva de potencia facilitada por el fabricante es la de la figura 5. Se instalarán dos unidades lo que supone una potencia total eólica instalada de 40kWe. En la figura 6 se muestra la instalación de una de las unidades.

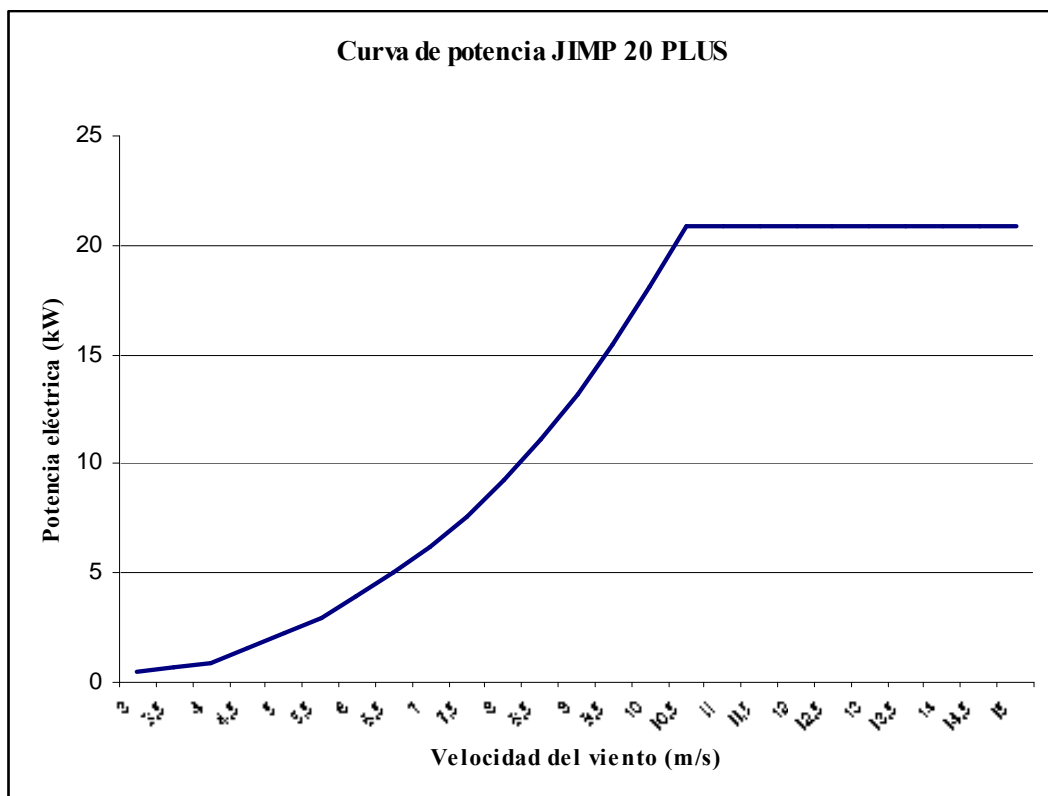


Figura 5. Curva de potencia del aerogenerador

Potencia nominal	20kWe
Número de palas	3 (barlovento)
Material de pala	Fibra de vidrio
Diámetro de rotor	10 m
Velocidad de arranque	3,5 m/s
Velocidad máxima	37,5 m/s
Control de potencia	Cambio de paso de pala
Control de orientación	Veleta de cola
Protección de sobrevelocidad	Cambio de paso y pérdida aerodinámica
Generador	Generador de flujo axial, imanes permanentes, 30 polos
Salida no regulada del generador	200-400Vca, 3 fases, 25-50 Hz
Cubierta	Fibra de vidrio

Cuadro 3. Especificaciones del aerogenerador



Figura 6. Izado del generador eólico

## GENERADOR FOTOVOLTAICO

El sistema fotovoltaico por su parte, consta de módulos de silicio monocristalino que irán soportados sobre un seguidor solar de doble eje y sobre una cubierta y una marquesina. Se trata de módulos de marca Atersa, modelo A-170 W. Sus especificaciones eléctricas se consignan en el cuadro 4. La potencia total del sistema fotovoltaico será de 30kWp.

