

HIDRÓGENO EN EL SECTOR MINERO ENERGÉTICO.

Dr. Carlos Fúnez Guerra.

**Responsable Unidad Innovación Abierta. Centro Nacional del
Hidrógeno.**

carlos.funez@cnh2.es

*Centro Nacional del Hidrogeno, Prolongación Fernando el Santo s/n,
13500, Puertollano, España.*

AGENDA.

1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.
2. INTRODUCCIÓN.
3. OBJETIVOS.
4. PLANTA CENTRALIZADA DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO.
5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA.
6. OTRAS POSIBLES APLICACIONES DEL HIDROGENO EN MINERIA.
7. CONCLUSIONES.

1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.

- **Centro Público de Investigación** creado a través de un Consorcio entre el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, al que está adscrito, y la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, al 50% cada uno.
- Está ubicado en Puertollano, Ciudad Real (Castilla-La Mancha).



Sede CNH2 en Puertollano



1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.

- Está orientado al **desarrollo de todo tipo de tecnología** relacionada con el hidrógeno y las pilas de combustible (laboratorios, bancos de ensayo, puestos de experimentación, pilas, sistemas de almacenamiento, ingeniería, seguridad, normativa...). Sus objetivos son:

- Impulsar las tecnologías de hidrógeno y pilas de combustible a nivel nacional e internacional.
- Realizar investigación, experimentación y validación de prototipos y equipos.
- Desarrollar y escalar procesos.
- Homologar, certificar y verificar componentes y sistemas.
- Facilitar el acceso de personal investigador y empresas a sus equipos e infraestructuras.
- Ser nexo de unión entre los diferentes centros de investigación y las empresas en el ámbito del hidrógeno y las pilas de combustible.
- Promover e impulsar el uso de las tecnologías mediante la realización de estudios de percepción social, formación y difusión del uso sus aplicaciones.

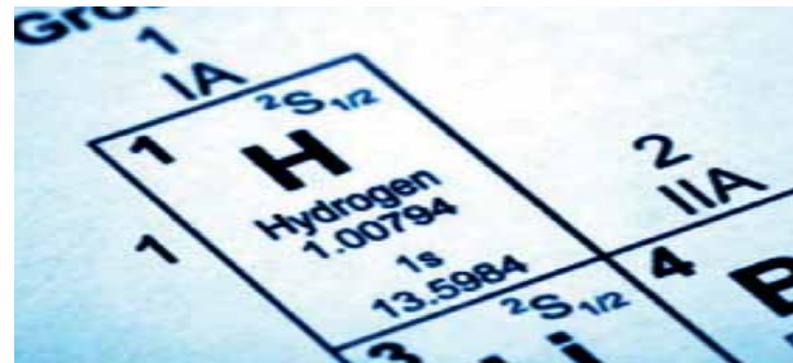


1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.

