H-Acero

La descarbonización del sector siderúrgico, usando el hidrógeno como fuente de energía alternativa.

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

Europar Batasuna
Unión Europea

Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)
'Una manera de hacer Europa'

Eskualde Garapenerako Europar Funtsa (EGEF)
'Europa egiteko modu bat'

Nº Expediente: ZE-2021/00025 - Neutralidad climática de la industria del acero basada en nuevas tecnologías y procesos con aplicación intensiva del hidrógeno

Agenda y Resultados

- Contextualización
- Retos y objetivos del proyecto
  SARRALLE
- Siderúrgicos
  ARCELORMITTAL OLABERRIA-BERGARA
  SIDENOR
  NERVACERO
  TUBOS REUNIDOS GROUP
  ACERÍA DE ÁLAVA
- Refractaristas
  KELSEN
  INSERTEC
- Proveedor de gases
  NIPPON GASES
- Actividades desarrolladas en el proyecto
  CEIT / TECNALIA
- Seguridad e impacto ambiental
  NIPPON GASES/ TECNALIA
- Conclusiones, retos a futuro y cierre

Nº Expediente: ZE-2021/00025

Contextualización

La industria siderúrgica mundial emitió en 2019 ~3,6 Gt de CO_2 (~ 8% de las emisiones globales de CO_2)

- Aumento de la demanda por parte de los clientes finales de productos con baja huella de carbono.
- Regulaciones de emisiones más estrictas. Objetivos de emisiones más bajos y aumento de los precios de los derechos de emisión.
- Creciente interés de los inversores por una industria sostenible.

El 14% del valor potencial de las empresas siderúrgicas está en riesgo si no son capaces de reducir su impacto medioambiental [1]

[1] Decarbonization challenge for steel - Hydrogen as a solution in Europe. McKinsey.

	Producción total de acero crudo 2023	Cuota EAF
Mundo	1.849,7 Mt	27,9 %
Europa	126,3 Mt	41,3 %
España	11,2 Mt	65,7 %
Euskadi	3,04 Mt	100 %

Tabla comparativa de producción de macro y % de uso EAF

Vista exterior de una planta siderúrgica

En Euskadi, las actividades industriales representan el 46% de emisiones de CO_2 emissions (7,2 Mt/año CO_2).

La siderurgia supone el 12% de las emisiones industriales de CO_2 en Euskadi [2]

Mediante el uso de energía renovable y la sustitución del gas natural por el hidrógeno verde, las acerías tienen el potencial de eliminar casi todas sus emisiones de CO_2.

Nace en 2021 para crear un ecosistema del hidrógeno en Euskadi que, a partir de proyectos y actuaciones específicas con colaboración público-privada, permita avanzar en la descarbonización de los sectores de la energía, la movilidad y diferentes sectores industriales.

Asociación de **74 entidades**

54 iniciativas en curso

Global indicators of BH2C

Producción de ~21.000 toneladas de H_2 anuales

Producción de ~8.000 litros diarios de synfuels

~132.5 MW de electrólisis

Reducción de ~230.000 toneladas anules de CO_2 mediante H_2

Inversión de EUR 1,1 billones durante el periodo 21-30

Retos y objetivos

Precalentador Cucharas

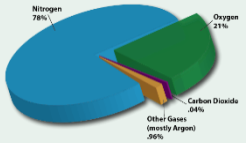
Precalentador Artesa

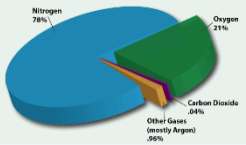
Horno Recalentamiento

Horno Arco Eléctrico

Oxicorte

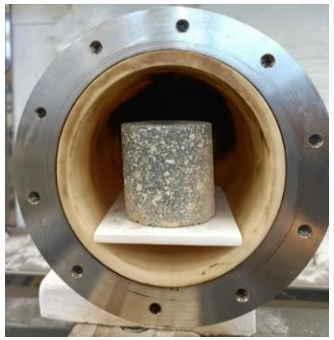
Equipo	Consumo GN
Precalentador Cucharas	12 %
Precalentador Artesa	3 %
Horno Recalentamiento	80 %
Horno Arco Eléctrico	3 %
Oxicorte	2 %

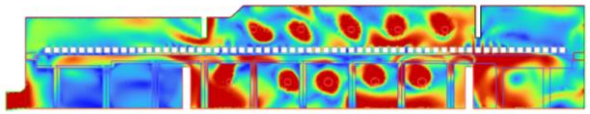
	Gas Natural	Hidrógeno
Combustión con Aire 	GN + Aire Ahorro Combustible 0 % Reducción CO_2 0 % Reducción NO_x 0 %	H_2 + Aire Ahorro Combustible 0 % Reducción CO_2 100 % Reducción NO_x 0 %
Combustión con Oxígeno	GN + O_2 Ahorro Combustible 10-50 % Reducción CO_2 10-50 % Reducción NO_x 100 %	H_2 + O_2 Ahorro Combustible 10-50 % Reducción CO_2 100 % Reducción NO_x 100 %

	Gas Natural	Hidrógeno
Combustión con Aire 	GN + Aire 8% CO_2 3% O_2 73% N_2 **16% H_2O**	H_2 + Aire 0% CO_2 3% O_2 67% N_2 **30% H_2O**
Combustión con Oxígeno	NG + O_2 33% CO_2 0% O_2 0% N_2 **67% H_2O**	H_2 + O_2 0% CO_2 0% O_2 0% N_2 **100% H_2O**

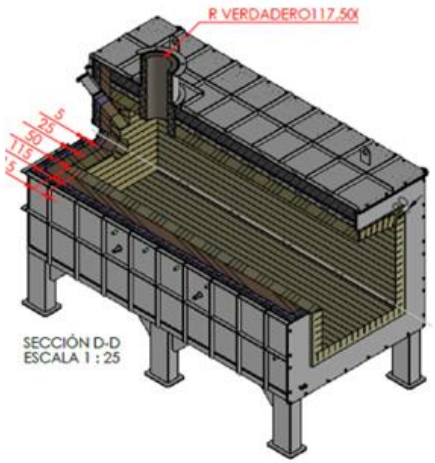
Asumiendo exceso de aire de 1/11,5

La conversión de equipos a un nuevo combustible (hidrógeno) y a un agente oxidante (oxígeno) produce cambios significativos que deben estudiarse en detalle.





Simulaciones CFD y pruebas de laboratorio



Prototipos a escala

Instalaciones industriales

- Programa: HAZITEK estratégico
- Periodo: 2021 - 2024
- Líder: Sarralle Environment & Energy

4 TECNÓLOGOS	5 ACERISTAS	4 CENTROS I+D
sarralle Calcinor Química Natural Kelsen insertec Furnaces & Refractories NIPPON GASES The Gas Professionals	ACERALAVA TUBACEX GROUP ArcelorMittal (Olaberria-Bergara) CELSA GROUP NERVACERO sidenor TUBOS REUNIDOS GROUP	ceit Member of Basque Research & Technology Alliance tecnalia Member of Basque Research & Technology Alliance sidenor R+D TUBACEX GROUP
	ASOCIACIÓN CLUSTER SIDERURGIA	
	SIDEREX	

Consorcio H-Acero

Nº Expediente: ZE-2021/00025 Neutralidad climática de la industria del acero basada en nuevas tecnologías y procesos con aplicación intensiva del hidrógeno

H-Acero

sarralle™

A Universe of Engineering

ABOUT SARRALLE

Founded in 1965 and nowadays.

700 EMPLOYEES

Dynamic, highly-qualified and multicultural team.

4 BUSINESS LINES

Environment, Energy and Steel sectors.

11 LOCATIONS

Spain, Italy, USA, México, UAE, India, China.

TAILORED SOLUTIONS

Greenfield or Brownfield

OWN MANUFACTURING

Europe and India

+ 750 PROJECTS

More than 700 international projects worldwide.

Steel Melting Plants

Rolling Mill Plants

Processing Lines

Environment & Energy

GREEN ATTITUDE

OUR GREEN TECHNOLOGIES

- Energy Efficiency Technologies
- Decarbonization Technologies
- Circular Economy Technologies
- Hydrogen Technologies

OUR MAIN DRIVES

- Sustainability
- Safety
- Efficiency
- Quality

Scrap Cleaning Machine

Single Bucked Load

Waste Heat Recovery

Hot Charging System

Water Treatment

Electric Arc Furnace

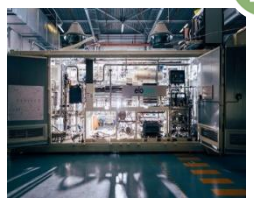
Ladle & Tundish Preheaters

Continuous Casting

Rolling Mill

Metal Recycling & Waelz Ox.

Treatment & Recovery Steel Slag



Electrolyzers

Siderúrgicos

H-Acero

ArcelorMittal

ArcerlorMittal Olaberria-Bergara

Pilar del desarrollo de la producción industrial de la región.

Fabricación de productos siderúrgicos **largos**.

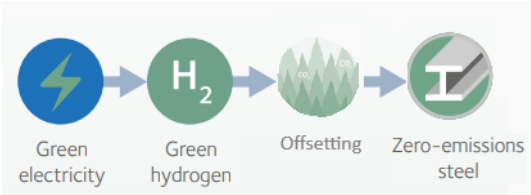
Producción de 1,5 Mt anuales de perfiles estructurales ligeros y de tamaño medio.

Abastecimiento de **mercados** como la construcción de edificios, industria naval, calderería y grandes infraestructuras, entre otros, exportando aprox. 80 % de la producción.

Descarbonización

Objetivo *Ser parte de la solución para alcanzar la neutralidad climática en 2050.*

Senda ArcelorMittal Olaberria – Bergara



Motivación Demostración de la viabilidad tecnológica del uso del H_2 en ArcelorMittal Olaberria – Bergara y la capacidad de adaptación a las nuevas variables asociadas al consumo de dicho vector energético. Enfocándonos en el uso del hidrógeno en lugar de Gas Natural en el Horno de Calentamiento, EAF, Oxicorte, calentamiento de cucharas…

Europe increased its 2030 CO2e emissions intensity reduction to

35%

scopes 1 and 2

Total investment of

$10 billion

required to achieve 2030 Group target (including Government support)

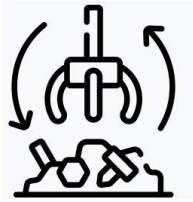
H-Acero

sidenor

Fabricamos acero

En Sidenor somos líderes en la producción de **aceros largos especiales.**

Somos **recicladores** de chatarra y consumidores **intensivos** de energía.



CHATARRA
900.000 t/año

GAS
600 GWh/año

ENERGÍA ELECTRICA
600 GWh/año

PRODUCTOS

Semiproductos:
palanquillas de colada continua, blooms (rectangulares y redondos) y desbastes de colada continúa

Barras laminadas:
redondos, palanquillas y llantas

Barras calibradas:
torneadas, estiradas y rectificadas

APLICACIONES PRINCIPALES

Automoción:
piezas para los conjuntos de la transmisión, motor combustión, motor eléctrico, caja de cambios, reductora, suspensión, dirección, etc.

Eólico

Oil&Gas

Off-highway

Ferrocarril

Minería

Bienes de equipo

OBJETIVOS CAMBIO CLIMATICO

SBT COMMITMENT

Scope 1 Direct greenhouse gas emissions from the company's activity	61,5% reduction
Scope 2 Energy-related emissions	
Scope 3 Raw materials, transport, etc. related emissions	32,5% reduction

Objetivo a 2033
respecto a año **base 2021**

ESTRATEGIA CAMBIO CLIMATICO

Alcance 1 Emisiones Directas

PROCESO

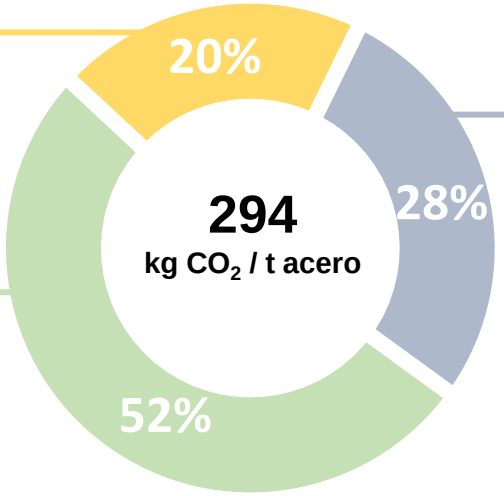
- Sustitución de carbones por alternativas no fósiles.
- Eficiencia.

COMBUSTION

- Eficiencia.
- Electrificación.
- **H_2 Verde.**

H-ACERO

ALCANCE 1 + 2
EMISIONES 2023



Alcance 2 Emisiones Indirectas

ENERGIA ELECTRICA

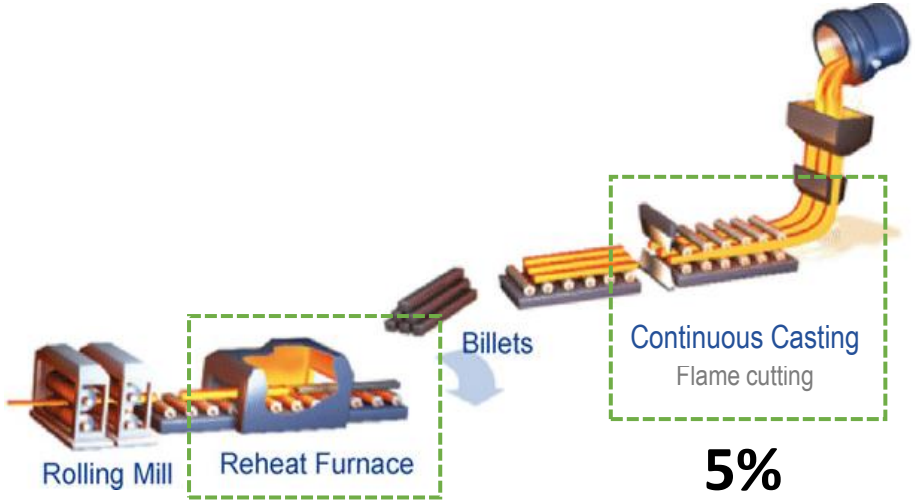
- Energía renovable.
- Eficiencia.

La **descarbonización** de los **procesos de combustión** es el **reto** más complicado para alcanzar nuestros objetivos.
H-Acero nos ayuda en la validación del uso del **hidrógeno** en distintos procesos de combustión.

