Universidad Zaragoza
1542

Proyecto Fin de Carrera

Dimensionamiento y análisis económico de un sistema de producción de hidrógeno para almacenamiento a alta presión y purificación de argón.

Autor

Pablo Sanz de la Torre

Director y ponente

Diego Montaña Claver

José Luis Sánchez Cebrián

Escuela Universitaria de Ingeniería y Arquitectura

Septiembre 2011 – Ingeniería Técnica Industrial Química Industrial

Índice

1. Objetivo y justificación del proyecto 4

2. Antecedentes 5

2.1 El Hidrógeno 5

2.1.1. Introducción 5

2.1.1.1 Problema energético 5

2.1.1.2 Soluciones al problema energético actual 7

2.1.1.3 Hidrógeno como vector energético 11

2.1.2 La energía del hidrógeno: producción, almacenamiento y distribución 13

2.1.2.1 Características y propiedades físico-químicas 14

2.1.2.2 Producción de hidrógeno 16

2.1.2.2.1 Producción por fuentes no renovables 17

2.1.2.2.2 Obtención de hidrógeno a partir de fuentes renovables 21

2.1.2.2.3. Desventajas de obtención de hidrógeno mediante fuentes de energía renovables 23

2.1.3 Almacenamiento de hidrógeno 25

2.1.3.1 Almacenamiento como gas 25

2.1.3.2 Almacenamiento como líquido criogénico 25

2.1.3.3 Almacenamiento en forma sólida como hidruros metálicos 26

2.1.3.4 Comparación 26

2.1.4. Aplicaciones del hidrógeno 27

2.1.4.1 Hidrógeno en la industria 27

2.1.4.2 Hidrógeno para combustión 28

2.1.4.3. Hidrógeno en la industria metalúrgica 29

2.1.4.4 Otros usos 29

2.1.4.5 El hidrógeno en una planta de destilación de aire con producción de argón 30

2.2 El aire 31
2.2.1 El aire como materia prima 31
2.2.2 Separación de los gases del aire 32
2.2.2.1 Destilación del aire 33
2.2.2.1.1 Licuefacción del aire 33
2.2.2.1.2 Destilación 36
2.2.2.1.3 El argón contenido en el aire 38
2.2.3 Funcionamiento de una planta de destilación de aire 39
2.2.3.1 Funcionamiento de la planta de producción 40
2.3 Argón 43
2.3.1 Propiedades 43
2.3.2 Principales aplicaciones 43
2.3.2.1 El argón para uso industrial 43
2.3.2.2 El argón en la industria sanitaria 44
2.3.2.3 El argón en la industria alimentaria 44
2.3.2.4 El argón en la iluminación 45
2.3.2.5 Otros usos 45
3. Descripción del proceso de producción de hidrógeno 46
3.1 Descripción general 46
3.2 Descripción de los equipos 48
3.2.1 Producción de hidrógeno 48
3.2.1.1 Electrolizador 48
3.2.2 Depósito pulmón 50
3.2.3 Compresor 50
3.2.3.1 Compresores de émbolo oscilante 51
3.2.3.2 Compresores de émbolo rotativo 52
3.2.3.3 Turbocompresores 54
3.2.4 Válvula de regulación 55
3.2.4.1 Válvula reductora de presión 55
3.2.5 Módulo de purificación de argón (APM, Argon Purification Module) 56
3.2.5.1 Descripción del proceso 57

4. Dimensionamiento, elección y coste de los equipos 59

4.1 Botellas de llenado 59

4.2 Producción total de hidrógeno 60

4.3 Depósito pulmón 60

4.4 Electrolizador 62

4.5 Compresor 67

4.6 Regulador de presión 69

4.7 Sistema de tuberías 71

4.7.1 Zona de tuberías a baja presión 73

4.7.2 Zona de tuberías a alta presión 74

4.7.3 Recopilación de datos de tuberías 75

4.8 Costes 76

5. Análisis de viabilidad económica 78

5.1 Flujo de caja o Cash Flow 78

5.1.1 Cálculo del cash flow 78

5.1.1.1 Cálculo ingresos de explotación 80

5.1.1.2 Cálculo de costes de explotación 81

5.2 Criterios de evaluación 84

5.2.1 Criterios de decisión utilizados 85

5.3 Conclusión 86

6. Referencias 87

1. Objetivo y justificación del proyecto

El presente proyecto tiene por objeto, en colaboración con una empresa gasista española, la realización de un dimensionamiento y análisis económico de un sistema de producción de hidrógeno para su almacenaje a alta presión, distribución y venta del mismo así como para purificar argón.

En cuanto a la justificación del proyecto, se va a llevar a cabo el dimensionamiento de un sistema de producción de hidrógeno para una empresa gasista española dedicada a la producción, distribución y venta de gases comprimidos o licuados, básicamente oxígeno y nitrógeno, que se producen mediante destilación de aire. Actualmente esta empresa no está aprovechando la corriente enriquecida en argón que se obtiene en el proceso, y que es devuelta a la atmósfera. Con el fin de purificar el argón para que sea comercializable se usaría hidrógeno, que debe ser producido en la misma planta. Esto plantea la posibilidad de producir un exceso de hidrógeno, que les proporcionaría un nuevo servicio que ofertar, ampliando de esta manera su mercado. Se conoce, que actualmente el parque de botellas que la empresa tiene es de 7000 botellas de tamaño B50, botellas utilizadas para la distribución de gases.