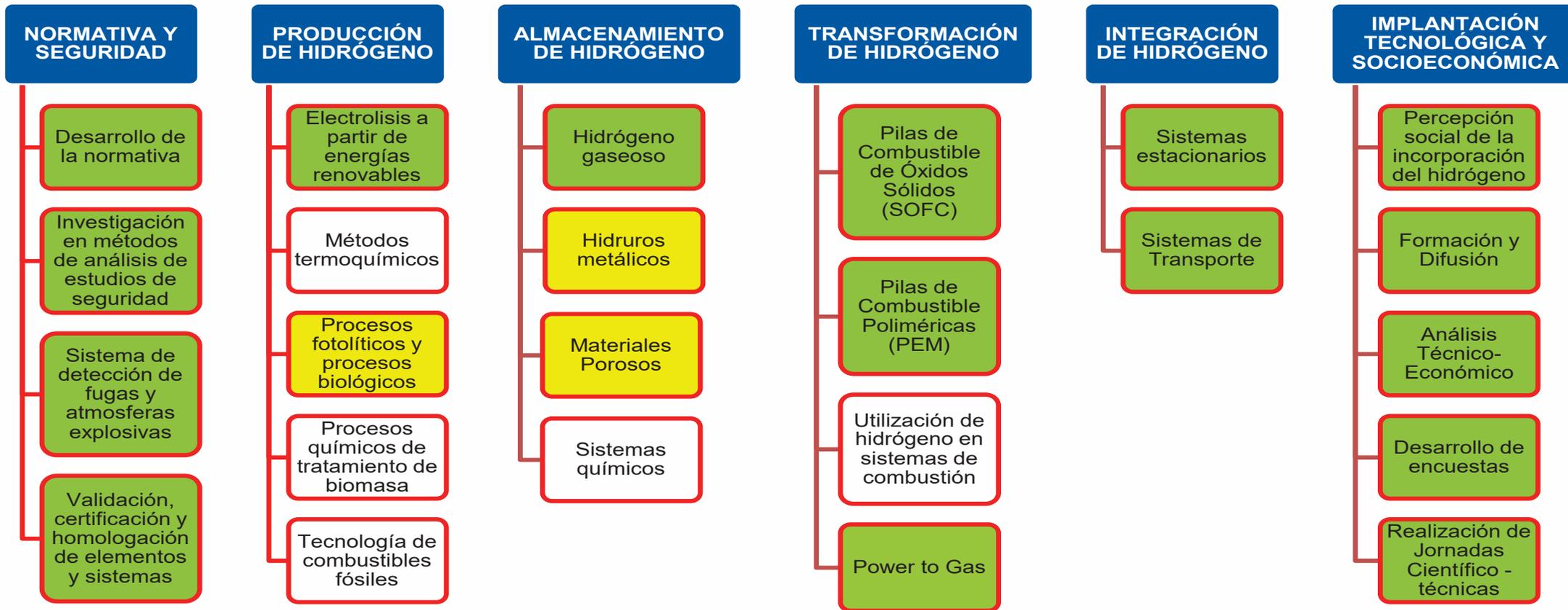
El CNH2 desarrolla su actividad sobre la base de ejecución de **Proyectos de I+D+i**, que pueden ser:

- ✓ bajo contrato (financiados por empresas u entidades privadas),
- ✓ financiados públicamente (acogidos a convocatorias públicas internacionales, nacionales o regionales en los que participa a título individual o en colaboración con empresa y centros de investigación) o
- ✓ estratégicos (internos financiados por el propio centro).

También presta **servicios a terceros** (empresas e investigadores) de diferentes tipos: consultoría, caracterización y análisis, diseño y construcción de bancos de ensayo, estudios de seguridad y normativa, etc.



1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.



1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.

A nivel nacional:

- **Plataforma Tecnológica Española del Hidrógeno y de las Pilas de Combustible (PTEHPC):** miembro del Grupo Rector, coordinador del Grupo de Trabajo de Otros Usos del Hidrógeno y subcoordinador del Grupo de Trabajo de Almacenamiento de Hidrógeno.
- **Asociación Española del Hidrógeno (AEH2):** vocal de la Junta Directiva.
- **Asociación Española de Pilas de Combustible (APPICE):** vocal de la Junta de Gobierno.
- **Plataforma Española de Seguridad Industrial (PESI).**
- **Plataforma Española de Redes Eléctricas (FUTURED).**
- **Plataforma Tecnológica Ferroviaria Española (PTFE).**
- **Plataforma Tecnológica Española de Automoción y Movilidad (MOVE2FUTURE).**
- Miembro de la **Red de Unidades de Cultura Científica y de la Innovación (Red UCC+i)** de la FECYT.
- Miembro de **AENOR** (participación en Comités Técnicos): CTN181 "Hidrógeno", CTN218 "Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica" y CTN206/SC105 "Tecnologías de pilas de combustible", del que es Secretario.
- Miembro de **ALINNE** (Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas).
- El Centro tiene convenios suscritos con los principales centros de investigación nacionales: **CSIC**, **CIEMAT**, **INTA** y con diversos centros tecnológicos, empresas y universidades.