Objetivos de Sidenor en el proyecto

Analizar la viabilidad técnica de sustituir el Gas Natural por Hidrógeno en los procesos de combustión.

- Pruebas a escala de laboratorio y en demostrador (Horno de Recalentamiento y Oxicorte).
  - Estudio del impacto sobre proceso y producto.
- Simulación CFD del proceso de calentamiento con GN e H_2 en el Horno de Recalentamiento de Basauri.



Retos futuros: pruebas industriales y ampliación del perímetro.

H-Acero

CELSA GROUP™ | NERVACERO

CELSA™ GROUP

2nd RECYCLING COMPANY *in Europe*

1967 – 2024

La adquisición de Nervacero en 1988 permitió a CELSA Group™ pasar a ser líder del mercado español en redondo corrugado. Nervacero cuenta con una capacidad de producción de un millón de toneladas de acero líquido anuales y produce acero corrugado para el armado del hormigón y redondo liso.

ISO 9001, 14001, 45001 y 50001

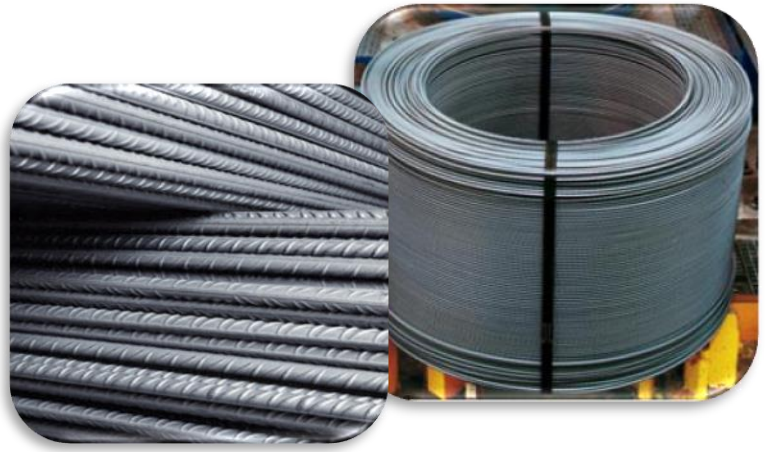
Follow us and be part of #CELSAfamily

Commitment to the community.

nervacero

Nuestros productos largos para construcción

- Paquetes de Barra de acero corrugada de 8mm a 40mm de sección y de entre 6 y 18 m de longitud en calidad B500SD y B500B
- Rollo Spooler de corrugado de 8mm a 25mm de entre 3 o 4 tm
- Calidad B500SD y B500B



Nuestros productos en palanquilla

- Palanquilla que se utiliza como materia prima en nuestro propio tren de laminación o se vende a clientes externos para la fabricación de productos planos, productos largos de sección variable, etc.
- Formatos:
  - SLAB: Secciones de 270x150 y 210x150 mm de entre 6 y 13m de longitud
  - BILLET: Secciones de 130x130, 140x140 y 160x160 mm de entre 6 y 13m de longitud
- Calidad:
  - Bajo Carbono y Aleación para laminado en caliente S-275, S-355
  - C (0,10 – 0,30 %), Mn (0,50 – 1,20 %)

Nuestra estrategia de Descarbonización Gas Natural

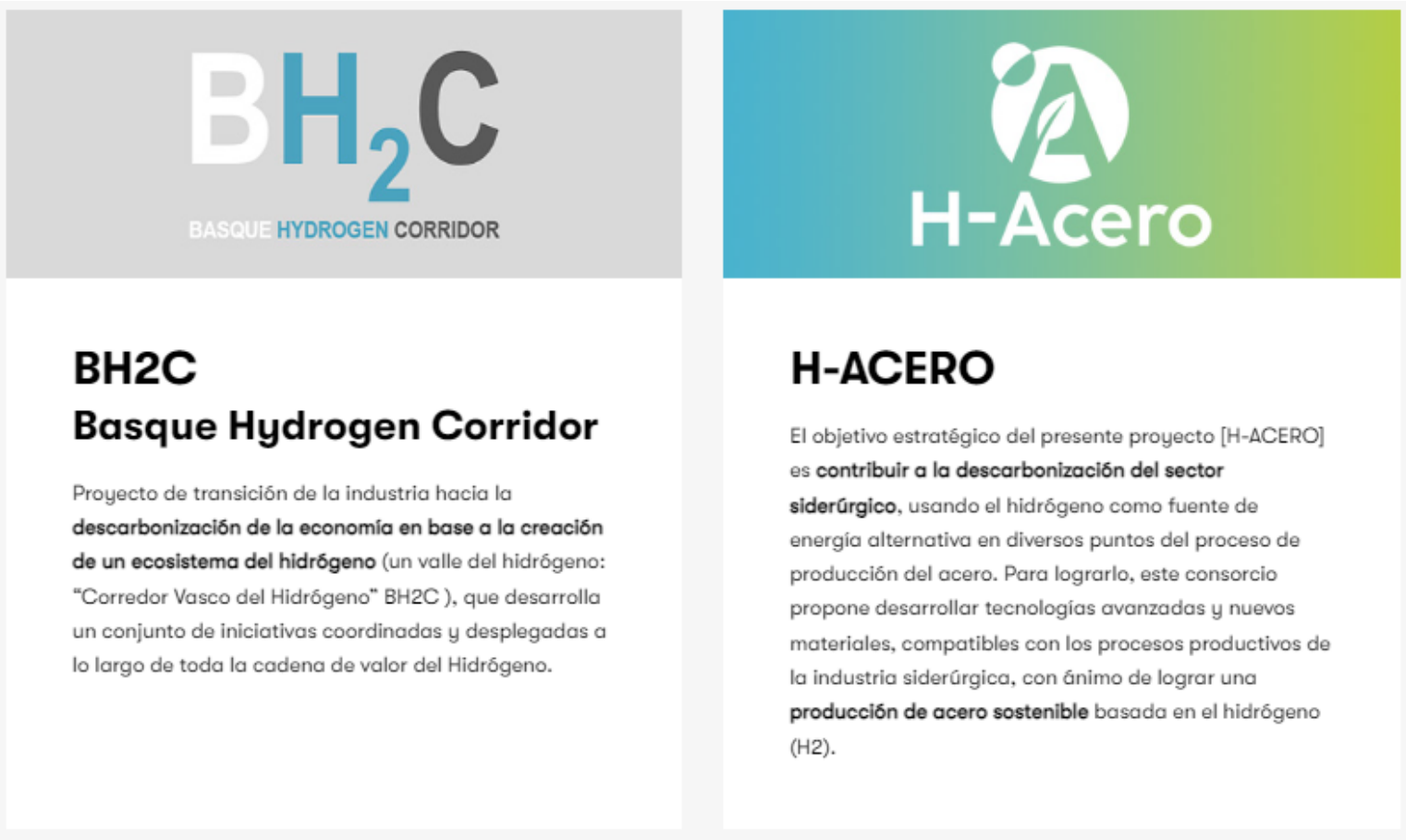
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
GN Lam	389,6	396,9	369	371	371	276	276	276	248,4	220,8
GN Acería	112	125	25,5	15	15	15	15	15	15	15
Carbón	7,7	7,32	7	5	5	5	5	5	5	5
Electrodos	0,917	0,956	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Accion 1			Horno de acería sin PC	Secadores de cucharas Oxigas	Pruebas Prereducidos	Nuevos mecheros horno laminación			Uso 10% H2	Uso 20% H2
Accion 2				Pruebas espumantes alternativos	Sustitucion de parte de espumantes					

El gran desafío de la Agenda 2030 es que el cambio no es mañana es HOY

- Contratos suministro:
  - Precio de los combustibles limpios
  - Escasez de oferta Energía Renovable
  - Imposibilidad de cerrar acuerdos PPAs
- Cambio Tecnológico:
  - Coste de inversiones
  - Elegibilidad en las ayudas para proyectos en base a Coste Inversión/Reducción de Emisiones

Proyectos de relevancia estratégica



- Afrontar el salto tecnológico con nuestros homólogos
- Establecer las alianzas locales que permitan en el futuro próximo abordar el reto

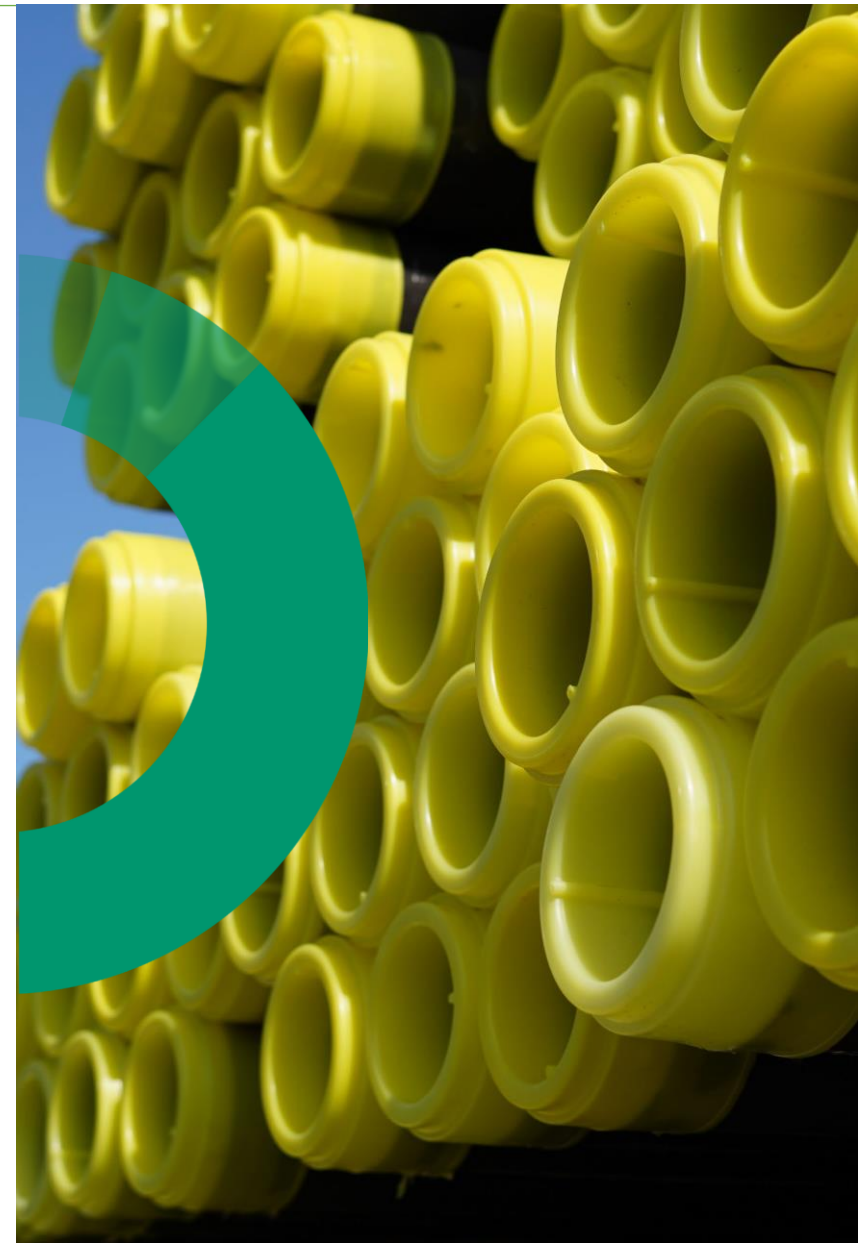
H-Acero

TUBOS REUNIDOS GROUP

TUBOS REUNIDOS GROUP

- TUBOS REUNIDOS (TR) fabrica tubos sin soldadura en acero al carbono, aleados e inoxidables.
- Aplicaciones en Energía e Industria e Infraestructuras.
- Gama dimensional entre 15 mm - 711 mm de diámetro exterior.
- Plantas productivas en Euskadi y EE.UU. (Texas).
- Retos importantes en transición energética al ser empresa electro intensiva y gas intensiva.
- La compañía apuesta firmemente por la Sostenibilidad y reducir su huella ambiental.
- Lanzamiento en 2024 de tubo de 0 emisiones netas GEI alcance 1+2: O-NEXT®.

Plan director de Sostenibilidad
Adhesión al Pacto Mundial de la ONU



EFICIENCIA ENERGÉTICA

Concentración de 2 acerías en 1 más moderna y eficiente, más sostenible, ampliando gama dimensional (2023).

Planta solar fotovoltaica en instalaciones de Amurrio y Trápaga: autoconsumo eléctrico estimado del 8% (2024).

PPA eléctrico con energía renovable a 10 años.

Migración de carretillas para logística interna de gasoil a biocombustibles / eléctricas.

Investigación en aplicación de H2 verde y biocombustibles en hornos.

Reducción del 20% de GEI / tonelada de tubo producida (2028).

CIRCULARIDAD

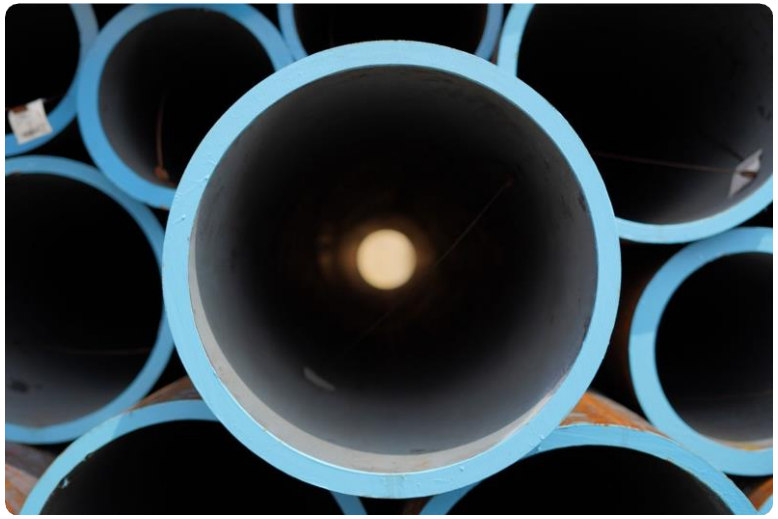
96% de la materia prima proviene de reciclaje (2023).

60% reducción de residuos a vertedero (2028).

GESTION SOSTENIBLE DEL AGUA

19.598,1 m
de agua recirculada

DIGITALIZACION



MOTIVACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO PARA TRG

Valoración del uso del H2 verde en nuestros procesos productivos

HAZITEK I

Estudiar el comportamiento de nuestras barras de acero en las fases de recalentamiento en los hornos de solera giratoria en una atmosfera de H2.