El dimensionamiento de un sistema de producción de hidrógeno se basa en la elección de la tecnología que se va a utilizar para su producción y los equipos que serán necesarios para ello. Tras conocer el proceso concreto, con el fin de conocer los precios y características exactas de estos equipos, y así, poder realizar un análisis económico aproximado del proyecto, se ha contactado con diversas empresas con el fin de recibir ofertas de equipos y precios.

Los objetivos, por tanto, del presente proyecto son:

- Realizar el dimensionamiento de un sistema de producción de hidrógeno para almacenamiento a alta presión.

- Realizar el análisis económico de la nueva instalación, con el fin de estudiar la viabilidad del proyecto.

Con el fin de cumplir estos objetivos se ha realizado la presente Memoria, que consta de los siguientes capítulos: En primer lugar un capítulo de Antecedentes, donde se comenta brevemente los usos del hidrógeno, sus posibles aplicaciones como vector energético, así como el funcionamiento de las plantas de destilación de aire y los usos del argón. En el capítulo de Descripción del proceso de producción de hidrógeno, se realiza una descripción del proceso general y posteriormente una individual de los equipos que se van a utilizar mientras que el en el siguiente capítulo, Dimensionamiento, elección y coste de los equipos, se realizan los cálculos necesarios para conocer la capacidad de cada uno de ellos y también se justifica la elección de una determinada oferta. En el quinto capítulo se realiza el análisis de viabilidad económica de los equipos y en el último se citan las referencias utilizadas en el texto.

2. Antecedentes

2.1 El Hidrógeno

2.1.1. Introducción

2.1.1.1 Problema energético

El mundo actual en el que vivimos presenta un problema energético debido en su mayor parte al consumo desmesurado de energía, una dependencia casi total de combustibles fósiles, aproximadamente un 80% del total de las fuentes de energía, y la contaminación medioambiental que produce el uso de hidrocarburos como materia prima para la obtención de energía.

El petróleo constituye una fuente de energía muy eficiente, cuya facilidad para la extracción, transporte y utilización del mismo hacen de él un recurso único para la humanidad. La gran disponibilidad que ha presentado esta materia ha sido relevante para los cambios experimentados por la humanidad hasta llegar al estado de dependencia del petróleo en la que se encuentra el mundo actual.

Con el inicio de la Revolución Industrial (mitad del S.XVIII y principios del SXIX) se comenzaron a explotar los compuestos almacenados en el subsuelo, con el fin de la obtención de la energía que al quemarlos y transformarlos se obtenía de ellos. Como consecuencia de ello se comenzaron a emitir gases de efecto invernadero a la atmósfera a una velocidad muy superior a la de la propia naturaleza, empezando a producir el denominado cambio climático.

La explotación de estos recursos naturales provocó el incremento de la producción y del comercio a nivel mundial, pero como consecuencia, fue llevando a una dependencia cada vez mayor de la energía, cada vez la cantidad necesaria de esta era mayor y por lo tanto cada vez la explotación de los recursos naturales es más intensa.

La teoría del pico de Hubbert, [1], también conocida como cenit del petróleo, es una influyente teoría acerca de la tasa de agotamiento a largo plazo del petróleo, así como de otros combustibles fósiles. Este cenit del petróleo es el término que se aplica a la parte superior de la campana de Hubbert (Figura 2.1), donde se alcanza la máxima producción al mismo tiempo que se ha extraído la mitad del petróleo existente inicialmente.

Hubbert es el geofísico que creó el modelo matemático que predice el nivel de extracción del petróleo a lo largo del tiempo. Según su teoría, la extracción de un pozo cualquiera sigue una curva con un máximo, cenit de producción, en su centro. Llegados a ese punto cada barril de petróleo se hace, progresivamente, más caro de extraer hasta que la producción deja de ser rentable al necesitarse gastar más cantidad de crudo, que el que se obtiene de extraerlo, es decir cuando se necesita consumir el equivalente a un barril de petróleo, o más para obtener ese mismo barril de crudo del subsuelo. Observó también que, si la curva de producción de un pozo seguía esa simple función gaussiana, la curva de producción de países enteros y, por extensión, la curva mundial seguirían patrones similares.

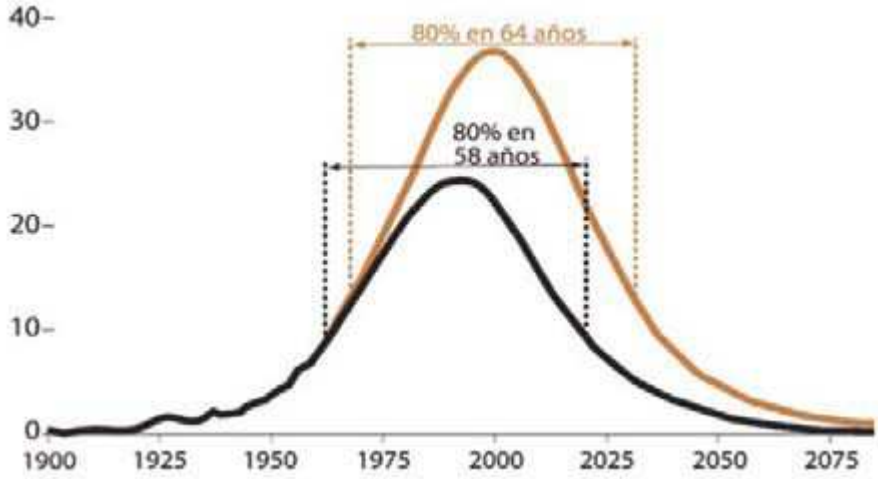


Figura 2.1 Proyección de la producción mundial de petróleo publicada por Hubbert en 1971 en "Scientific American"