1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.

A nivel internacional

- Miembro de **Hydrogen Europe Research**, research grouping de la Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU).
- Miembro de **Hysafe** (Safety of Hydrogen as an energy carrier).
- Miembro de **EERA** (European Energy Research Alliance).
- Miembro de la **IEA** (International Energy Agency), dentro de la Task 35 (*Renewable Hydrogen Production*) y coordinadores de la sub-task 5 (*Specific case studies*) dentro de la Task 38 (*Power-to-Hydrogen and Hydrogen-to-X: System Analysis of the techno-economic, legal and regulatory conditions*)
- Miembro de la **AFC TCP** (Advanced Fuel Cells Technology Collaboration Programme) como único



Technology Collaboration
Programme on
Advanced Fuel Cells

1. CENTRO NACIONAL DEL HIDROGENO.

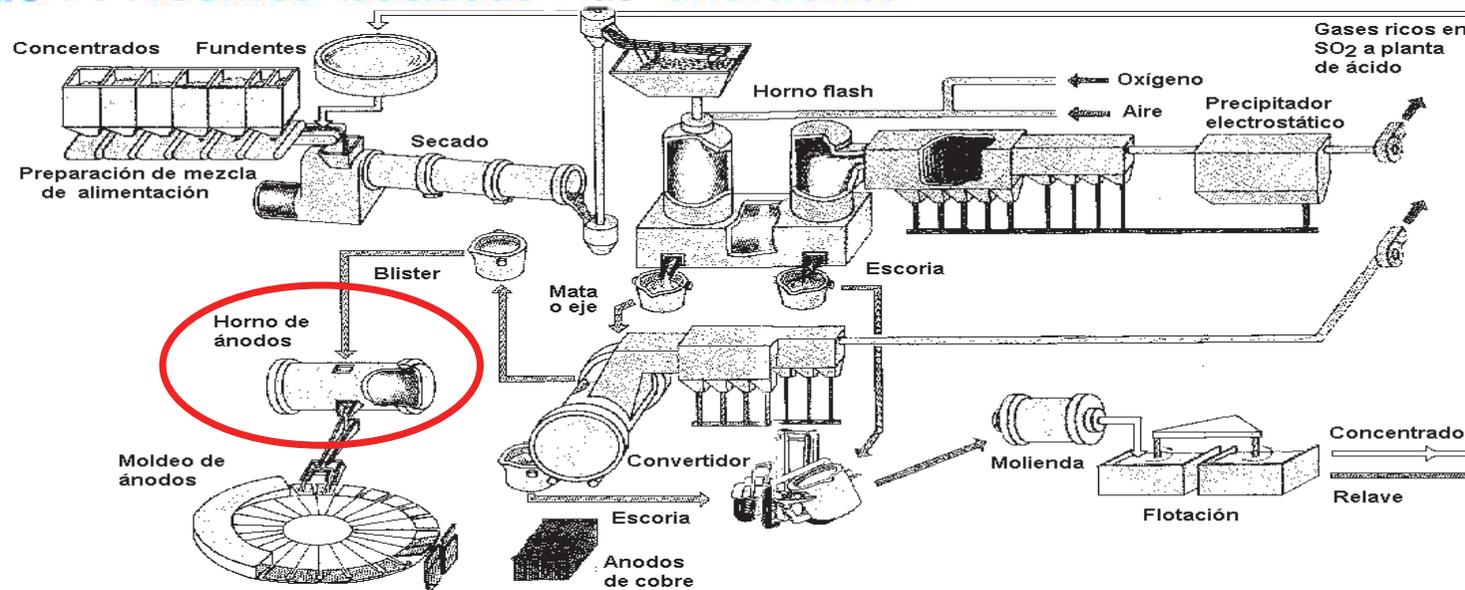
- I. Laboratorio de Electrólisis Alcalina
- II. Laboratorio de Investigación y Escalado de Tecnología PEM
- III. Laboratorio de Electrónica de Potencia
- IV. Laboratorio de Microrredes
- V. Laboratorio de Simulación
- VI. Laboratorio de Caracterización de Materiales
- VII. Laboratorio de Óxidos Sólidos
- VIII. Laboratorio de Fabricación (Fab-Lab)
- IX. Laboratorio de Almacenamiento
- X. Laboratorio de Testeo de Tecnología PEM
- XI. Laboratorio de Vehículos
- XII. Laboratorio de Integración Doméstica
- XIII. Laboratorio de Biotecnologías de Hidrógeno (en desarrollo)