HAZITEK II

- Avanzar en las conclusiones provisionales del Hazitek I, derivadas del uso del H2 verde en los hornos de fusión y recalentamiento.
- Estudiar el uso de DRI verde, producido con H2, en lugar de chatarra de bajos residuales.
  - Ventajas esperadas:
    - Materia prima más accesible a futuro.
    - Menor huella ambiental en TR.
  - Retos técnicos:
    - Ver los efectos en el horno de fusión de la disminución de la energía química en la carga.
    - Ver posibles problemas asociados a la espumación de la escoria y la reducción del óxido de hierro en hierro.

ACERALAVA

TUBACEX GROUP

Somos un LIDER MUNDIAL en SOLUCIONES INDUSTRIALES AVANZADAS para el sector energético y de movilidad

Ambientes agresivos y muy exigentes: altas temperaturas, altas presiones y alta corrosión

Desde proveedor de tubos a proveedor de referencia de SOLUCIONES INDUSTRIALES AVANZADAS

Somos un **referente mundial** en el diseño, fabricación e instalación de **productos industriales avanzados** y **servicios de alto valor añadido** donde solo las soluciones más sofisticadas ofrecen el mejor rendimiento.

SOCIO GLOBAL PREFERENTE

Los **clientes** son nuestro **activo**. Satisfacemos sus necesidades, trascendemos las fronteras nacionales y fomentamos la **colaboración** a escala global con nuestro **modelo de producción totalmente integrado**, que cubre por completo el ciclo de vida de los productos. Nos enorgullecemos de co-crear **soluciones innovadoras** junto a nuestros clientes.

DIVERSIFICACIÓN PIONERA A TRAVÉS DE MÚLTIPLES SECTORES DE NEGOCIO

Desde el sector del petróleo y el gas hasta la **industria low carbon**. Como parte de nuestro compromiso con los productos de alto valor tecnológico, hemos desarrollado capacidades de producción en aquellos segmentos que requieren **mayores niveles de experiencia** y donde se espera un **crecimiento significativo.**

DESDE NUESTRA FUNDACIÓN EN 1963, HEMOS EVOLUCIONADO CONTINUAMENTE

DE LA MANO DE NUESTROS CLIENTES Y DE LA SOCIEDAD

HASTA 2014

TRADICIONAL
FABRICANTE DE TUBO DE ACERO INOXIDABLE SIN SOLDADURA

Transformación de **benchmarks** basada en **soluciones de alto valor añadido** en lugar de volúmenes, obteniendo **mayores márgenes** y acercándonos a nuestros **clientes.**

2014 2020

SOLUCIONES TUBULARES PREMIUM

Soluciones industriales avanzadas, posicionando a Tubacex como un **socio estratégico** a largo plazo y un actor clave en la **transición energética.**

2021 2025

PROVEEDOR DE SOLUCIONES INDUSTRIALES PARA EL SECTOR ENERGÉTICO Y DE MOVILIDAD

HACIA LA SIGUIENTE TRANSICIÓN

ANTICIPÁNDONOS DE FORMA PROACTIVA A LAS TENDENCIAS DEL MERCADO
POSICIONANDONOS A LA VANGUARDIA

SOLUCIONES LOW CARBON

*Ofreciendo soluciones low carbon para la **generación de energía, almacenamiento y transporte***

- Proyectos centrados en el almacenamiento y transporte de energía, respaldados por soluciones de CCS (Captura y Almacenamiento de Carbono) y H_2.
- Soluciones a medida para segmentos y materiales low carbon dentro de las aplicaciones del hidrógeno.

ESTRATEGIA CLAVE EN TUBACEX: SOSTENIBILIDAD

A- CDP Score CDP

SCIENCE BASED TARGETS
DRIVING AMBITIOUS CORPORATE CLIMATE ACTION

Contribuir al desarrollo de **soluciones innovadoras** para la **transición energética**

OBJETIVO 2030

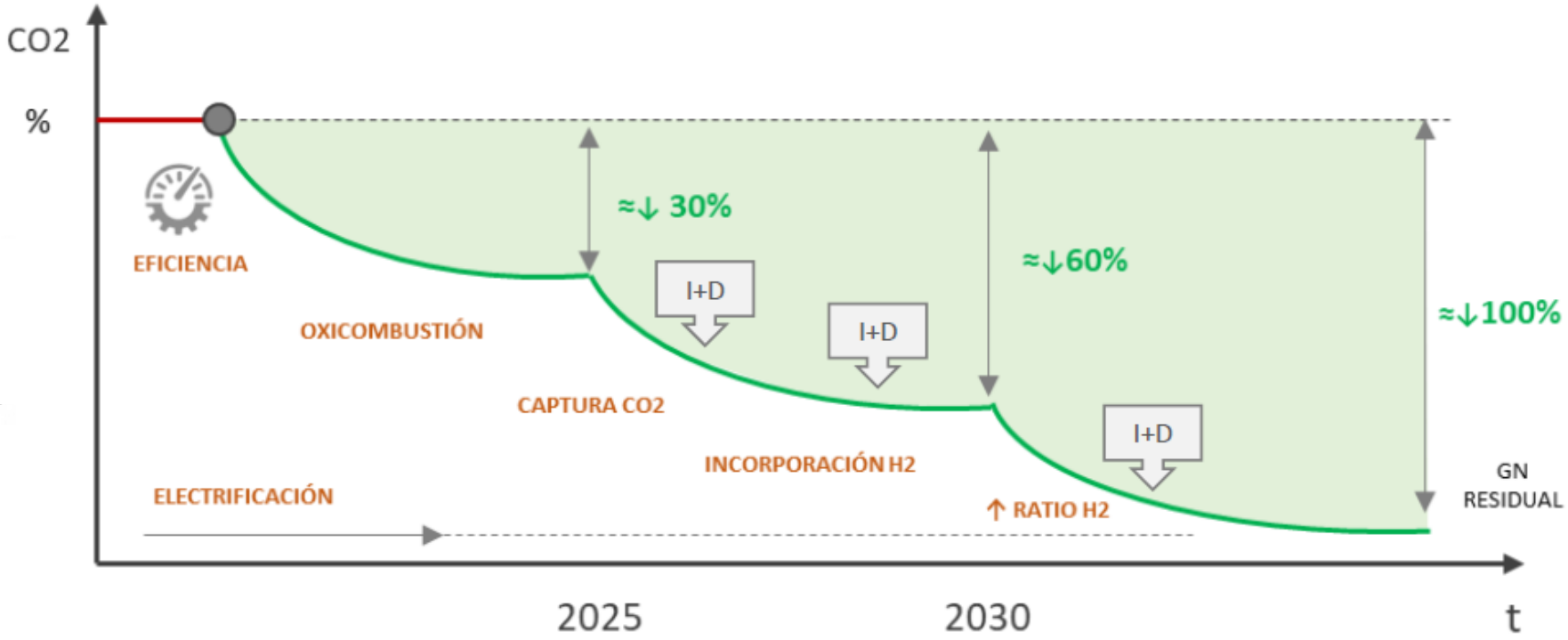
€50M	80%	1%-2%
BILLED TO NEW ENERGY SOURCE	R&D ENERGY TRANSITION PROJECTS	OF SALES INVESTED IN R&D

DESCARBONIZACIÓN

*Apostando por la **descarbonización de nuestras propias operaciones** e invirtiendo en **procesos avanzados** que nos lleven a la fabricación de **acero verde***

- Proyecto de investigación en la **utilización de H_2 y O_2** en la industria siderúrgica (hornos de recalentamiento, de tratamiento térmico…).
- Proyecto de investigación sobre la **calidad superficial** de los productos tratados en hornos de hidrógeno.
- Proyecto de investigación y diseño de un **horno piloto con H_2** como combustible.

PROYECTO H-ACERO: ESTRATEGIA DE INNOVACIÓN



Avanzar hacia la neutralidad y mejorar la circularidad empresarial

NUESTRA AMBICIÓN 2030

<60% INTENSITY OF EMISSIONS | **40%** GREEN ENERGY | **95%** OF WASTE CIRCULARITY

Refractaristas

Calcinor
QUÍMICA NATURAL

Kelsen

HISTORIA

Fundada en los años 60

Refractarios especializados para la industria siderúrgica

Calcinor desde 2001

130 trabajadores

Exportaciones a más de 30 países 4 continentes

INTEGRACIÓN VERTICAL

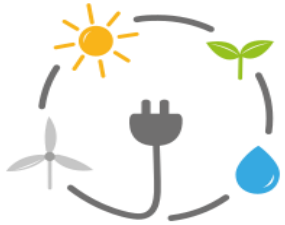
KELSEN se diferencia por ser una empresa con INTEGRACIÓN VERTICAL, que cuenta, de la mano de CALCINOR, con su propia materia prima para la fabricación de sus excelentes refractarios dolomíticos así como la cal y dolomía que requires sus clientes.

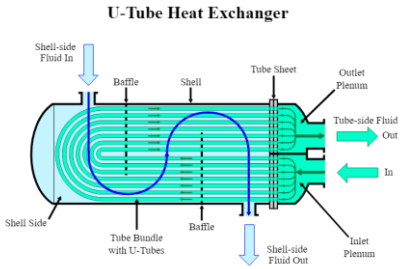
INSTALACIONES

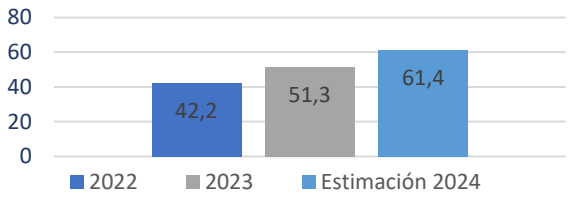
Capacidad de Producción	Instalaciones	Producción	Prensas	Horno temperizado	Horno cocción	Laboratorio	Almacén
100.000 t/a	36.000 m2	3 líneas independientes	8 unidades	65.000 t/a	25.000 t/a	I+D+i	Automático de producto terminado

HITOS DESCARBONIZACIÓN

ALCANCE 1 & ALCANCE 2			ALCANCE 3
2023: Instalación de paneles solares	Fuente energía Renovable	2024: Intercambiador calor	Valorización de residuo refractario







Objetivo 2025:
> 10% consume eléctrico

> 6.000 t de CO_2e reducidas en 2023

Objetivo 2025: > 20.000 t de CO_2e

GZS https://gzs.eus/

MOTIVACIÓN PROYECTO H-ACERO

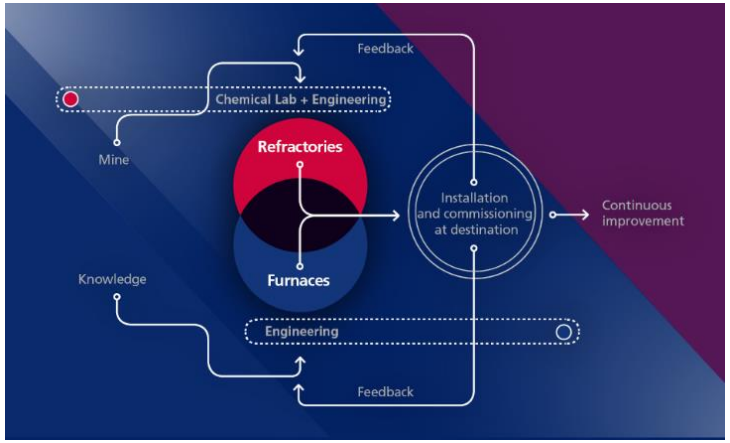
Motivación proyecto H Acero	
1. Sector Estudio	Siderurgia. Único cliente de Kelsen.
2. Conocimiento proceso combustión	Cocción refractario: 70% de las emisiones del alcance 1 & 2 derivan del proceso de combustión en gas natural.
3. Productos higroscópicos	Refractarios básicos potencialmente degradables en reacción con la humedad.
4. Consorcio	Formado por expertos en la tecnología.

H-Acero

insertec

Furnaces & Refractories

INSERTEC – Hornos y Refractarios



- INSERTEC nace en 1980 en Basauri (Bizkaia) con el objetivo de mejorar los procesos industriales en el sector del calor industrial.

- Diseñamos y fabricamos equipos (hornos) y materiales refractarios.

- En 2024 el equipo lo conforman más de 500 personas repartidas entre la matriz (SP) y las diferentes filiales del grupo (CH, MX, BR, IT, FR, RU, e IN).

- Nuestro conocimiento en soluciones de ingeniería para el sector del calor industrial nos ayuda a producir refractarios más duraderos, con mejores rendimientos y menor huella de carbono. Nuestro profundo conocimiento en refractarios nos ayuda a diseñar plantas y equipos más eficientes, sostenibles, inteligentes, seguros y autónomos.

- En INSERTEC controlamos todas las facetas de nuestras soluciones gracias a un proceso de producción integral. Desde la extracción de materias primas para refractarios en nuestra propia mina, hasta el montaje y puesta en marcha de los equipos en las instalaciones del cliente.

INSERTEC – Iniciativa y compromiso con la sostenibilidad

insertec
Compromiso Insertec

Líneas estratégicas sostenibles

Eficiencia energética

Optimización de los recursos energéticos para maximizar resultados.

Descarbonización

Reducción progresiva de las emisiones y transición a energías limpias.

Energías renovables

Empleo progresivo de fuentes de energías sostenibles.

Economía circular

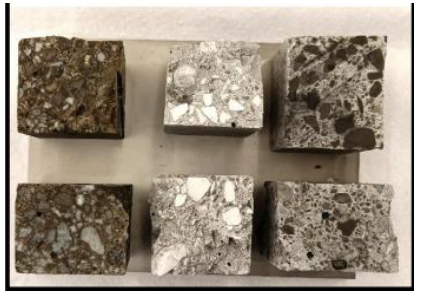
Proceso de reciclado de residuos para generación de materias primas.

INSERTEC – Participación en H-Acero. Motivación e importancia.

- Encaje dentro de la línea estratégica de descarbonización y transición a energías limpias.

- Aprender y generar conocimiento alrededor de las nuevas condiciones creadas por el uso del hidrógeno en los procesos de acería.

- Desarrollar una nueva gama de productos refractarios adaptados y preparados para trabajar en dichas nuevas condiciones.