Para la producción mundial Hubbert estimó que el cenit tendría lugar a finales del siglo XX o a principios del siglo XXI, y también demostró que si las reservas mundiales superaban en 1,5 veces a las que él consideraba, el cenit mundial solo se retrasaría ocho años.

De esta manera, aunque se estima que al ritmo del consumo actual queda petróleo para más de 40 años, es aquí donde nace la necesidad de búsqueda de nuevas materias primas para la producción de energía e intentar disminuir la dependencia del llamado "oro negro".

2.1.1.2 Soluciones al problema energético actual

A la hora de intentar dar solución al problema energético actual, la primera, y más sencilla idea que viene a la mente es intentar reducir el consumo de energía, de manera que cada vez nos acerquemos más a la realidad geológica marcada por la curva de Hubbert. Pero con el modelo energético actual, el ahorro de energía no va ligado precisamente al desarrollo industrial, incluso en epocás de crisis económicas como la actual, donde la expansión industrial sufre una gran recesión, el consumo energético no desciende sino que se mantiene. Otra de las soluciones al problema energético es aumentar la eficiencia de las tecnologías lo que requiere una inversión en el campo de I+D, y por desgracia, en tiempos de crisis, estas inversiones se ven mermadas por la falta de capital.

El problema planteado sugiere la busqueda y desarrollo de una alternativa energética, donde el ahorro energético no sea necesario y la solución se enfoque desde el punto de sustuir el petróleo como materia prima principal por otras alternativas energéticas.
Dichas alternativas energéticas bien pudieran ser el carbón o el gas natural, otro tipo de hidrocarburos, pero en ellos reside el mismo problema que para el petróleo, su abundancia limitada y la contaminación de los gases producidos en su transformación.

Otra de las alternativas energéticas es la energía nuclear. Esta energía suscita debate social debido a sus grandes ventajas, sobre todo económicas, y a la vez a los inconvenientes que presenta. Se distinguen dos tipos de energía nuclear, la de **fisión** y la de **fusión**.

- **Fisión nuclear**: división del núcleo de un átomo. El núcleo se convierte en diversos fragmentos con una masa casi igual a la mitad de la masa original más dos o tres neutrones (Figura 2.2).

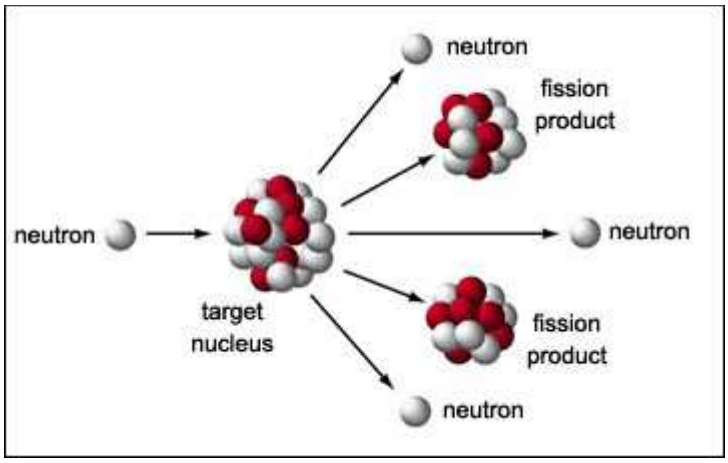


Figura 2.2 Representación de fisión

La suma de las masas de estos fragmentos es menor que la masa original. Esta "falta" de masas (alrededor del 0,1 por ciento de la masa original) se convierte en energía según la ecuación de Einstein ($E=mc^2$). La fisión nuclear puede ocurrir cuando un núcleo de un átomo pesado captura un neutrón, o puede ocurrir espontáneamente.

- **Fusión nuclear**: reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros**,** en general el hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado, liberando una gran cantidad de energía. Esta reacción es la misma que tiene lugar en el sol, donde se produce la fusión de núcleos de hidrógeno, generándose helio y liberándose una gran cantidad de energía que llega a la Tierra en forma de radiación. En la práctica, la obtención de energía por este método es inviable debido a las condiciones extremas de temperatura a la que se necesita calentar el gas.

La principal desventaja que presenta la energía nuclear son los residuos radioactivos que genera y su almacenamiento [2]. El combustible gastado o irradiado, como resultado de la desintegración de los nucleidos presentes en él, produce calor y radiaciones de las cuales se debe proteger a los seres vivos. Las radiaciones gamma (las más dañinas) duran un periodo aproximado de 30 años necesarios de blindaje de los residuos, y tras este tiempo persisten las radiaciones alfa (sin necesidad de blindaje) que deben ser aisladas y perduran durante miles de años. Debido a esto, se produce un problema complejo de tratamiento de residuos radioactivos, no tanto por como se deben admisnitrar estos residuos sino por el problema del espacio necesario para su almacenamiento a largo plazo .