2. INTRODUCCIÓN.

- La industria minera y metalúrgica es considerada como ambientalmente poco amigable.
 - Explotación de un recurso considerado como no renovable
 - La elevada cantidad de residuos que genera a lo largo de los distintos procesos. En el caso de los minerales de cobre, el metal de interés se extrae a partir de un mineral en el cual se encuentra en una concentración del orden de 1%.
- Las principales etapas del procesamiento del cobre son las siguientes:
 - Reducción del tamaño del mineral en los procesos de trituración y molienda.
 - Flotación, donde se separa la fase mineralizada (sulfuros metálicos) de los minerales de la ganga mediante una separación de fases basada en las propiedades superficiales de los minerales.
 - Fundición, donde se elimina el hierro en una escoria de descarte y el azufre en forma de dióxido de azufre gaseoso. Se obtiene como producto cobre blíster o cobre anódico.
 - Refinación electrolítica, donde se remueven todas las impurezas aún presentes en el ánodo de cobre y donde se recuperan los metales preciosos.

2. INTRODUCCIÓN.

Las principales emisiones atmosféricas asociadas a estos procesos mineros y metalúrgicos del cobre son, por un lado, todas las **emisiones de partículas**, producto de las operaciones de extracción, procesamiento y transporte de los productos minerales y, por otro lado, las emisiones de **polvos, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre y compuestos metálicos volátiles como el trióxido de arsénico** asociadas a las fundiciones.



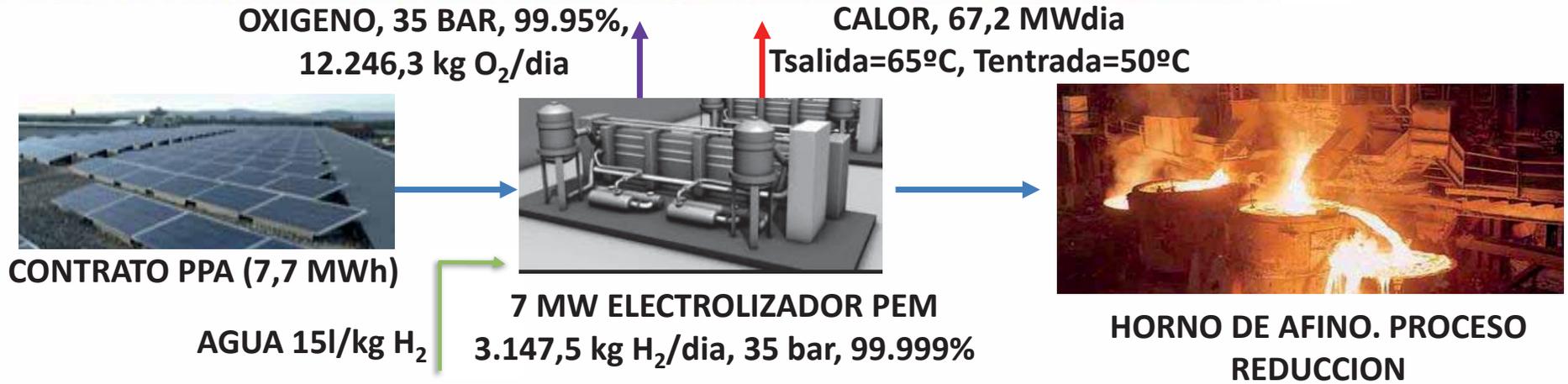
3. OBJETIVO.