Proveedor de gases

H-Acero

NIPPON GASES

The Gas Professionals

NIPPON SANSO HOLDINGS

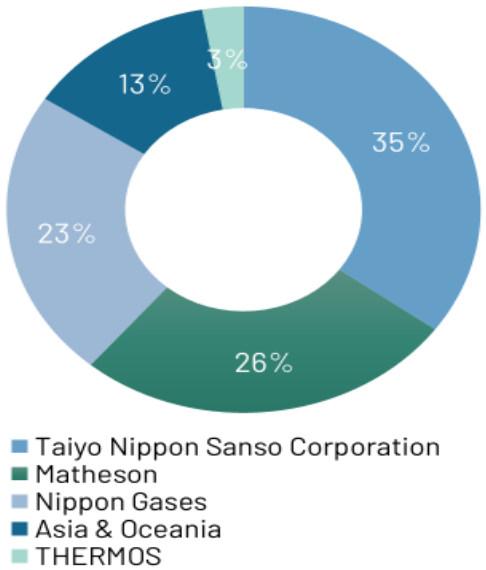
The Gas Professionals

6

Operations in more than **30 countries**

Click each region to visit their site

Sales
FYE2023



NIPPON SANSO HOLDINGS

Nippon Gases is part of Nippon Sanso Holdings Corporation - the parent company to the Taiyo Nippon Sanso industrial gas business in Japan, the US Matheson Tri-Gas Group, the European Nippon Gases, the Asia/Oceania Regional Group and Thermos Business Group. Our group has over 100 years of experience and boasts a major presence in Japan, Southeast Asia, Australia, the United States, Canada and in Europe.

Established 30th Oct **1910**

Head office In Tokyo **Japan**

With more than employees **19K**

Operations in more than countries **30**

NIPPON GASES
The Gas Professionals

The Gas Professionals

Our presence in Europe positions us as a leading company:

Over **3K** employees in Europe | **27.9%** of which are women | **13** European countries today

Belgium, Denmark, France, Germany, The Netherlands, Ireland, Italy, Norway, Poland, Portugal, Spain, Sweden and the United Kingdom.

serving more than customers **150K**

achieving revenues above **1.9B€** in FYE2023

Nippon Gases, the European company of **Nippon Sanso Holdings**

Our presence in Europe

Other brands by region:

All regions
NIPPON GASES The Gas Professionals
Iberia region
NIPPON GASES Welding & Cutting
OXIMESA NIPPON GASES
NIPPON GASES Healthcare
Italy
DRYCE NIPPON GASES
HOME MEDICINE The e-Healthcare Company
NOXTEC NIPPON GASES

Click each logo to visit their site

The Gas Professionals

8

- **14** Pipelines
- **5** Specialty Gases Laboratories
- **30** Air Separation Units
- **6** Hydrogen Plants
- **44** On-Site
- **12** CO_2 Plants
- 1K trucks
- Over **2.8** M cylinders
- **40** PAG Plants
- **7** Operative Terminals

Click each region to see a detailed map

Our Core Values

The result of our excellence in the previous points

Customer partnerships through innovative applications & operational excellence

Knowing and living the **Code of Conduct**

Meeting the needs of the present without compromising the future

Diversity / Inclusion / Talent reviews & development / Community engagement...

Our guiding principles

The Gas Professionals

10

Safety

- All accidents can be prevented.
- Safety is the responsibility of line management.
- Every employee is responsible for her/his own safety.
- Every employee must stop a job if it cannot be done safely.
- Efforts in safety yield results in safety.
- Safety is a condition of employment.

Compliance

- All compliance breaches can be prevented.
- Compliance is the responsibility of line management.
- Every employee is responsible for her/his own ethical behavior.
- Every employee must stop a job if it cannot be done ethically.
- Efforts in compliance yield results in compliance.
- Ethical behavior is a condition of employment.

Diversity

- Diversity & Inclusion are essential to our work and workplace.
- Inclusion is a line-management accountability.
- You are responsible for being a model for inclusive behavior.
- Every employee must stop non-inclusive actions or conduct.
- Efforts in diversity & inclusion will increase engagement and improve business results.
- Inclusiveness is a condition of your employment.

Nippon Gases Confidential

NIPPON GASES The Gas Professionals

H-Acero

Market portfolio

The Gas Professionals

19% Food & Beverage

Quality and food safety are the pillars of solutions capable of keeping food fresh and minimising the need for additives.

Carbonation	●
Freezing	● ●
Inerting	●
Aquaculture	●

19% Metal production

Our range of products, services and equipment are focused on optimising fuel consumption and reducing CO_2, CO and NOx emissions.

Steel Production	●
Stainless Steel	● ●
Metal finishing/coating	●
Inerting	● ●

18% Manufacturing

We help reduce manufacturing cost, increase productivity and improve quality, maximising economic performance and minimising environmental impact.

Cutting	●
Welding	● ● ● ● ● ● ●
Glass	● ● ● ● ●
Automotive	● ● ● ● ●

12% Chemicals

From research and development to large-scale production, we offer solutions that contribute to a more sustainable world.

Production	● ● ●
Coal gasification	●
Syngas production	●
Process control	Spec. Gases

10% Healthcare

Our medical gases and respiratory therapy services contribute to the increasing health of our society.

Hospital	● ● ●
MRI	●
Anesthesia	●

6% Energy

We work to develop new ways of improving processes, meeting environmental objectives and reducing production costs.

Refining	●
Natural gas fracking	●
Enhanced oil recovery	●
Offshore	● ● ● ●

3% Electronics

The NSHD group is a leading provider of semiconductor specialty gases and associated equipment and services to the electronics industry.

2% Environmental Remediation

We develop solutions to remove water pollutants to restore the environment.

11% Other

We help our customers reduce waste, reuse materials, and increase productivity in many different markets.

Gases

Atmospheric	O_2	N_2	Ar		
Process	H_2	He	CO_2	CO	
Rare	Xe	Kr	Ne		
Specialty gases	N_2O	SiH_4	High Purity	Blends	

Carbon neutral world

Carbon neutral world is the global initiative of Nippon Sanso Holdings (NSHD), oriented towards helping our customers reduce their carbon footprint.

What are we doing to achieve this change?

As part of our strategy to contribute to this change, we are refocusing our gas-based solutions for different markets with a combination of 4 technologies. Visit carbonneutralworld.com to know more!

Markets

Steel

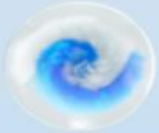
Glass

Aluminium & non-ferrous

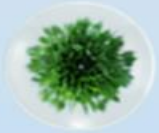
Biomethane

Applicable technologies

Combustion


HyCO

CO_2 Recovery


O_2 Production

The Gas Professionals

Nippon Gases is leading the digital and communication efforts of NSHD's Carbon neutral world

We enable
A carbon neutral world

NIPPON SANSO HOLDINGS

TAIYO NIPPON SANSO | MATHESON | NIPPON GASES

https://www.carbonneutralworld.com/

Actividades desarrolladas en el proyecto

H-Acero

sidenor R+D

tecnalia

MEMBER OF BASQUE RESEARCH & TECHNOLOGY ALLIANCE

ceit

MEMBER OF BASQUE RESEARCH & TECHNOLOGY ALLIANCE

TUBACEX GROUP

¿Qué efecto tiene la combustión de H_2 en los hornos de las plantas siderúrgicas?

Simulaciones combustión CFD

Horno Arco Eléctrico:

EAF – Simulaciones inyectores		
Inyectores actuales (Sarralle)	GN+H_2/O_2 (0-10-30-50-100% H_2)	Modo Lanza
		Modo Quemador

Horno Recalentamiento:

Horno Recalentamiento – Simulaciones quemadores		
Quemadores actuales (Sidenor)	GN/aire	1 MW
		2,5 MW
	GN+H_2/aire (10-30-50% H_2)	1 MW
Quemadores nuevos (Nippon Gases)	GN+H_2/O_2 (0-10-30-50-100% H_2)	1,2 MW
Horno Recalentamiento – Simulaciones horno		
Quemadores actuales (Sidenor)	GN/aire	Horno actual
	GN+H_2/aire (10-100% H_2)	Horno actual
Quemadores nuevos (Nippon Gases)	GN/O_2	Horno oxicombustión
	H_2/O_2	Horno oxicombustión

Realización de simulaciones de los quemadores de forma individualizada y de un horno de recalentamiento industrial analizando la situación actual (GN/aire), el efecto del H_2 en mezclas de GN+%H_2/aire y la oxicombustión del GN como del H_2, prestando especial atención al efecto del H_2 en los productos de combustión: H_2O, CO_2, CO y NOx.

Generación del conocimiento para la aplicación de diferentes modelos de combustión, específicos para cada tipo de quemador y combustión, GN+%H_2/aire y oxicombustión del GN y H_2.

Simulaciones combustión CFD

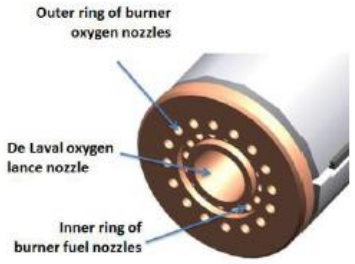
Horno Arco Eléctrico:

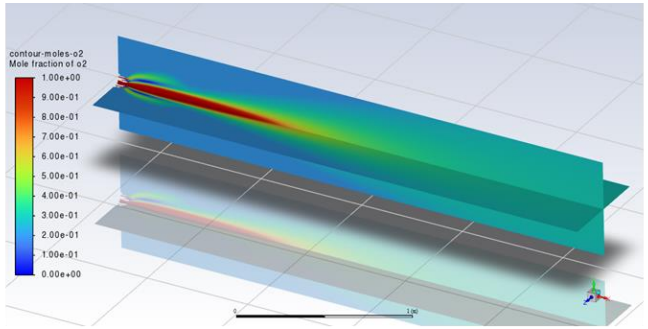
Inyector modo Lanza

El uso de H_2 mezclado con GN no afecta a la combustión y se verifica por tanto su uso como medio de protección del oxígeno primario.

Inyector modo Combustión

Se ha estudiado diferentes blending H_2 – GN para analizar su efecto en la combustión y los productos de la misma.





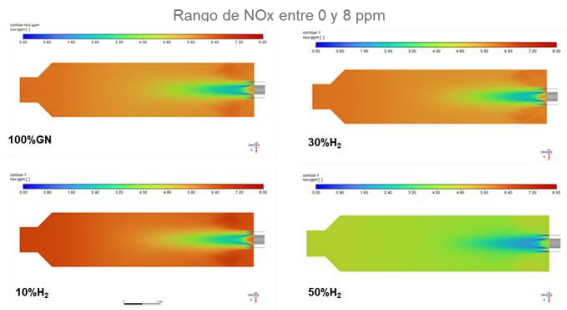
Oxígeno

Horno Recalentamiento:

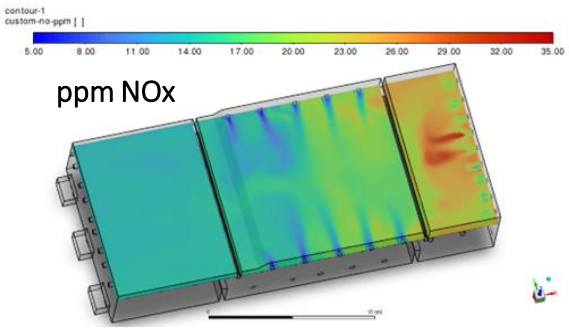
Para mezclas de GN+%H_2/aire se disminuyen los ppm de NOx con el incremento de H_2 en el gas.

Se reducen los niveles de CO_2 con el incremento del H_2 en el gas.

En el caso de la **oxicombustión** de GN e H_2 se mejora la eficiencia del horno de recalentamiento, pero se incrementan los niveles de H_2O de forma considerable y se reduce ligeramente el CO.



Quemador con mezclas GN+H_2



Horno de recalentamiento de Sidenor

Simulaciones combustión CFD

H-ACERO: Powering Green Steel

validación datos del horno de recalentamiento

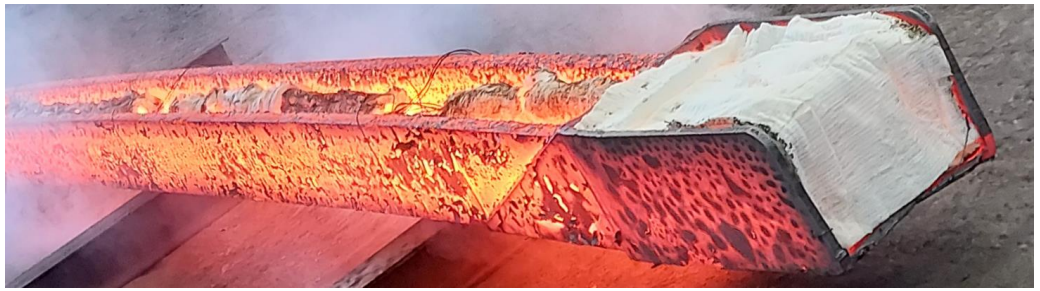
Objetivo

Medir la evolución de la temperatura del producto de acero en el horno de recalentamiento bajo las condiciones habituales de operación. Recopilar datos para alimentar las simulaciones CFD.

Se han realizado **4 ensayos** en el proyecto H-ACERO:

- 2 ensayos en AM OLABERRIA-BERGARA
- 2 ensayos en SIDENOR

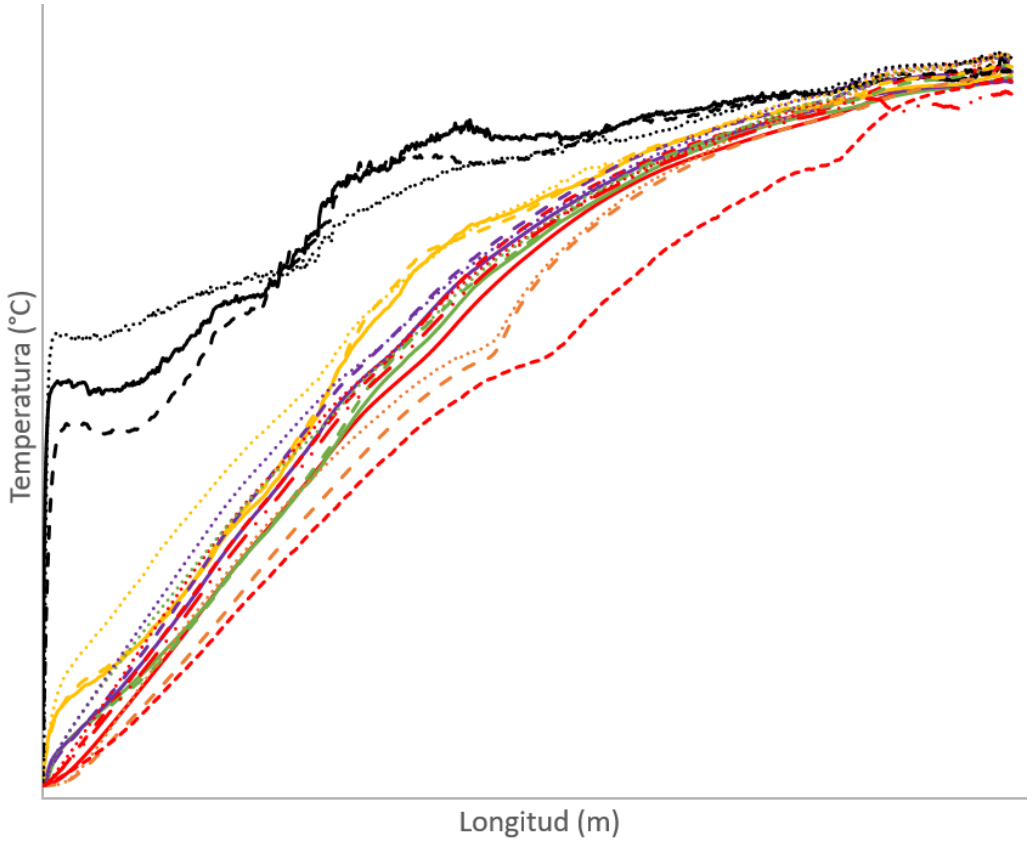
AM Olaberria - Beam Blank



Sidenor - Palanquilla

Resultado

Curvas de calentamiento registradas en cada ensayo.