Potencia (W en prueba -2,+5 %)	170 W
Número de células en serie	72
Corriente Punto de Máxima Potencia ( $I_{mp}$ )	4,75 A
Tensión Punto de Máxima Potencia ( $V_{mp}$ )	35,80 V
Corriente en Cortocircuito ( $I_{sc}$ )	5,10 A
Tensión de Circuito Abierto ( $V_{oc}$ )	43,95 A
Coeficiente de Temperatura $I_{sc}$ ( $\alpha$ )	2,00 mA/°C
Coeficiente de Temperatura $V_{oc}$ ( $\beta$ )	-194,40 mV/°C
Máxima Tensión del Sistema	700 V

Cuadro 4. Especificaciones del módulo fotovoltaico

El seguimiento del sol se realiza mediante un autómata que regula los movimientos de la estructura a lo largo de todas las estaciones del año en función de la hora solar, de acuerdo a la latitud del lugar donde se haya instalado el seguidor. También lleva incorporado un dispositivo de posicionamiento en bandera, para casos de situación de emergencia por la acción de vientos moderadamente fuertes y huracanados. En la figura 7 se muestra la instalación del generador con seguidor.



Figura 7. Seguidor solar fotovoltaico



Por su parte los módulos instalados sobre soportes fijos están orientados hacia el Sur geográfico con una inclinación de 30 ° sobre la horizontal.

## ELECTROLIZADOR

En la instalación que nos ocupa se necesita un electrolizador que sea capaz de trabajar con fuentes de potencia variable. En el acople entre un sistema generador renovable intermitente y un electrolizador hay que tener en cuenta que durante los periodos de bajos niveles de potencia se impide el buen funcionamiento del electrolizador, aumentando el nivel de impurezas y provocando la desconexión del mismo. Si se sobredimensiona el sistema generador respecto del equipo de electrólisis, aumentan la potencia media generada y el tiempo operativo de uso del electrolizador, con la consiguiente economía del sistema al reducir el coste inicial del electrolizador.

Por razones de menor coste y mayor vida esperada de funcionamiento, se ha elegido un electrolizador de tipo alcalino. No existen muchos fabricantes de electrolizadores que garanticen la compatibilidad con fuentes renovables. Se ha escogido un electrolizador alcalino bipolar de 3,5 Nm<sup>3</sup>/h de producción de hidrógeno entre 20-55 bar de presión, marca Accagen, modelo AGE-3.5. El rango posible de funcionamiento del electrolizador está entre el 15-100% de su carga nominal. Las características del equipo aparecen en el cuadro 5.

Capacidad Nominal de producción de hidrógeno	3,5 Nm <sup>3</sup> /h
Rango de operación	15 – 100 %
Presión de operación	20 – 55 bar
Electrolito	Solución de KOH 30 %
Pureza de hidrógeno	>99,999 % <sub>vol</sub>
H <sub>2</sub> “dew point”	< - 65 °C
Potencia máxima a la entrada del conversor CC-CC	18 kW
Voltaje aceptado a la entrada del conversor CC-CC	80 – 600 V <sub>CC</sub>
Vida esperada	> 120.000 h

Cuadro 5. Especificaciones del electrolizador

El oxígeno generado en la electrólisis se ventea. El apilamiento de celdas será refrigerado con agua de un estanque próximo. Por su parte la alimentación del agua de proceso se tomará de la red una vez filtrada con un equipo auxiliar de osmosis inversa.

El electrolizador cumple con la normativa europea para aplicaciones en atmósferas potencialmente explosivas (ATEX), así como otras normativas relacionadas con equipos a presión y material eléctrico para emplazamientos peligrosos. En la figura 8 se muestra la vasija de presión del electrolizador.