- Dentro de los diferentes procesos de la fundición de cobre, en este trabajo se estudia el horno de refinación, en el cual el cobre blíster se reduce para reducir la cantidad de oxígeno presente, hasta los límites adecuados para pasar a la rueda de moldeo.
- En la actualidad, la reducción del cobre blíster se realiza con diésel, gas natural o mezclas de gas natural y vapor de agua, generando una gran cantidad de emisiones a la atmosfera.
- En este trabajo, se estudia la alternativa de reducir el cobre blíster mediante hidrogeno generado a partir de energías renovables, eliminando las emisiones contaminantes originadas por los combustibles fósiles que habitualmente se utilizan como reductores.

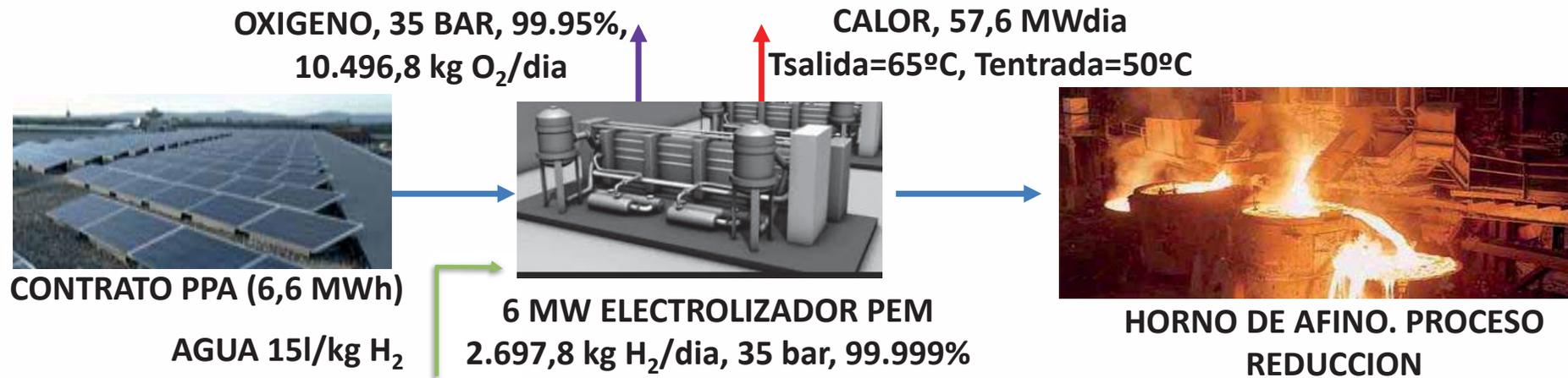


4. PLANTA CENTRALIZADA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO.

DIESEL



GAS NATURAL



4. PLANTA CENTRALIZADA DE GENERACIÓN DE HIDRÓGENO.

- El uso de hidrógeno como reductor, elimina las emisiones de gases de efecto invernadero en el horno de afino y se reducirá el contenido en azufre en el horno de afino, lo que permite que la etapa de electrorefinación sea más eficiente.
- El horno de afino trabaja en dos etapas discontinuas o batch, una en la que se oxida y otra en la que se reduce. En esta segunda etapa, al utilizar hidrógeno, el proceso de reducción es más eficiente, reduciendo el tiempo del proceso de oxidación, traduciéndose esto en que un mismo horno de afino puede tener mayor producción al utilizar hidrógeno como agente reductor, lo que se traduce en un incremento de la productividad y por lo tanto en un incremento de las toneladas de cobre que dicho horno puede procesar.