¿Qué HERRAMIENTAS se han usado para entender el efecto de la combustión de H_2 en acero y refractarios?

1 SET-UP DE LABORATORIO

2 DESARROLLO DE PROTOTIPOS

Set-ups de Laboratorio

Refractarios y estudio metalúrgico

Reproducir los ciclos térmicos de los hornos en condiciones controladas de temperatura y atmósfera.

Sistema mezclador-vaporizador

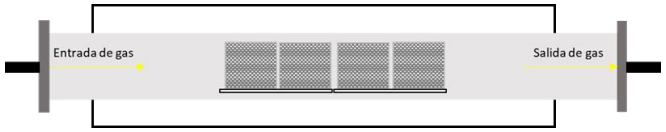
Caudalímetro agua
Caudalímetros gases
Evaporador-mezclador
Sensores: CO_2, CO, PO_2, H_2O (dew point), CH_4

Parámetros estudiados

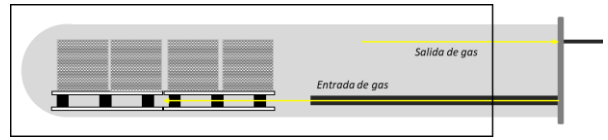
Tipo de atmósfera.
Tiempo de mantenimiento.
Tipo de flujo / caudal: laminar vs. turbulento.

Hornos

Flujo "laminar"



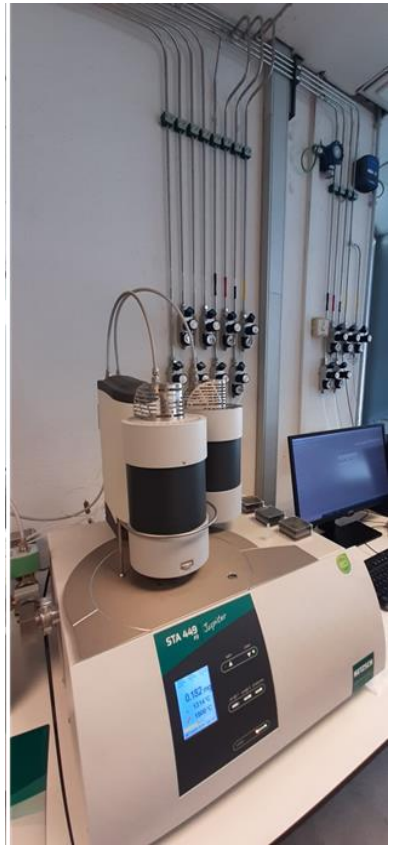
Flujo "turbulento"



Set-ups de Laboratorio

Estudio metalúrgico

Análisis termogravimétrico

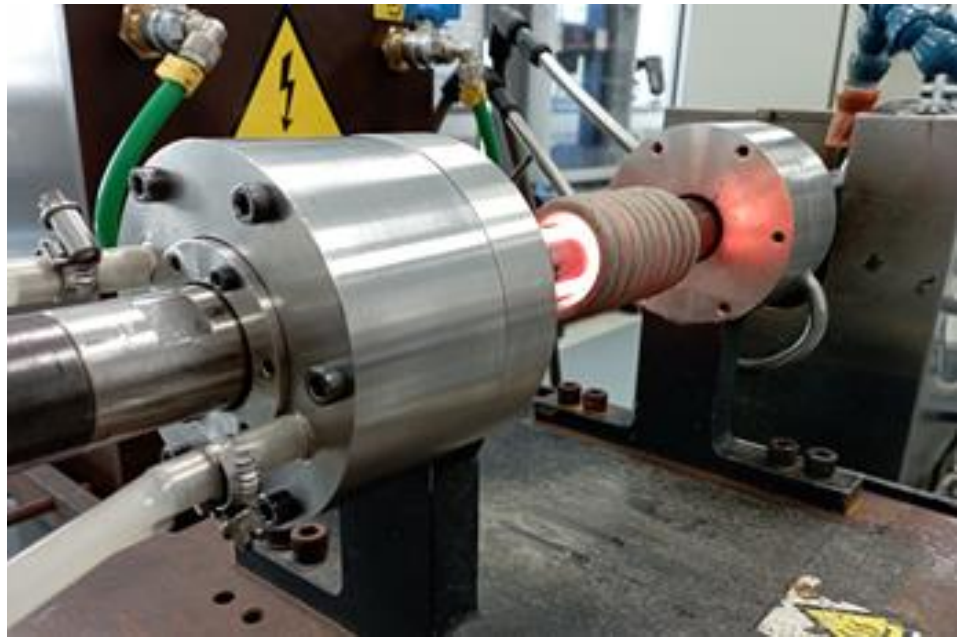


Water Vapor Generator

Análisis termogravimétrico (TGA):
Cinéticas de oxidación
Amplio rango de temperaturas y bajo atmósferas de combustión de hidrógeno (hasta 100% H_2O)

Ductilidad en caliente

Ensayos termomecánicos



Evaluación de la ductilidad del acero:
Deformación a rotura / Ensayos multipasada (simulación primeras pasadas laminación)

Set-ups de Laboratorio

Refractarios y estudio metalúrgico

Sala microscopía Ceit

Metodología

Refractarios:

- Identificación constituyentes y efecto vapor agua en la estabilidad de los mismos.
- Identificación de la formación de nuevas fases y efecto en las propiedades del material.

Estudio metalúrgico:

- Medidas macroscópicas (variación de masa, merma, etc.)
- Caracterización microestructural avanzada del óxido y acero
  - Microscopía óptica
  - FEG-SEM – EDS / EBSD / XRD
- Análisis cinéticas de oxidación en atmósferas complejas
- Susceptibilidad al agrietamiento a partir de las curvas σ-ε
- Evaluación de la calidad superficial:
  - Nº de defectos / Unidad de longitud
  - Parámetros de susceptibilidad al agrietamiento

Prototipo: Cámara de combustión

STAND DE VÁLVULAS

Permite operar con las siguientes atmósferas de combustión:

- Gas natural & Aire (atmósfera de referencia)
- Gas natural & Oxígeno
- Hidrógeno & Aire
- Hidrógeno & Oxígeno
- Mezclas de ambos combustibles en todo el rango (0-100%)

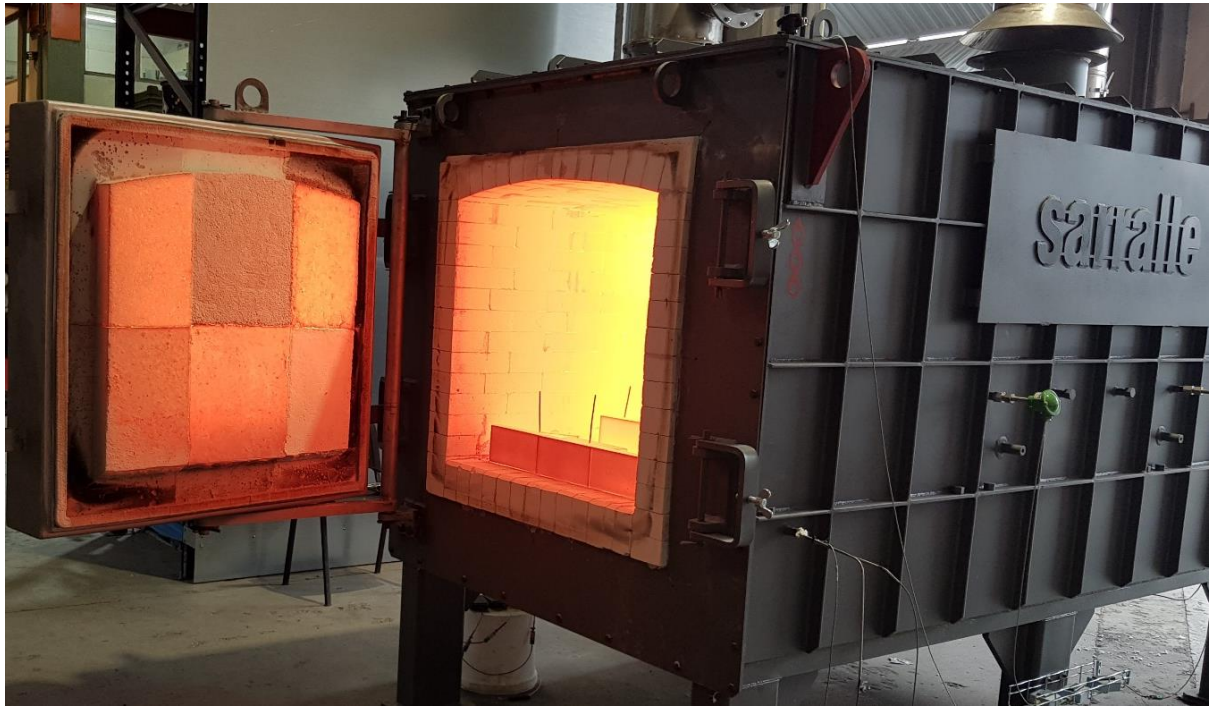
Modos de funcionamiento:

- Control de potencia manual
- Control de lazo cerrado por temperatura
  - Establecimiento de temperatura de mantenimiento
  - Definición de rampas de calentamiento

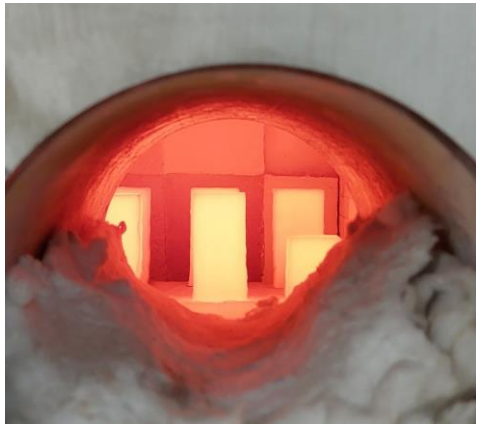
Limitaciones:

- Duración de ensayos limitada por capacidad de almacenamiento de hidrógeno (rack de 16 botellas).

Prototipo: Cámara de combustión



- Tratamientos sobre aceros y refractarios.
- Registro de temperatura en distintos puntos de la cámara.
- Capacidad de realizar carga y descarga en caliente.



Prototipo: Oxicorte

Objetivo

Determinar la viabilidad del uso de H_2 como combustible para el oxicorte de acero, y estudiar el efecto que tiene el H_2 sobre dicho acero en comparación con el proceso convencional (corte con GN).

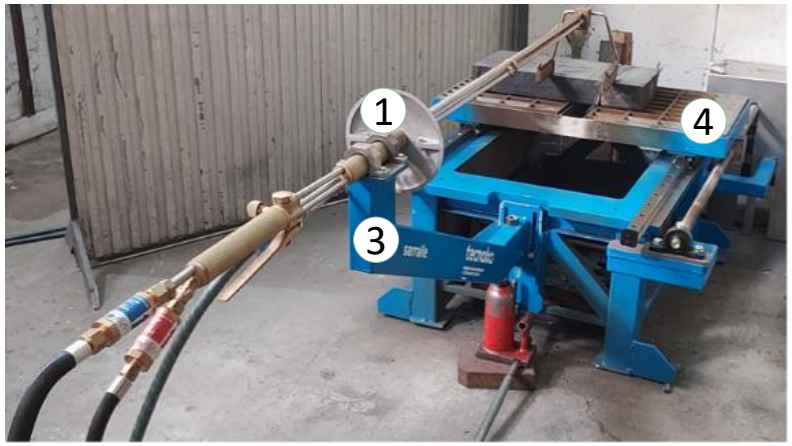
Equipo oxicorte:

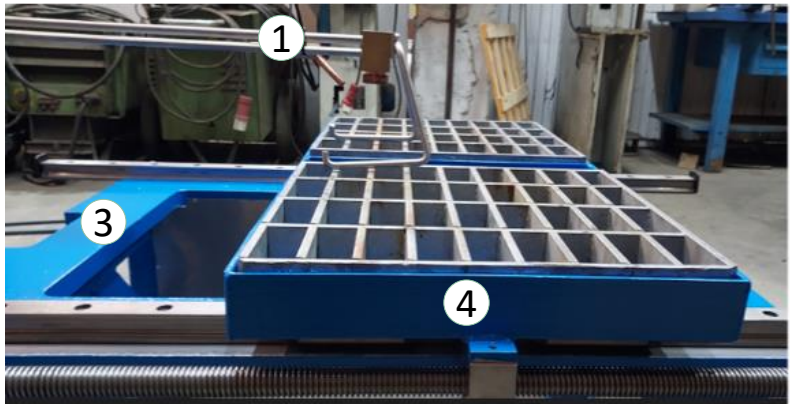
- Antorcha. (1)
- Rampa de gases. (2)

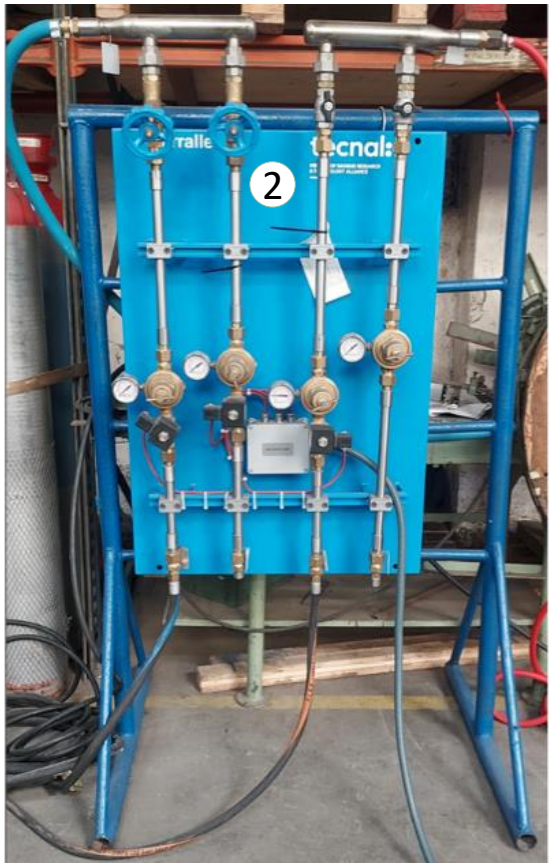
Extras diseñados:

- Bastidor con brazo (3) y mesa móvil. (4)
- Cuadro de control. (5)

El prototipo se ha diseñado bajo la premisa de hacer cortes lo más repetitivos posibles.