Como solución a los problemas que presentan los distintos tipos de obtención de energías, una de las opciones que más se está investigando y desarrollando actualmente son las **energías renovables**. Se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por el poder energético que contienen y otras porque su capacidad de regeneración es por medios naturales. Las fuentes renovables se clasifican en dos grupos, no contaminantes o limpias y contaminantes.

Entre las principales fuentes **no contaminantes** o limpias destacan:

- El viento: energía eólica.
- El calor de la Tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- El Sol: energía solar.
- Las olas: energía undimotriz.

Las **contaminantes** se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, y se pueden utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogás mediante procesos de fermentación orgánica o en biodiésel, mediante reacciones de transesterificación y de los residuos urbanos. Este tipo de energías renovables tiene el mismo problema que la energía producida por combustibles fósiles; en la combustión emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, y a menudo son aún más contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas sólidas. Se encuadran dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse los vegetales que las producen, no se agotarán. Es lo que se conoce como el "ciclo del CO_2", que consiste en:

- La biomasa es creada mientras las plantas absorben CO_2 durante su fase de crecimiento. El hombre cultiva y usa la biomasa (por ej.) en forma de madera para fabricar muebles, construir viviendas, etc. Eventualmente, la biomasa termina en basurales donde se descompone y libera su CO_2. Las centrales de biomasa son una variación humana de este ciclo. En vez de dejar que se descomponga, la biomasa es quemada para generar energía para uso doméstico e industrial. La ventaja es que esta combustión libera el mismo volumen de CO_2 que la descomposición natural, sin alterar el equilibrio ambiental

Por estos motivos las energías renovables son una fuerte alternativa a la dependencia del petróleo, dado que para la producción de energía de una determinada área se aprovecha el recurso natural del que disponga, sin la necesidad del transporte masivo de combutibles fósiles desde el lugar de extracción hasta las platas que los tratan (petroleros, oleoductos,etc).

A continuación en la figura 2.3 se expone la distribución de la producción de la energía peninsular y la demanda en 2010 y en la figura 2.4 se muestra la estructura de generación de la energía a tiempo real el día 30 de octubre de 2011 a las 11:17 [3].