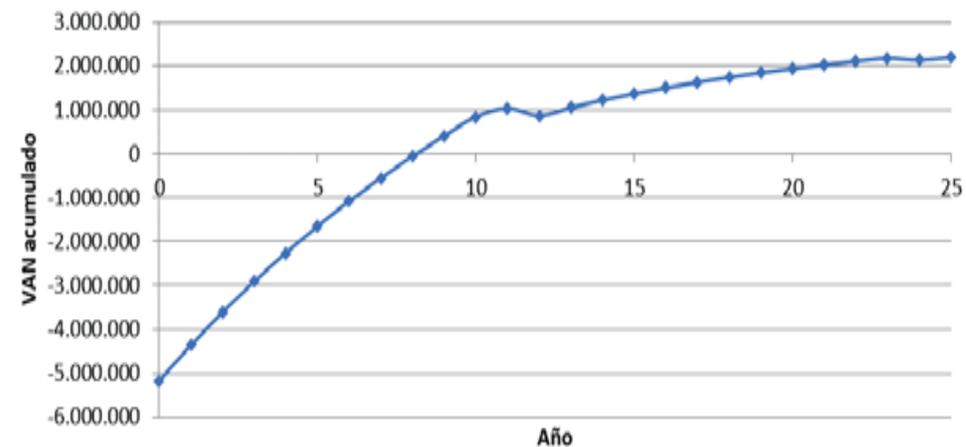
5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA.

CONSIDERACIONES SISTEMA ELECTROLISIS.

- Eficiencia del equipo de electrólisis (%): 76,5 – 70%. Degradación del stack del equipo de electrólisis ($\mu\text{V/hora}$): 2. Reemplazo del stack (% degradación del stack): 10.
- Se considera el uso del subproducto oxígeno para procesos en la fundición de cobre.
- No se considera la valorización de calor residual. No se considera el aumento de la productividad del horno de afino como consecuencia de la mayor eficiencia del proceso de reducción.
- 30% del coste recursos propios y 70% del coste con un préstamo Frances a 10 años.
 - Coste de adquisición del sistema de electrolisis: 750 €/kW.
 - Coste de sistemas auxiliares del sistema de electrólisis: 15% del coste de inversión.
 - Coste de operación y mantenimiento anual de 1,5% de la inversión inicial. Coste de reemplazo del stack de un 30% de la inversión inicial. Inversión: 6,04 y 5,2 mil € para diésel y gas natural .
- Coste electricidad (€/MWh): 35. Coste del agua (€/m³): 2,5. Coste de personal (€/año): 250.000. Coste alquiler terreno (€/año): 100.000. WACC: 8%. Tasa de inflación (%): 1,5. Periodo de estudio: 25 años.
- Coste de la tonelada de CO₂ (€/t): 30

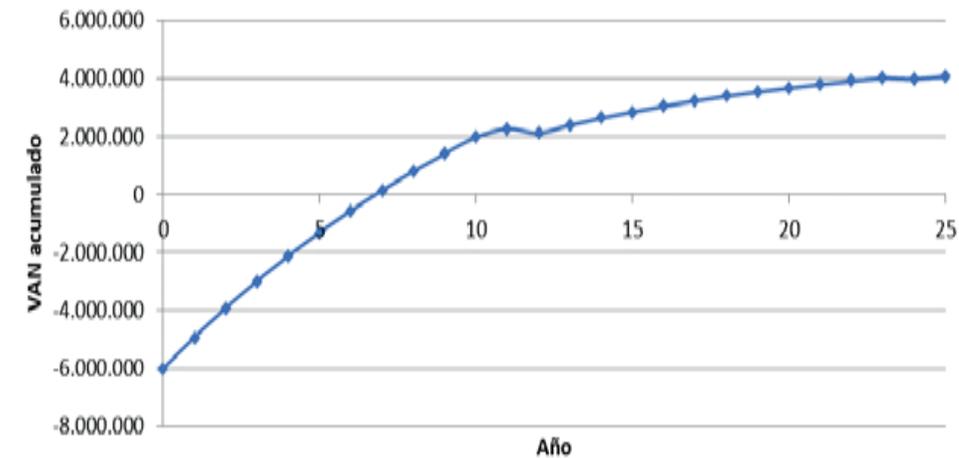
5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA.