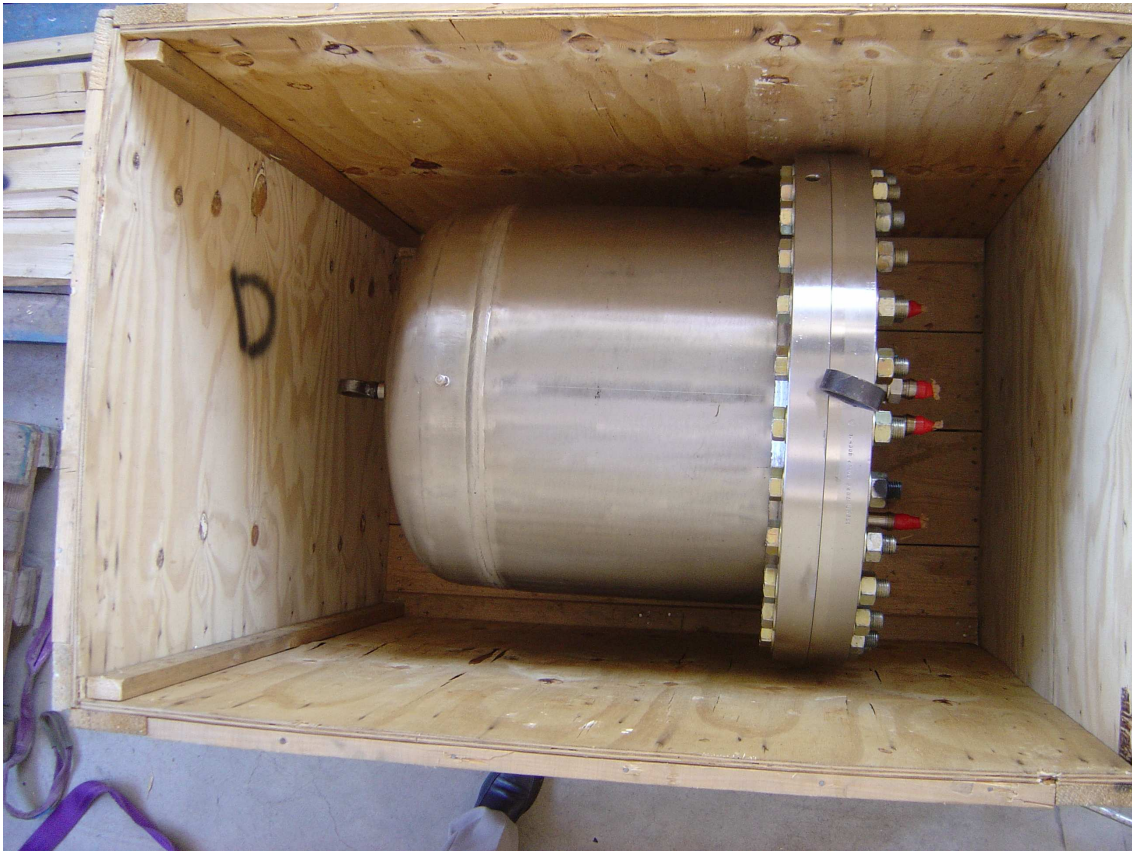


Figura 8. Generador de hidrógeno

### **ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO**

La forma de almacenar hidrógeno más habitual, cuando se requieren pequeñas cantidades o su uso es variable, es como gas comprimido. El hidrógeno generado, y que no se consume inmediatamente, será confinado en botellones comerciales de 50 l. La presión de almacenamiento será igual a la que proporciona la salida del electrolizador, no requiriéndose entonces un compresor externo adicional.



Figura 9. Botellas de hidrógeno a presión

## PILA DE COMBUSTIBLE

La utilización de pilas de combustible para la generación eléctrica con uso de fuentes renovables comporta beneficios en términos de nulas emisiones y menores ruidos y vibraciones.

Las pilas de polímero sólido (PEM) son las más aptas para la aplicación a conexión con fuentes renovables, caso de que se usen en re-electrificación: cuando cesa la fuente renovable, debido a su naturaleza variable, tienen buen comportamiento ante las fluctuaciones que se producen y se ajustan desde el estado de “parada en espera”, con una respuesta rápida, para satisfacer la demanda de carga que se requiere en ese momento. En nuestra aplicación la pila funciona en modo isla alimentando una carga de iluminación y el consumo de equipos auxiliares de la planta.

Se va a emplear una pila tipo PEM marca Plug Power, modelo Gencore 5 que puede generar 5 kW de potencia eléctrica nominal, consumiendo  $4,5 \text{ Nm}^3/\text{h}$  de hidrógeno. En la figura 10 se muestra esta pila.



Figura 10. Pila de combustible

La presión del hidrógeno almacenado en los bloques de botellas se reduce hasta la admisible en la pila de combustible, que opera a 6 bar, tomando el combustible que necesita en cada momento según la carga. El control de la pila inspecciona periódicamente la tensión de salida de la pila y cuando se baja de un umbral de 49 V la pone en funcionamiento pudiendo trabajar desde el 0 al 100% de su potencia.