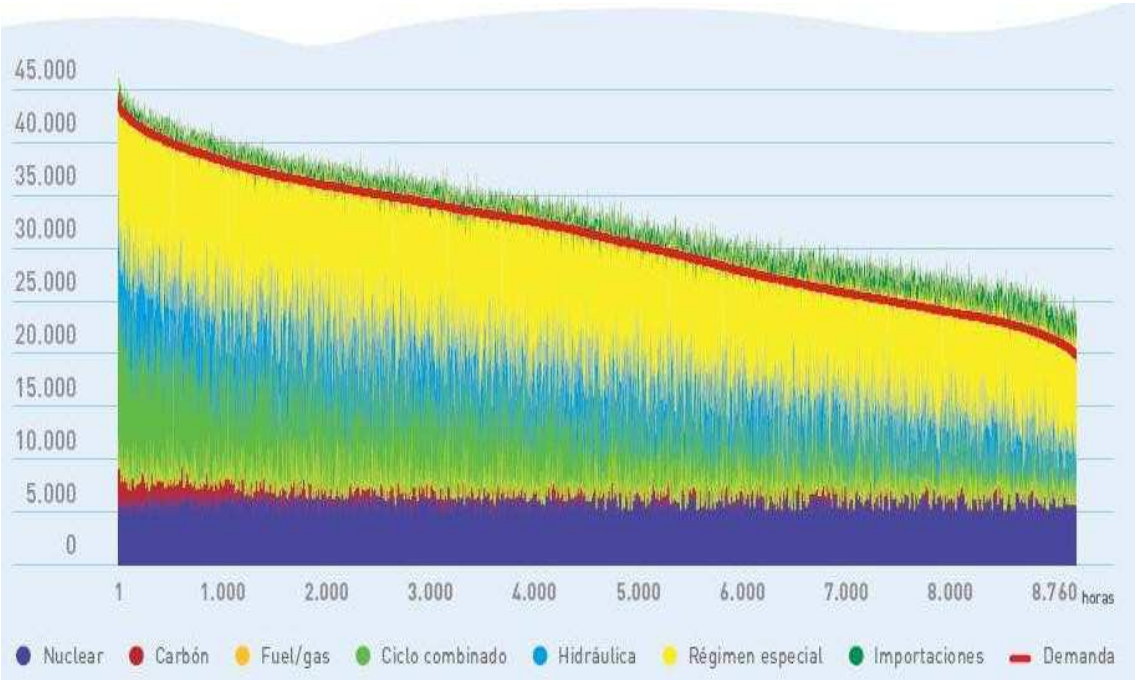


Figura 2.3. Distribución de la producción de la energía

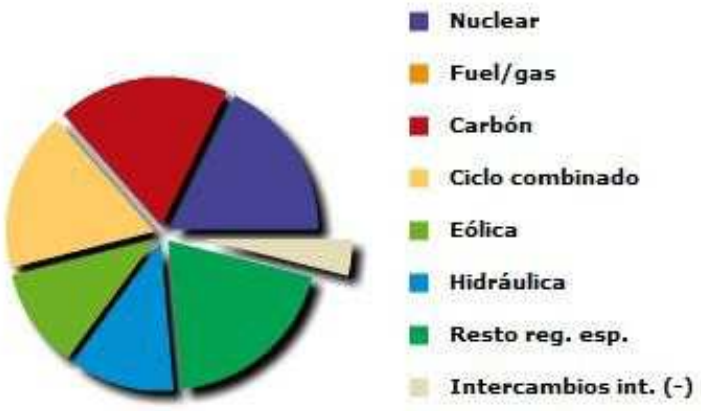


Figura 2.4. Diagrama de la estructura de generación de energía

2.1.1.3 Hidrógeno como vector energético

Las energías renovables son una más que posible solución a la producción de la energía, pero también debe surgir un nuevo vector energético que sustitya a los hidrocaburos y derivados.Es aquí donde surge el hidrógeno como vector energético.

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo. Puede producirse a partir de la electrólisis del agua con energía eléctrica, o de biomasa por descomposición térmica o biológica, o bien de los propios combustibles fósiles como el gas, el carbón o el petróleo.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE)[4], creada en 1974 tras la crisis del petróleo, con el fin de conjugar el desarrollo económico, la seguridad del abastecimiento energético, la protección del medio ambiente y la calidad de vida, desarrolla desde hace más de 20 años el Programa del Hidrógeno (International Energy Agency Hydrogen Program). Entre los múltiples países que participan en este programa se encuentra España.

El objetivo del programa es acelerar el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno y su utilización generalizada, coordinando actividades innovadoras de investigación, desarrollo y demostración a través de la cooperación y el intercambio de información a escala internacional

El Programa del Hidrógeno de la AIE se sustenta en un conjunto de principios básicos:

- El hidrógeno debe considerarse como un portador de energía en sí mismo, que además puede utilizarse como combustible para una amplia variedad de usos finales. Para facilitar que el hidrógeno desempeñe un importante papel en el futuro, es necesario llevar a cabo múltiples análisis y estudios, fomentando el I+D+i y la difusión de los resultados.

- El uso generalizado del hidrógeno contribuye a la reducción de los impactos medioambientales derivados de la actividad energética, entre los que se incluye el calentamiento global y las emisiones de monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y otros contaminantes.

- El hidrógeno se puede obtener a partir de los combustibles fósiles sólidos o líquidos de calidad más baja, tales como el carbón y los aceites pesados. Con ello se reducen las emisiones contaminantes, consiguiendo un proceso de conversión al uso final más eficiente. Por otra parte, con la adición de hidrógeno, el dióxido de carbono se puede utilizar para generar productos químicos y combustibles como el metanol.

- Las tecnologías del hidrógeno constituyen una importante alternativa a los combustibles fósiles, mayoritariamente importados, ya que todos los países disponen de alguna fuente de energía primaria a partir de la cual producirlo de forma sostenible. El uso de estas tecnologías puede contribuir a mejorar la seguridad de abastecimiento y a la diversificación energética. Además, los sistemas de energía basados en el hidrógeno tienen un alto valor potencial para localizaciones donde no existe una infraestructura convencional de suministro energético.

El plan estratégico del Programa del Hidrógeno de la AIE es facilitar, coordinar y mantener actividades innovadoras de I+D+I a través de la cooperación internacional y el intercambio de información. Las líneas de actuación se centran en siete áreas cuyos objetivos son los siguientes:

- Área Tecnología: promover la aceptación del hidrógeno como vector energético.
- Área de Seguridad Energética: contribuir a la seguridad energética global.
- Área de Medioambiente: explotar los beneficios medioambientales del hidrógeno.
- Área de Economía: desarrollar sistemas de energía viables basados en hidrógeno, que puedan competir en los mercados globales.
- Área de Mercado: identificar y superar las barreras para la penetración del hidrógeno en los mercados de la energía y los combustibles.
- Áreas de Difusión y Globalización: promover la difusión de las tecnologías del hidrógeno, remarcando las importantes ventajas energéticas a escala local y global.

Por su parte, la Unión Europea, para cumplir las ambiciosas metas del Protocolo de Kioto, va a recurrir cada vez más a fuentes de energía renovables y a combustibles de sustitución tales como el hidrógeno. Hoy en día, el hidrógeno y las pilas de combustible resultan demasiado costosos. Por esta razón, es indispensable que la Unión aplique una estrategia coherente para el desarrollo de las tecnologías del hidrógeno si pretende facilitar la transición y ayudar al sector a conseguir una mayor competitividad, para que resulte competitivo y para que las pilas de combustible lleguen a ser un producto comercialmente viable. En la figura 2.1.5 se observa la evolución de las inversiones en proyectos de I+D sobre hidrógeno y pilas de combustible.

Desde la Comisión Europea se considera que las tecnologías del hidrógeno no sólo van a reducir las emisiones y la dependencia energética sino que, a largo plazo, además, van a favorecer la consecución de un desarrollo sostenible, permitiendo cambiar profundamente el modelo socioeconómico y creando nuevas oportunidades para los países en desarrollo.