- REEMPLAZO GAS NATURAL POR HIDROGENO.
 - Caudal de gas natural (Nm^3/min): 8,72.
 - Tiempo de proceso de reducción (min): 100.
 - Caudal de gas natural por ciclo (Nm^3/ciclo): 872.
 - Caudal de gas natural horario (Nm^3/h): 523,2.
 - Horas funcionamiento anuales horno de afino (h): 7.500.
 - Coste del gas natural ($\text{€}/\text{Nm}^3$); 0,585.
 - Equivalencia Nm^3 de hidrógeno y Nm^3 gas natural: 0,45.
- RESULTADOS.
 - Valor Actualizado Neto: 2.186.268 €.
 - Pay-Back: 8,13 años.
 - Tasa Interna de Retorno: 15%.
 - Toneladas de CO_2 ahorradas anualmente: 8.719 t/año.



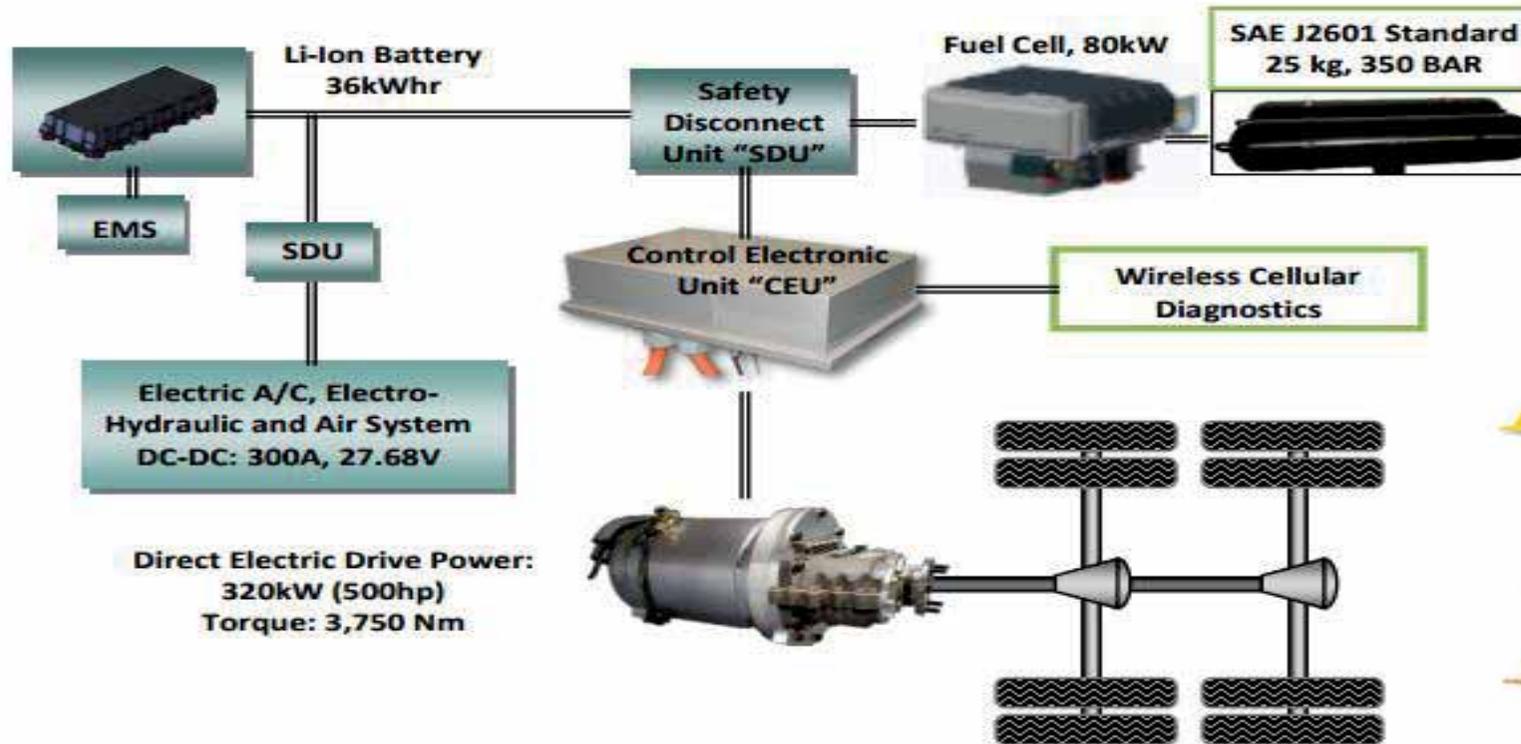
5. ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA.