### **ACOPLAMIENTO ELÉCTRICO DEL GENERADOR EÓLICO-FOTOVOLTAICO CON EL ELECTROLIZADOR**

Para el acondicionado de la potencia proveniente de los aerogeneradores y los generadores fotovoltaicos se emplea un equipo inversor para instalaciones aisladas, de marca Ingeteam, modelo Ingecon Hybrid 30. Este equipo es capaz de gestionar la energía de varios generadores, optimizando la potencia extraída de los mismos con seguidores del punto de máxima potencia, mediante un bus de continua que operará a una tensión de 240Vcc estabilizado con un pequeño banco de baterías de 15 kWh de capacidad. Proporciona en su salida trifásica una potencia máxima de 30 kW con una tensión entre 380-430 Vca. Dado que el electrolizador instalado trabaja directamente con corriente continua es necesario rectificar la salida de dicho equipo inversor, para lo que se emplea un rectificador no controlado.

El equipo de electrolisis viene acondicionado en su entrada con un conversor que transforma los valores de tensión e intensidad en otros aptos para seguir la curva de máximo rendimiento del apilamiento de celdas. Este conversor CC/CC situado a la entrada del electrolizador admite tensiones entre 80-600 Vcc.

## SISTEMA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE HIDRÓGENO

La potencia primaria generada es variable en función del régimen de viento y de la radiación solar, por lo que es necesario indicar en cada momento al electrolizador, el hidrógeno que debe producir en dependencia de la potencia renovable que se está generando, para así equilibrar la generación con la carga. Este control se realiza con una señal de corriente 4-20 mA que regula la capacidad de producción de manera lineal entre el 15-100% de la nominal. Las medidas de tensión e intensidad dentro del equipo inversor sirven para la elección de la intensidad de corriente de dicha señal de control en cada instante. Esta medida se realizará con una frecuencia que se ajustará por experimentación.

Los objetivos de la elaboración del sistema de automatización son los siguientes:

- Regular y controlar el funcionamiento de la instalación, teniendo en cuenta la gestión de seguridad.
- Realizar mediciones y almacenar en forma de gráficos y tablas los datos obtenidos para apoyar labores de investigación.
- Servir de medio didáctico para demostrar el funcionamiento de la instalación a los visitantes del recinto y aportar material docente a los alumnos de la Universidad de Burgos.



Figura 10. Autómata programable

Como autómata programable se emplea un cPF de National Instrument, encargado de realizar las mediciones y de emitir las señales analógicas y digitales para el control de contactores y dispositivos de la instalación. Los datos de las mediciones realizadas son transmitidos a un ordenador central que los almacena en tablas y gráficos útiles para el trabajo de investigación y la labor docente. En este caso la unidad de comunicación del cPF tiene cuatro ranuras para colocar los módulos de entrada / salida.

Para realizar las medidas se emplean los transductores y actuadores siguientes:

- Cuatro sensores de efecto Hall para medir intensidad de corriente eléctrica. Se colocan a la salida de los generadores fotovoltaicos, a la entrada del inversor y a la entrada del electrolizador.
- Un sensor de efecto Hall para medir la tensión de la corriente eléctrica. Puesto que se trata de medir en tiempo real la potencia de consumo del electrolizador, es necesario conectarlo a la entrada del equipo.





- Tres sensores de temperatura. Se utilizarán dos termopares para medir la temperatura de las células de los generadores fotovoltaicos y uno para medir la temperatura del ambiente.
- Un anemómetro. Tiene la función de establecer si la intensidad del viento es adecuada para iniciar el funcionamiento del aerogenerador.
- Dos sensores de insolación. Estarán situados sobre los generadores fotovoltaicos respectivos y con la misma orientación que estos. Resultan imprescindibles para calcular la potencia máxima de producción de electricidad fotovoltaica en diferentes momentos.
- Cuatro contactores. Para decidir el suministro de potencia al electrolizador por parte de las fuentes de corriente.
- Salida analógica en el rango 0 – 20 / 4 – 20 mA. Utilizada para determinar la intensidad de corriente con que funciona el electrolizador, es decir, la producción de hidrógeno.