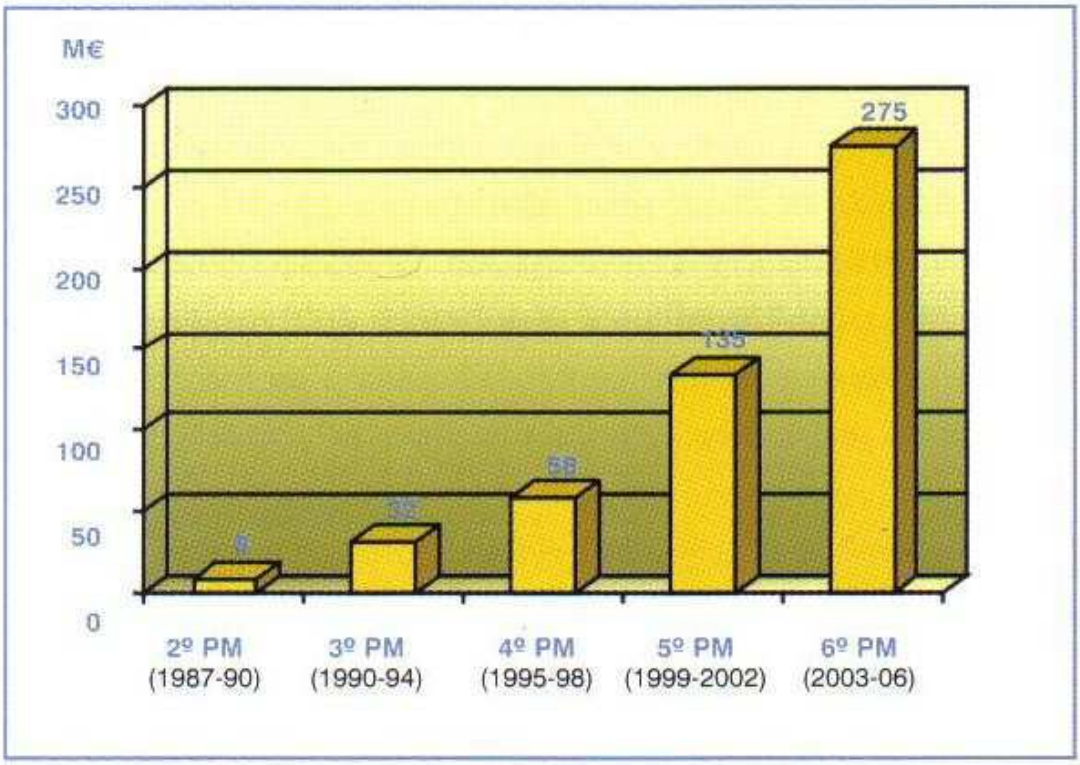


Figura 2.1.5. Evolución de las inversiones de I+D

No obstante, a pesar de los esfuerzos realizados desde la Unión Europea, actualmente Estados Unidos y Japón son los líderes mundiales en la investigación sobre pilas de combustible. En Estados Unidos, esta actividad responde, en gran medida, al desarrollo de aplicaciones militares y aeroespaciales.

2.1.2 La energía del hidrógeno: producción, almacenamiento y distribución

El hidrógeno no se encuentra en forma libre en nuestro planeta, por lo general, se encuentra combinado con otros elementos, como puede ser el oxígeno formando agua, o unido a átomos de carbono formando hidrocarburos. Por tanto, el hidrógeno al no encontrarse libre, se produce industrialmente; producción que se ha considerado como tecnología de uso común en el último siglo.

2.1.2.1 Características y propiedades físico-químicas

El hidrógeno es un elemento químico, representado con el símbolo H. Es el elemento más ligero de la naturaleza y también el más abundante del universo, totalizando más del 70%. Se halla en las estrellas (compuestas por hidrogeno en estado de plasma), en el polvo interestelar y en las enormes nubes de gas suspendidas en el espacio, aunque en su mayoría se encuentra formando diversos compuestos químicos.

Es un gas incoloro, inodoro, insípido y no tóxico. Es altamente inflamable y muy volátil. Se quema en el aire formando una llama azul, por esta razón su manipulación requiere extrema precaución para evitar accidentes.

El hidrógeno es un elemento esencial en la industria actual y su producción mundial se estima en 0,55 Billones de metros cúbicos normales (Nm^3) anuales [4]. De dicha producción anual, en la fabricación de productos químicos se consumen dos terceras partes, y el resto en diversos procesos industriales. En la industria, su principal uso está destinado a la síntesis de amoniaco (NH_3) para fertilizantes, aunque tiene otros usos como para el hidrotratamiento de naftas, agente reductor en industria metalurgia y petroquímica, refrigerante en generadores eléctricos, como combustible para los sopletes oxhídricos, etc.

El hidrógeno presenta muy baja solubilidad en líquidos, pero una alta solubilidad en metales, especialmente en paladio. En su forma atómica puede solubilizarse en metales dando lugar a compuestos de tipo aleaciones (relación estequiométrica) y tipo hidruros (relación no estequiométrica).

Debido a su baja viscosidad y bajo peso molecular es propenso a fugas. Es un combustible con un alto contenido energético. En la tabla 2.1 [4] se compra el poder energético del hidrógeno con el de otros combustibles.