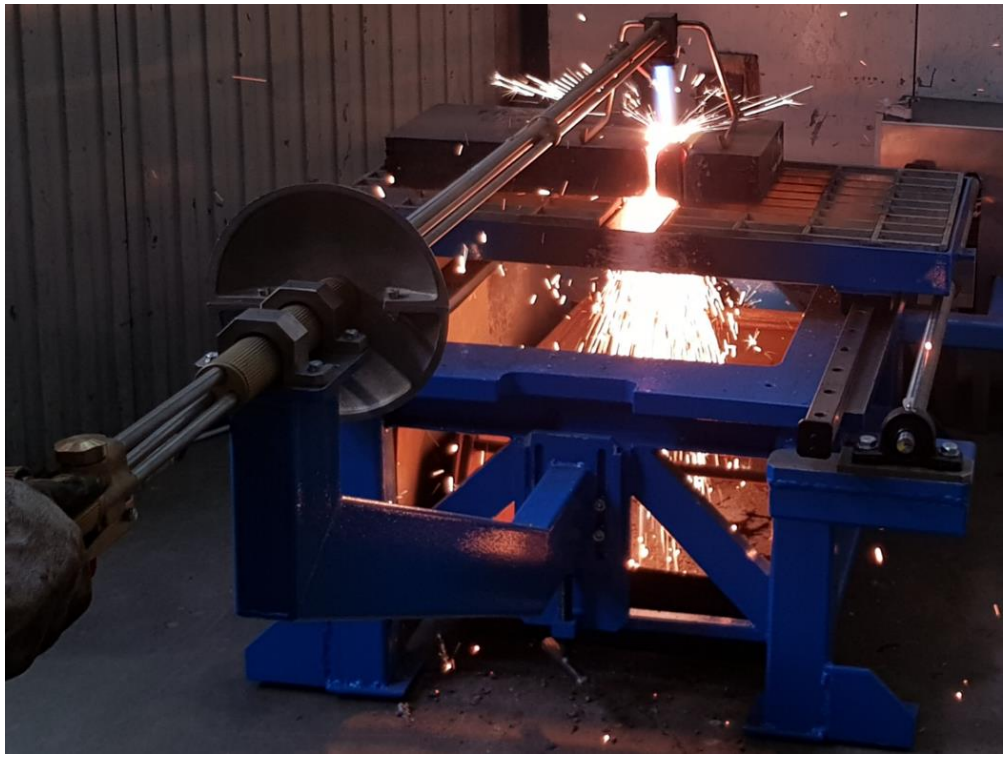




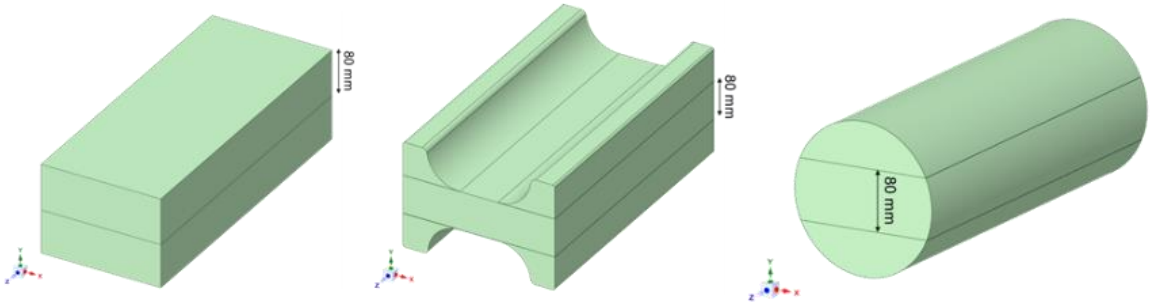
Prototipo: Oxicorte

Particularidades del prototipo

- GASES: el prototipo permite trabajar con 100% H_2 o 100% GN, no con mezclas.
- CORTES INDUSTRIALES: los parámetros de operación (distancias, presión gases, velocidades corte) se han configurado para simular los cortes realizados en la industria actualmente.
  - NOTA: los cortes industriales se realizan con el material caliente. En el H-ACERO se han realizado cortes con la pieza fría.



PROBETAS: para unificar todos los formatos de materiales, se sacaron probetas de 80 mm de espesor.



¿Cuál ha sido el efecto de las nuevas atmósferas en el comportamiento de los MATERIALES REFRACTARIOS?

Estudio de Materiales Refractarios

LADRILLOS REFRACTARIOS

Aglomerados con resina/brea

Cucharas

Precalentamiento: 1000 °C – 12 h

Familia MgO-C

2 calidades

Familia Al_2O_3-MgO-C

1 calidad

Familia Dolomía

3 calidades

REFRACTARIOS MONOLÍTICOS

Agregados + cemento aluminoso

Artesa

1200 °C

Base alúmina

2 calidades

Horno recalentamiento

900-1350 °C

3 calidades

Base Bauxita

Base Mullita

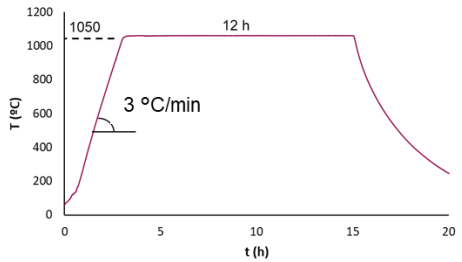
Base Andalucita

Estudio de Materiales Refractarios

LADRILLOS REFRACTARIOS: MgO-C / Al_2O_3-MgO-C / Dolomía — ENSAYOS

ENSAYOS LABORATORIO

1050 °C – 12 h



Atm.	CO_2	O_2	N_2	H_2O
GN+O_2	33	-	-	67
H_2+O_2	-	-	-	100

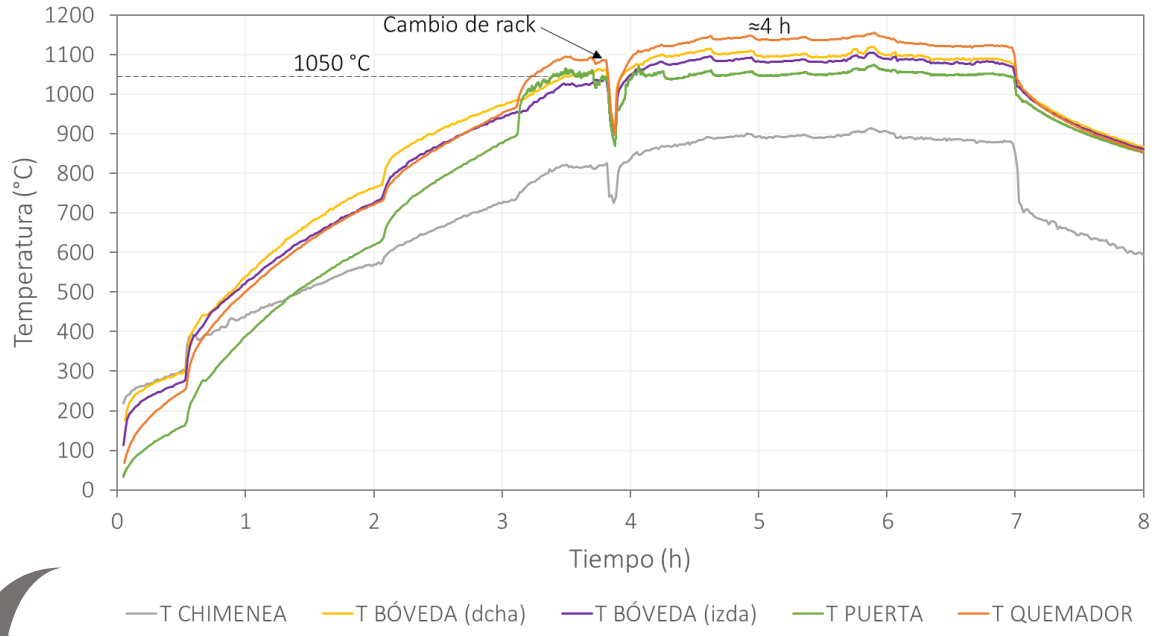
Variación masa / volumen
Resistencia mecánica (CCS)
Microestructura y composición

CÁMARA COMBUSTIÓN

6 calidades estudiadas

Cal. + Mant.
GN/O_2
H_2/O_2
GN/O_2 + H_2/O_2

1050 °C – 4 h



Variación masa / volumen
Resistencia mecánica (CCS)
Análisis composicional (DRX)

Estudio de Materiales Refractarios

LADRILLOS REFRACTARIOS: MgO-C / Al_2O_3-MgO-C / Dolomía —— CONCLUSIONES PRINCIPALES

ENSAYOS LABORATORIO

- **Familia MgO-C**

Estudio realizado en las condiciones más extremas (caudal alto y flujo turbulento):

✓ No hay pérdida de propiedades tras ser expuestos a atmósferas 100% H_2O.

- **Familia Dolomías**

Materiales sensibles a la hidratación.

Comportamiento ligado a las condiciones de los tratamientos: % vapor de agua, caudal, tipo de flujo.

Aglomerante (brea/resina) y/o las **adiciones de magnesita** juegan un **papel importante en la resistencia** frente al vapor de agua.

CÁMARA COMBUSTIÓN

- **Familia MgO-C / Al_2O_3-MgO-C**
- **Familia Dolomías**

1050 °C – 4 h // H_2/O_2 ; GN/O_2 ; $GN+H_2/O_2$

Calentamiento mediante **combustión de H_2 inhibe** la correcta **eliminación de la materia orgánica** (resina/brea).

Mayor pérdida de resistencia en el **material aglomerado con brea** cuando se calienta con combustión H_2.

Calentamiento híbrido (GN-700°C + H_2) mejora la tolerancia de los materiales al vapor de agua.

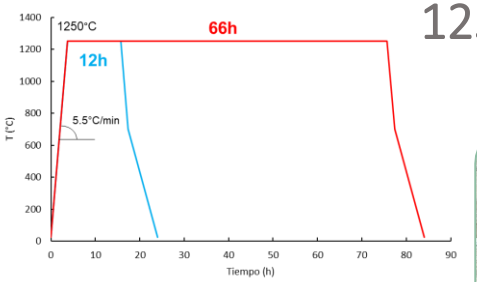
De los 6 materiales estudiados, 4 presentan resultados prometedores bajo las condiciones evaluadas para los nuevos procesos de combustión de H_2

Estudio de Materiales Refractarios

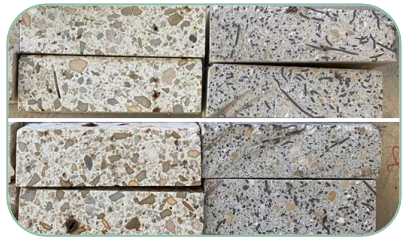
REFRACTARIOS MONOLÍTICOS

ENSAYOS

ENSAYOS LABORATORIO



1250 °C – 12 / 66 h



Atm. (% vol.)	CO_2	O_2	N_2	H_2O
GN/Aire	8	3	73	16
H2/Aire	-	3	67	30
H_2/O_2	-	-	-	100

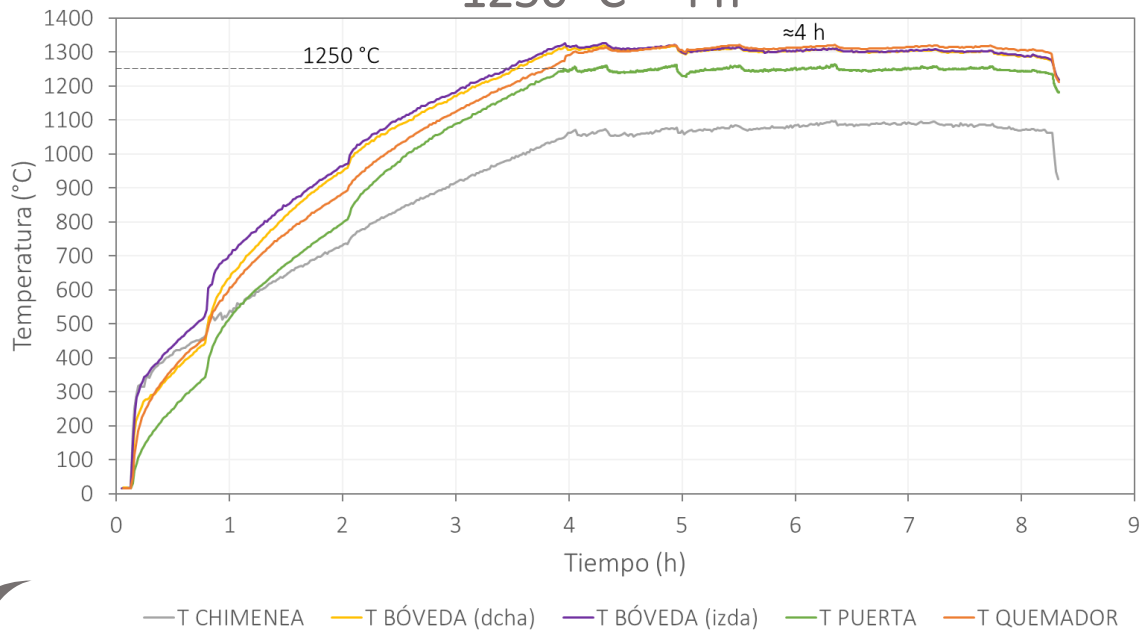
Variación masa / volumen
Resistencia mecánica (TRS)
Microestructura y composición

CÁMARA COMBUSTIÓN

9 calidades estudiadas

Cal.	Mant.
GN/Aire	GN/Aire
	H_2/Aire
GN/O_2	GN/O_2
	H_2/O_2

1250 °C – 4 h



Variación masa / volumen
Resistencia mecánica (TRS)
Microestructura y composición

Estudio de Materiales Refractarios

REFRACTARIOS MONOLÍTICOS

CONCLUSIONES PRINCIPALES

ENSAYOS LABORATORIO

1250 °C – 12 y 66 h

- ✓ **Aumento de resistencia** en atmósferas de vapor de agua, siendo más evidente tras tiempos largos de exposición.
- El **tipo de cemento** juega un **papel importante** en la resistencia tras tratamientos en 100% vapor de agua.
- ✓ **Secado** de los materiales en 100% vapor de agua es igual de **efectivo** que en la atmósfera de referencia (GN/Aire).