Para abastecer de energía a los transductores, a los actuadores y a los distintos módulos del autómatas programable se utiliza una fuente de electricidad de 50 W.

### **Red de comunicación.**

Se montará una red Ethernet 100 BaseT, constituida por los siguientes terminales:

- PLC del electrolizador. Es un servidor OPC.
- PLC de la pila de hidrógeno. Soporta direccionamiento IP y consta de un programa propio para la transmisión de datos.
- cFP utilizado para regular y controlar el funcionamiento del electrolizador. Funciona como autómatas programable y servidor OPC.
- PLC de los aerogeneradores. Se comunican utilizando un bus con protocolo RS485. Puede ser conectado a la entrada del correspondiente cFP.
- Ordenador personal maestro con sistema operativo Windows XP.

La red tendrá una topología de estrella con cableado UTP 5. Los terminales quedarán unidos por un conmutador de 8 puertos con tecnología PoE (*Power over Ethernet*). La cantidad de puertos del conmutador, superior al número de terminales, posibilita la ampliación de la red, por ejemplo con la incorporación de alguna cámara u otros equipos de medición.

Se ha dado preferencia al empleo de cables como medio de transmisión por dos razones. En primer lugar las operaciones de regulación y control son críticas (no admiten fallos). Es presumible la instalación de *WiFi* en el aula didáctica del edificio así como en las edificaciones aledañas. En tal caso habría que contar con la probabilidad de interferencias en la red de automatización, las cuales deben ser minimizadas. En



segundo lugar, una de las razones fundamentales para montar una red inalámbrica es la movilidad de los terminales. Sin embargo, todos estarán fijos. En el caso del aerogenerador podría tener sentido utilizar la transmisión por señales de radio, si se tiene en cuenta la existencia de roedores en el descampado que separa el edificio del equipo.

Finalmente, lo más apropiado es conectar el ordenador central de la red a un *router* ADSL por telefonía móvil 3G con dirección IP estática. Así sería posible la comunicación con la universidad dotada de seguridad informática y estaríamos en condiciones de crear una red virtual mediante la cual, desde un computador autorizado en el *campus* universitario tendríamos acceso directo a la planta. De este último ordenador y dentro de la universidad, se extraería información para la actividad de investigación o de enseñanza – aprendizaje. Todo el software del sistema para la automatización de la planta de hidrógeno se elaborará sobre la base de LabView.

## RESULTADOS ESPERADOS

La producción eléctrica estimada obtenida por los generadores fotovoltaicos es de 42 MWhe y la de los generadores eólicos es de 45 MWhe.

La producción de hidrógeno electrolítico estimada ronda los 1.000kg anuales que traducido en producción de la pila supone la generación de 10 MWhe anuales.

## ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

Una vez realizado el diseño de la instalación se ha realizado la contratación de los equipos. Se han instalado ya los sistemas generadores eólico y fotovoltaico y actualmente se realiza el montaje del sistema generador de hidrógeno. Adicionalmente se está trabajando en la configuración final del sistema de automatización de la planta. Se espera que la instalación esté operativa a finales de año.

## REFERENCIAS

[1] <http://www.ieahia.org/page.php?s=d&p=casestudies>

[2] V. Tricio, R. Viloría, A. Minguito. Medidas experimentales de la radiación solar en Burgos. *Energías renovables. Avances en refrigeración e hidrógeno solar*. Pag 547-557. Editores Científicos: V. Tricio Gómez, R. Viloría Raymundo y A. Carbayo Martín. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos. ISBN 978-84-96394-83-4. D.L.: Bu-250-2008. Año: 2008

[3] R. E. Viloría, V. Tricio, A. Minguito. Análisis y parametrización de perfiles de velocidad del viento en Villafría (Burgos). *Energías Renovables. Avances en Refrigeración e Hidrógeno Solar*. Páginas: 559-568 (R). Editores Científicos: V. Tricio Gómez, R. Viloría Raymundo y A. Carbayo Martín. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Burgos. ISBN 978-84-96394-83-4. D.L.: Bu-250-2008. Año: 2008

[4] N. Lymberopoulos. Hydrogen production from renewables. Project Technical Assistant Framework Contract (EESD Contract N° : NNE5-PTA-2002-003/1). Centre for Renewable Energy Sources C.R.E.S. Greece. Año: 2005