Tabla 2.1 Poder energético de varios combustibles

Combustible	kJ/kg
Hidrógeno	$119,8 \times 10^3$
Gas natural	$49,9 \times 10^3$
Gasolina	$45,06 \times 10^3$
Butano	$45,69 \times 10^3$
Propano	$42,13 \times 10^3$

El hidrógeno presenta ventajas e inconvenientes, que van ligadas a sus propiedades físico-químicas. Las principales ventajas son:

- La molécula de hidrógeno es la más ligera, la más pequeña y se encuentra entre las más simples.
- Alto contenido de energía por unidad de peso.
- Capacidad de combustión a altas temperaturas y presiones.
- Al combinarse con oxígeno puede producir electricidad a altos niveles de eficiencia.

Como desventajas más relevantes se pueden citar las siguientes:

- Temperatura de licuefacción extremadamente baja (20K)
- Energía por unidad de volumen muy baja
- La obtención del hidrógeno líquido requiere un gran aporte energético
- Gran tamaño de los contenedores de su almacenaje
- Fugas difíciles de detectar

En la tabla 2.2 [4] se presentan las principales propiedades físico-químicas del hidrógeno.

Tabla 2.2. Propiedades físico-químicas del hidrógeno

Símbolo químico	H
Peso molecular	2,016
Calor específico (Cv)	10,28 kJ/kg
Calor específico (Cp)	14,38 kJ/kg
Densidad Gas (20ºC, 1atm)	0,08342 kg/m^3
Densidad Líquido (p.e. 1 atm)	70,96 kg/m^3
Peso específico	0,0696
Temperatura de autoignición	580ºC
Temperatura de ebullición	- 252,8ºC
Temperatura crítica	-239,9ºC
Presión Crítica	12,98 atm
Limites de inflamabilidad en aire	4 – 75% Vol.

En los próximos años el hidrógeno se convertirá en “vector” energético, como la energía, pudiéndose obtener de diversas fuentes de energía tales como el gas natural, el carbón, la biomasa…etc. Si el hidrógeno se obtiene de fuentes de energía renovable en vez de fuentes no renovables y combustibles fósiles, presenta la ventaja de constituir un proceso energético cíclico y sostenible (Figura 2.6).

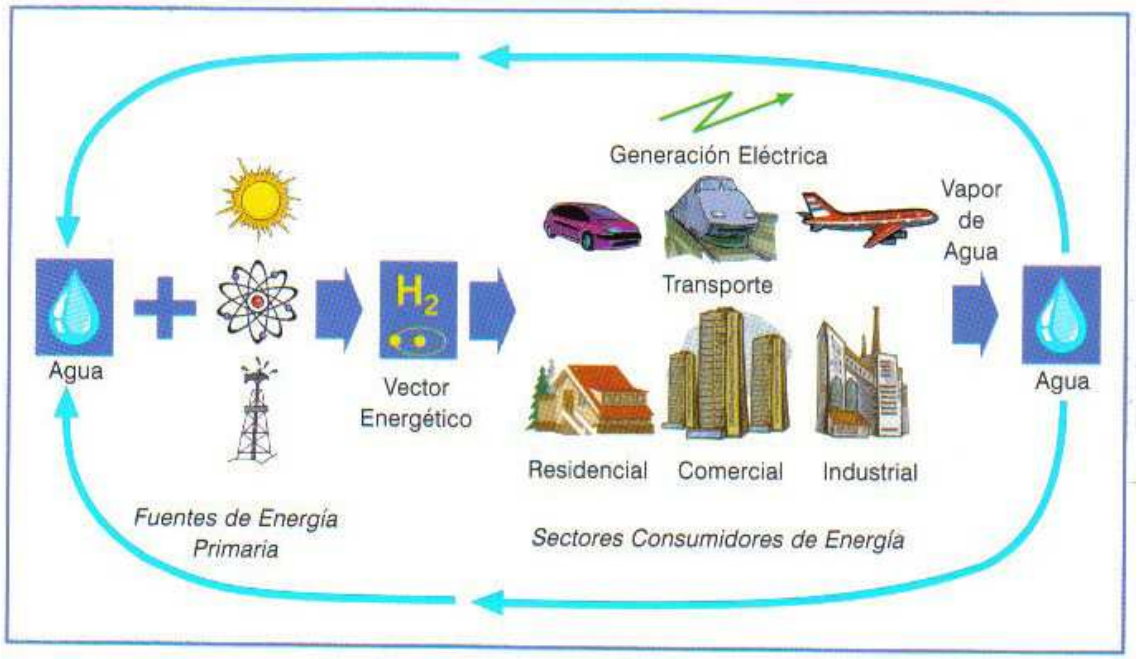


Figura 2.6. Ciclo del hidrógeno

Este ciclo se basa en la separación del oxígeno y del hidrógeno del agua mediante un aporte energético. El hidrógeno se transporta, almacena, distribuye y consume. Tras su consumo éste en transformado de nuevo en vapor de agua por combinación con oxígeno, el cual es reciclado de nuevo a la tierra en forma de lluvia.