- REEMPLAZO DIESEL POR HIDROGENO.
 - Caudal de diésel (l/t): 6.
 - Cantidad material en cada proceso discontinuo (t): 220.
 - Tiempo de proceso de reducción (min): 105.
 - Caudal de diésel por ciclo (l/ciclo): 1.320.
 - Caudal de diésel horario (l/h): 754,3.
 - Horas funcionamiento anuales horno anódico (h): 7.500.
 - Coste del diésel (€/litro); 0,5.
 - Equivalencia litro diésel y Nm³ de hidrógeno: 1,73.
- RESULTADOS.
 - Valor Actualizado Neto: 4.097.620 €.
 - Pay-Back: 6,79 años.
 - Tasa Interna de Retorno: 19%.
 - Toneladas de CO₂ ahorradas anualmente: 9.542 t/año.



6. OTRAS POSIBLES APLICACIONES DEL HIDROGENO EN MINERIA.

Sustitución del motor diésel y el tanque de diésel en el caso de maquinaria diésel o las baterías en el caso de maquinaria eléctrica, por una pila de combustible, unas baterías de apoyo y unos tanques de hidrógeno a presión.



6. OTRAS POSIBLES APLICACIONES DEL HIDROGENO EN MINERIA.

Generación de hidrógeno a partir de energías renovables que alimentarán un electrolizador que generará hidrógeno y oxígeno, siendo utilizado el hidrógeno como combustible en maquinaria minera subterránea de pila de combustible. Ciclo libre de todo tipo de emisiones. Oxígeno se puede utilizar como subproducto.



6. OTRAS POSIBLES APLICACIONES DEL HIDROGENO EN MINERIA.

- Reducción de la dependencia exterior y eliminación de la volatilidad de precios del combustible.
- Eliminación de cualquier tipo de emisión a la atmósfera, excepto de vapor de agua.
- Reducción de la necesidad de consumo de energía eléctrica para ventilación.
- Reducción de los diámetros de túneles de ventilación.
- No se consume agua. El agua es un medio para almacenar energía.
- Mayor autonomía que la maquinaria de baterías, trabajando 12 h sin problemas.
- Tiempo de recarga reducido, entre 5 y 10 minutos para carga completa.
- Jornada de trabajo mas productiva, produciendo mas con las mismas maquinas.

7. CONCLUSIONES.

- La sustitución de reductores convencionales en las fundiciones de cobre por hidrógeno, es viable desde el punto de vista técnico-económico.
- El uso del hidrógeno como reductor incrementa la eficiencia y reduce el tiempo necesario del proceso, aumentando la productividad del horno y por lo tanto, el beneficio económico de la fundición. Este aspecto no ha sido considerado en el estudio técnico-económico.
- La producción del hidrógeno renovable para su uso como agente reductor en la fundición, se realizará in-situ, lo que supone la eliminación de los camiones que suministran actualmente diésel y/o gas natural a las fundiciones, lo cual, representa una ventaja ambiente-social asociada al movimiento de camiones.
- El uso del hidrógeno como combustible en maquinaria minera subterránea permite reverdecer la industria minera.

THANK YOU VERY MUCH.

Dr. Carlos Fúnez Guerra.

**Responsable Unidad Innovación Abierta. Centro Nacional del
Hidrógeno.**

carlos.funez@cnh2.es