CÁMARA COMBUSTIÓN

1250 °C – 4 h // H_2/O_2 vs. GN/O_2

- ✓ **No se han observado diferencias significativas** en cuanto a pérdida de masa y resistencia cuando se calientan con oxicombustión de H_2.
- Es necesario realizar ensayos de mayor duración para poder determinar el comportamiento de estos materiales bajo condiciones de combustión de H_2.

Bajo las condiciones evaluadas todos los materiales parecen aptos para los nuevos procesos de combustión de H_2

¿Cuál ha sido el efecto de las nuevas atmósferas en la calidad y propiedades de los ACEROS?

Estudio de Materiales Metalúrgicos

ENSAYOS LABORATORIO

TT, TGA y Ductilidad en caliente

ArcelorMittal (Olaberria-Bergara)

Beam Blank
2 calidades

sidenor

Palanquilla
2 calidades

sarralle
Selección de aceros Ceit

Planchón delgado
Planchón
Palanquilla
6 calidades (↕%C, microaleación,...)

ACERALAVA TUBACEX GROUP

Tubos inox.
2 calidades

ENSAYOS PROTOTIPOS

Cámara de combustión y Oxicorte

ACERALAVA TUBACEX GROUP

sidenor

ArcelorMittal (Olaberria-Bergara)

CELSA GROUP | NERVACERO

TUBOS REUNIDOS GROUP

Cámara de combustión

Diferentes geometrías
12 calidades

Oxicorte

Diferentes geometrías
10 calidades

Estudio de Materiales Metalúrgicos

ACEROS

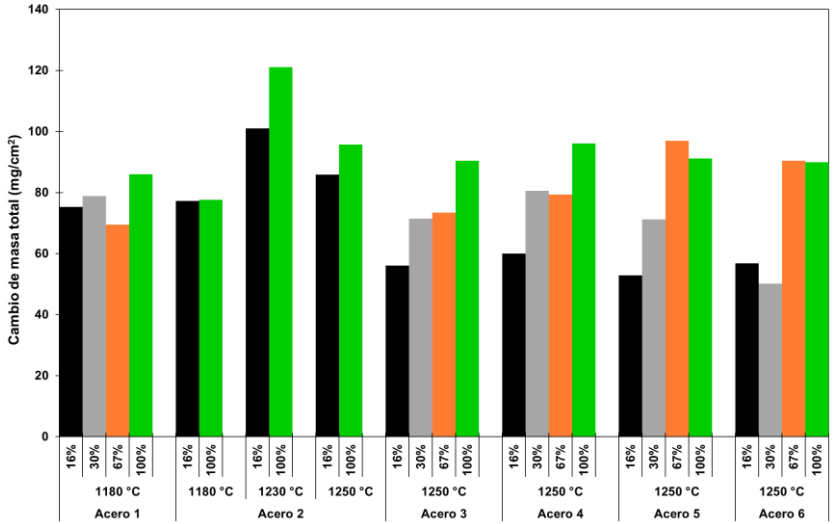
ENSAYOS

ENSAYOS LABORATORIO

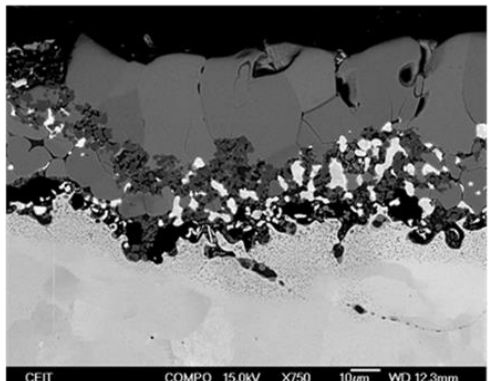
TRATAMIENTOS TÉRMICOS

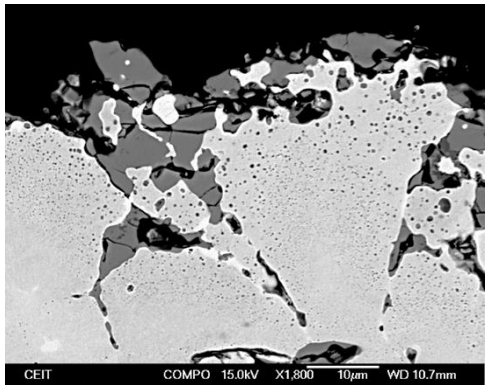
Reproducción ciclos industriales
1100-1250 °C - 15 min / 2h
4 atmósferas
12 calidades

Atm. (% vol.)	CO_2	O_2	N_2	H_2O
GN/Aire	8	3	73	16
H2/Aire	-	3	67	30
GN/O_2	33	-	-	67
H_2/O_2	-	-	-	100

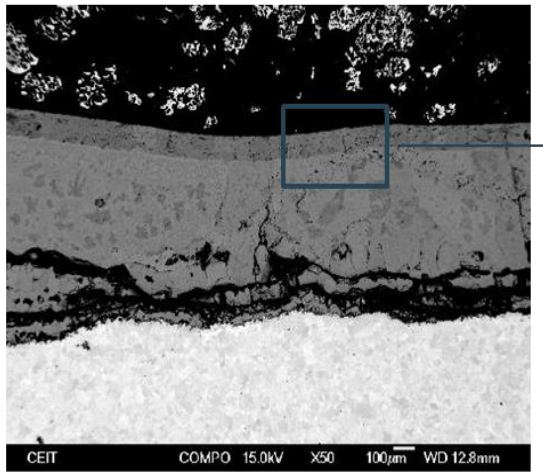


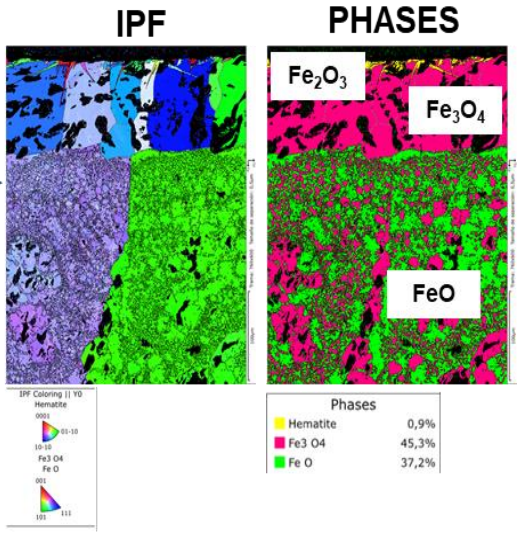
Variación masa / Merma / Espesor óxido
Caracterización microestructural avanzada: identificación fases, mecanismos de oxidación y oxidación interna, intercara, adherencia





Efecto en el rango crítico de temperaturas de oxidación para el hot shortness?





Estudio de Materiales Metalúrgicos

H-Acero

ACEROS

ENSAYOS

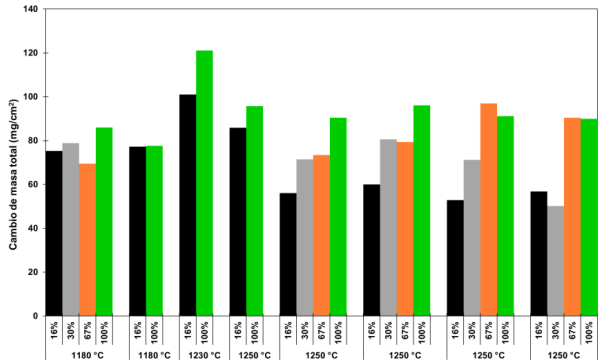
ENSAYOS LABORATORIO

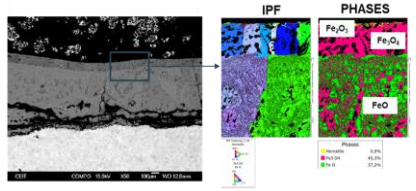
TRATAMIENTOS TÉRMICOS

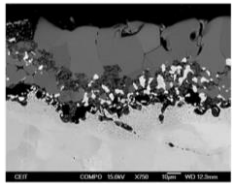
Reproducción ciclos industriales
1100-1250 °C - 15 min / 2h
4 atmósferas
12 calidades

Atm. (% vol.)	CO_2	O_2	N_2	H_2O
GN/Aire	8	3	73	16
H2/Aire	-	3	67	30
GN/O_2	33	-	-	67
H_2/O_2	-	-	-	100

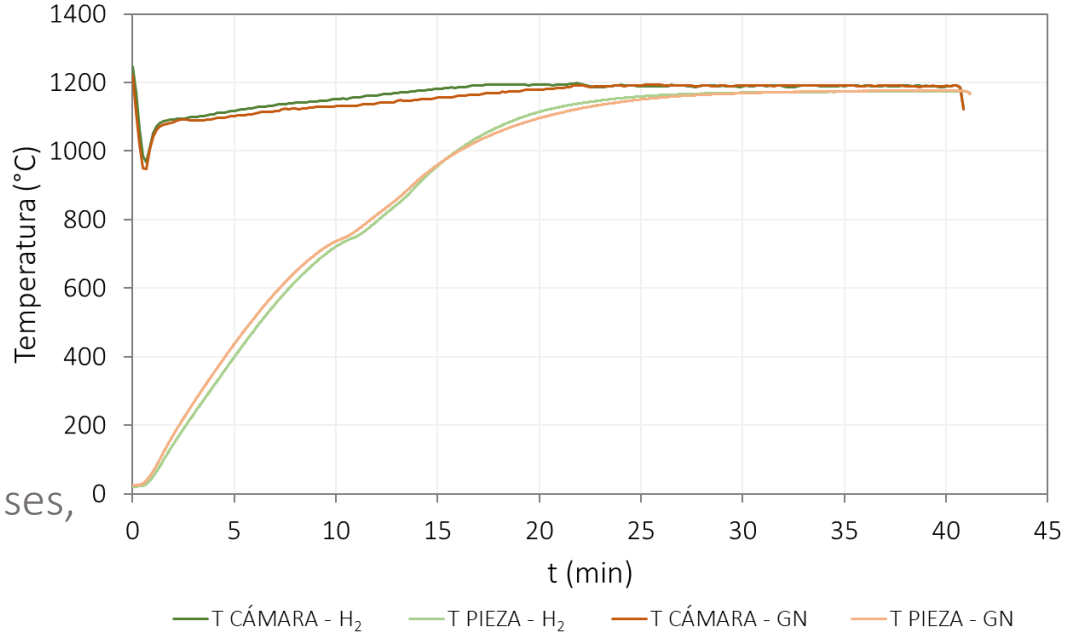
Variación masa / Merma / Espesor óxido
Caracterización microestructural avanzada: identificación fases, mecanismos de oxidación, intercara y oxidación interna







CÁMARA COMBUSTIÓN



1080-1270 °C - 15 min
4 atmósferas
12 calidades
Medición de la merma
Mecanismos oxidación

Cal. + Mant.
GN/O_2
H_2/O_2
GN/aire
H_2/aire

Estudio de Materiales Metalúrgicos

H-Acero

ACEROS

ENSAYOS

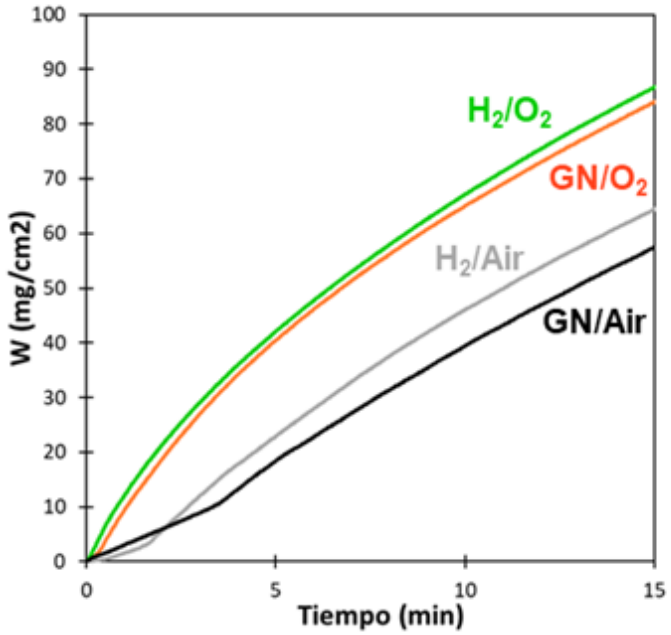
ENSAYOS LABORATORIO

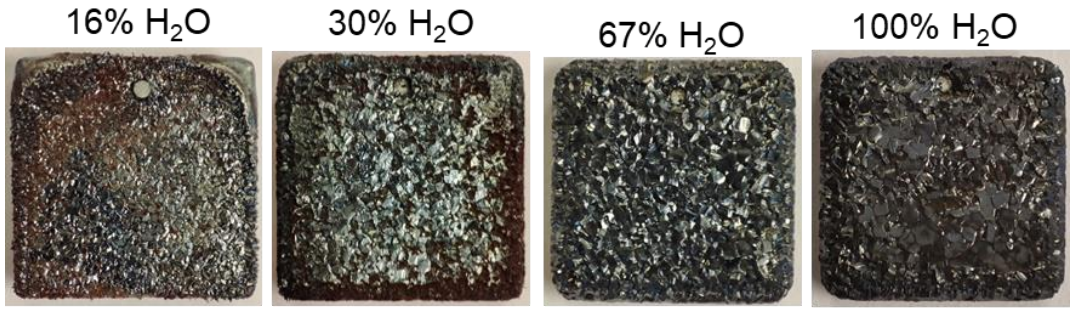
ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO

Oxidación isoterma
1180-1250 °C - 15 min / 2h
4 atmósferas
6 calidades

Atm. (% vol.)	CO_2	O_2	N_2	H_2O
GN/Aire	8	3	73	16
H2/Aire	-	3	67	30
GN/O_2	33	-	-	67
H_2/O_2	-	-	-	100

Variación masa
Estudio cinéticas de oxidación





Estudio de Materiales Metalúrgicos

H-Acero

ACEROS

ENSAYOS

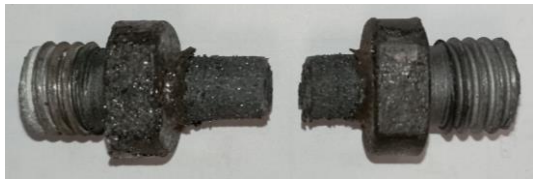
ENSAYOS LABORATORIO

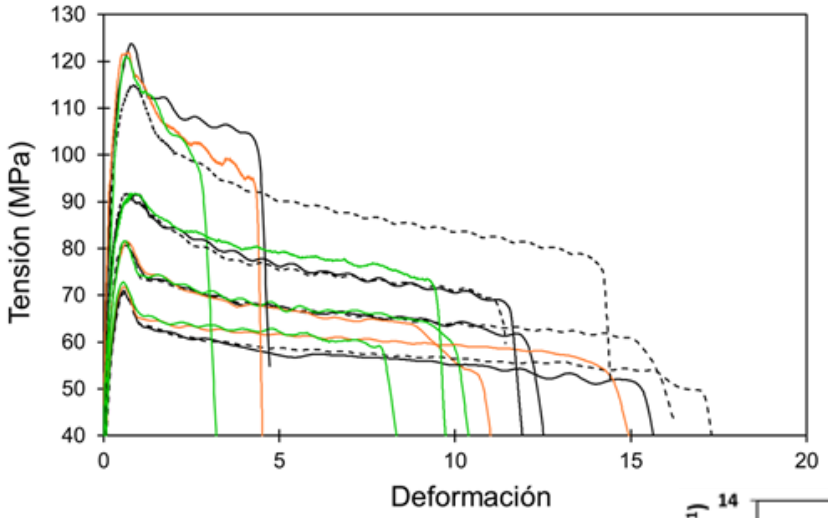
EVALUACIÓN DE LA FRAGILIZACIÓN

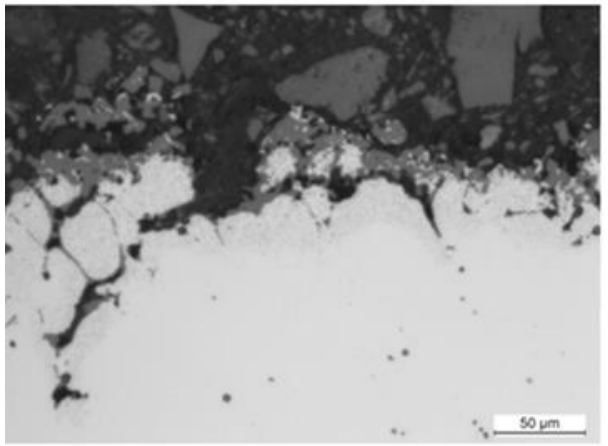
Reproducción ciclos industriales
1180-1250 °C - 15 min / 2h
4 atmósferas
4 calidades
Ensayos termomecánicos (torsión, tracción y flexión caliente)

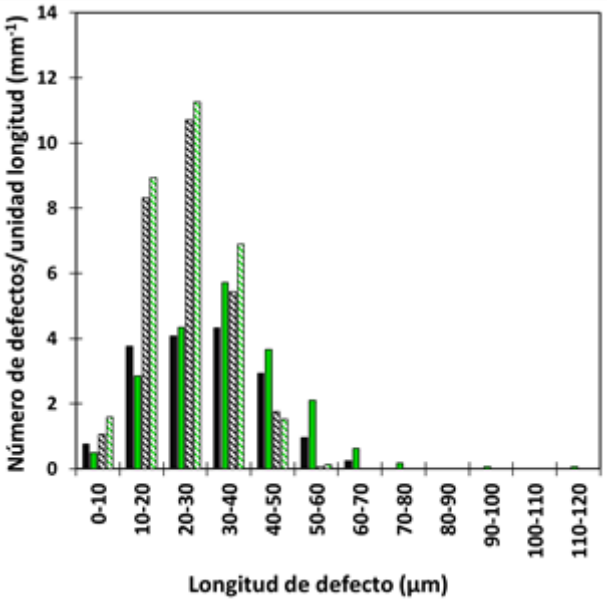
Atm. (% vol.)	CO_2	O_2	N_2	H_2O
GN/Aire	8	3	73	16
H2/Aire	-	3	67	30
GN/O_2	33	-	-	67
H_2/O_2	-	-	-	100

Curvas tensión - deformación
Parámetros de susceptibilidad al agrietamiento









Estudio de Materiales Metalúrgicos

ACEROS

CONCLUSIONES PRINCIPALES

ENSAYOS LABORATORIO

- **Aceros al C**

La **oxicombustión** (GN/O_2 (67% H_2O) y $H_2/O2$ (100% H_2O)) **causa un aumento en la cinética de oxidación** en comparación a lo observado con las atmósferas de combustión con aire (GN/Aire (16% H_2O) y H_2/Aire (30% H_2O)), especialmente a alta temperatura.

✓ **Se han identificado 2 tipos de mecanismos de oxidación** diferentes. El **tipo de mecanismo** operante lo determina principalmente la **atmósfera**. La **composición** del grado impacta en los fenómenos de la **intercara y la oxidación interna**.

✓ **No** se producen fenómenos de **fragilización/pérdida de ductilidad en caliente significativa** en ninguno de los modos de deformación analizados con el empleo de las nuevas atmósferas.

CÁMARA COMBUSTIÓN

- **Aceros al C**

La merma es superior tras combustión de H_2, especialmente a altas temperaturas de mantenimiento.

✓ La **adherencia de la cascarilla** es **media o baja**, especialmente al aplicar combustión con aire.

✓ **Resultados en línea con los obtenidos en laboratorio** respecto a los mecanismos de oxidación operantes

- **Aceros inoxidables**

✓ No se produce pérdida de material significativa independientemente de la atmósfera aplicada

Estudio de Materiales Oxicorte

Material: Acero al carbono

Corte CH_4

Corte H_2

Material: Acero inoxidable

Para cortar acero inoxidable, se utiliza polvo de hierro alimentado directamente a la llama para producir el oxicorte.

Corte CH_4

Corte H_2

Se han realizado un total de 32 cortes en los 8 materiales de acero estudiados (2 atmósferas, 2 velocidades de corte).

El prototipo desarrollado ha sido capaz de realizar cortes con H_2.

Para hacer un mismo corte (H_2 vs. GN), se usa menor presión de H_2 y, por lo tanto, es necesario menor caudal de H_2 que de GN.

Estudio de Materiales Oxicorte

CONCLUSIONES PRINCIPALES

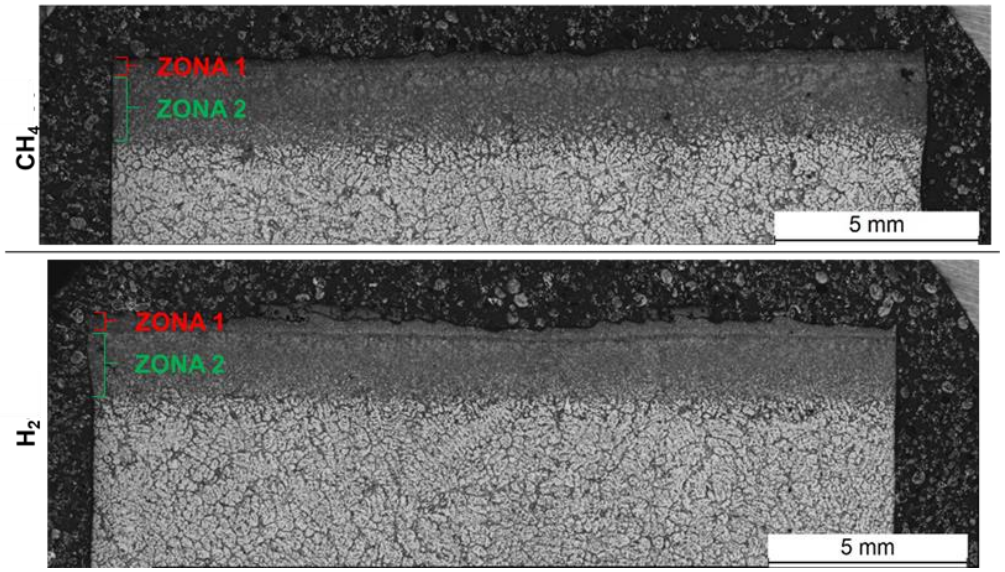
CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL

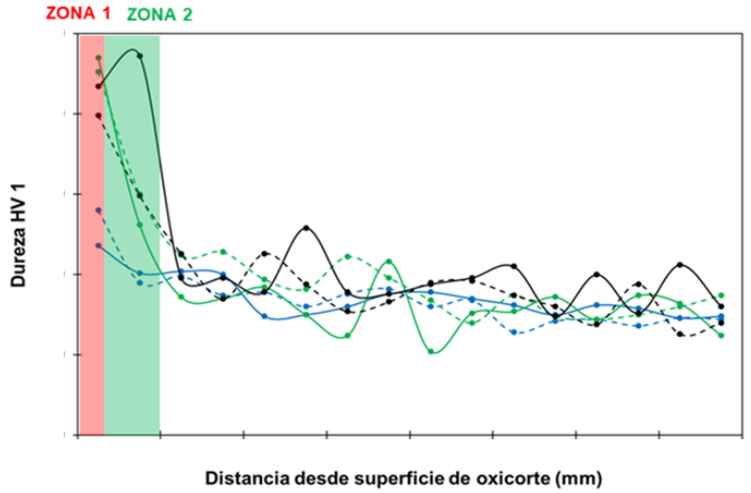
- Aceros al C

✓ La **zona afectada térmicamente (ZAT)** por el proceso de corte está compuesta por **dos regiones** que presentan significativas diferencias microestructurales, identificadas como Zona 1 y Zona 2.

✓ La zona afectada que delimitan los perfiles de **dureza** muestra una buena correlación con la obtenida mediante metalografía cuantitativa.

La **ZAT** alcanza una profundidad **similar independientemente de la atmósfera empleada** (GN o H_2).





Seguridad e Impacto Ambiental

Seguridad

Detalle de Cámara de Combustión y Stand de Válvulas

Detalle de suministro de Hidrógeno

Impacto Ambiental

La herramienta incluye las siguientes etapas:

- Generación
- Compresión
- Almacenamiento
- Transporte
- Combustión

Metodología

- Realizado el análisis del impacto ambiental generado por la generación, distribución y combustión de 1 m^3 de gas natural. Información → BBDD impactos **ecoinvent.**
- Modelado de la generación, compresión, almacenamiento, transporte, hidrogenera y combustión de 1 kg de hidrógeno. Información → **bibliográfica**.

Blending	Huella de carbono de producto [kg CO_2eq/kg acero]
100 % gas natural	0,0105 → Emisión anual: 4.459 toneladas
90% gas natural + 10% H_2	0,0101 → Emisión anual: 4.289 toneladas
70% gas natural + 30% H_2	0,0095 → Emisión anual: 4,034 toneladas
50% gas natural + 50% H_2	0,0088 → Emisión anual: 3.737 toneladas

16%

Conclusiones y Retos a futuro

Conclusiones

- Generación de conocimiento de modelos de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) de combustión para poder realizar simulaciones a nivel de quemadores y hornos completos con hidrógeno y oxicombustión.

- Puesta en marcha de set-ups de laboratorio para la caracterización detallada de materiales refractarios y aceros bajos atmósferas de combustión de H_2.

- Construcción de prototipo de cámara de combustión. Permite operar con 100% H_2, tanto con oxicombustión como combustión con aire. Posibilita estudiar materiales refractarios (hornos de recalentamiento, precalentadores de artes y cuchara, hornos de arco eléctrico) y metalúrgicos (diferentes grados de acero).

- Construcción de prototipo de oxicorte. Permite realizar cortes en frío de diferentes materiales de acero con 100% H_2.

Conclusiones

- Los resultados obtenidos en los set-ups de laboratorio y en los prototipos confirman tendencias muy similares.
    - Se han obtenido resultados prometedores respecto a la tolerancia de los materiales refractarios a las nuevas atmósferas de combustión de H_2.
    - En los aceros al C y microaleados, durante la etapa de recalentamiento el mayor efecto viene dado por el uso de la oxicombustión más que por el uso del combustible (GN o H_2).
    - En los aceros inoxidables, no hay pérdidas por oxidación reseñables en las atmósferas con mezclas con hidrógeno
    - No se producen fenómenos de fragilización/pérdida de ductilidad en caliente significativa en el acero con el empleo de las nuevas atmósferas.
    - El uso de H_2 parece prometedor en el oxicorte.

- ¡Ninguna incidencia de seguridad a lo largo de todo el proyecto!

Retos a futuro

- Análisis y desarrollo de más materiales refractarios y metalúrgicos para profundizar conocimiento.
- Avanzar en estudio del uso de hidrógeno y oxicombustión para el diseño de los equipos y el efecto en materiales.
- Importancia de estudiar el efecto del DRI verde en la fusión.
- Escalado y desarrollo de prototipos:
  - **Precalentador de cucharas:** validación experimental en demostrador industrial.
  - **Precalentador de artesas**: desarrollo tecnología de quemadores.
  - **Horno de recalentamiento**: estudiar el efecto del uso de hidrógeno en el descascarillado.
  - **Horno de arco eléctrico**: construcción de un prototipo a escala.
  - **Oxicorte**: realizar cortes en caliente y secciones completas de tamaño industrial.
- Necesidad de mayor disponibilidad/infraestructura de H_2 para realizar ensayos de mayor duración.

Otras iniciativas

- H2Hornos
- H2Sarea
- Avogadro
- H2INTEGRA
- HyShore
- H2Ocean

- HYINHEAT
- IS2H4C

H-Acero
H-Acero