2.1.2.2 Producción de hidrógeno

Debido a que el hidrógeno no se encuentra aislado en la naturaleza, para su obtención es necesaria la realización de ciertos procesos de transformación sobre otras materias primas. El hidrógeno elemental es generado de forma natural en condiciones anaerobias por medio de bacterias o algas, pero la producción biológica es muy baja. El hidrógeno que se utiliza en procesos técnicos es producido habitualmente a partir del reformado de combustibles fósiles o de la disociación electrolítica del agua. Actualmente, los combustibles fósiles como el gas natural o el crudo pesado son las principales fuentes para la producción de hidrógeno. La electrólisis, la gasificación de biomasa o disociación térmica del agua son opciones para conseguir hidrógeno renovable.

- ***Producción de hidrógeno a partir de gas natural y otros hidrocarburos***

La producción de hidrógeno a partir del gas natural se lleva a cabo mediante el proceso de reformado. Se produce una reacción de metano y agua a temperaturas elevadas y en presencia de un catalizador para favorecer la reacción, dicha reacción es endotérmica.

Cuando se utiliza el crudo pesado, se produce a través de la oxidación parcial catalítica, donde los hidrocarburos se queman con oxígeno para producir un gas que contiene CO, CO_2 e hidrógeno.

- ***Producción de hidrógeno a partir de carbón***

La gasificación del carbón supone una alternativa al gas natural y a los hidrocarburos en la producción de hidrógeno. A pesar de ser menos rentable, presenta la ventaja de que, el carbón, como materia prima, presenta reservas mundiales de magnitudes mayores y además, una distribución más uniforme en el mundo en comparación con el gas y el petróleo que se encuentran muy localizados en ciertas zonas.

- ***Producción de hidrógeno por disociación del agua***

Se puede producir hidrógeno a partir de la disociación electrolítica del agua. Debido al coste de la electricidad, normalmente elevado, la electrólisis se utiliza sobre todo en producción de hidrógeno comparativamente pequeñas.

2.1.2.2.1 Producción por fuentes no renovables

Hoy en día, supone la principal forma de producción de hidrógeno en todo el mundo. Las principales fuentes para la producción de hidrógeno son; en primer lugar el gas natural, seguido el petróleo y en menor medida la gasificación de carbón [5].

- ***Reformado de gas natural e hidrocarburos***

El hidrógeno puede producirse por reformado de metano, nafta, residuos de petróleo y carbón, la mayor relación H/C en el metano con respecto a otros combustibles, hacen del gas natural la materia prima idónea para la fabricación de hidrógeno.

El proceso más extendido para la producción de hidrógeno es el reformado con vapor de agua, conforme a la reacción:

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3\ H_2 \quad (\Delta H = -\ 206\ kJ/mol)$$

La reacción esta favorecida a bajas presiones. El gas natural reacciona con el vapor de agua en presencia de un catalizador de níquel (Ni) en un reformador primario a una temperatura aproximada de 1200K y una presión de 20 – 30 bares. [5]

La estequiometria del proceso requiere 1 mol de agua por cada mol de metano, pero en la práctica, se incorpora un exceso de agua (aproximadamente un 2,5 – 5,0) para reducir la formación de carbón. La conversión de CH4 a la salida del reformador está en torno a un 90 – 92% y la composición de la mezcla se acerca a la que predice el equilibrio termodinámico.

A la salida del reformador primario se coloca un segundo reformador autotérmico en la que el 8 – 10% del CH4 no convertido reacciona con oxígeno en la parte superior del tubo. La composición del gas se equilibra con un catalizador de níquel colocado en la zona de combustión.

El CO presente en la corriente de salida se convierte en H2 adicional haciendo que reaccione con el exceso de agua que favorece una nueva reacción, para lo que se necesitan nuevas etapas de reformado. La reacción es:

$$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2 \ (\Delta H = -41 \text{ kJ/mol})$$

En la figura 2.7 se puede apreciar un esquema del proceso completo mientras que la figura 2.8 es un esquema más detallado de los dos reformadores.

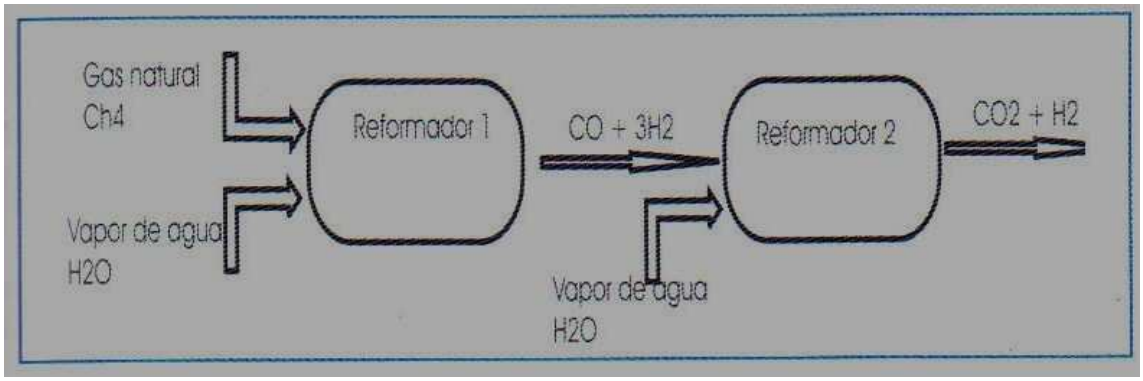


Figura 2.7. Esquema reformado gas natural

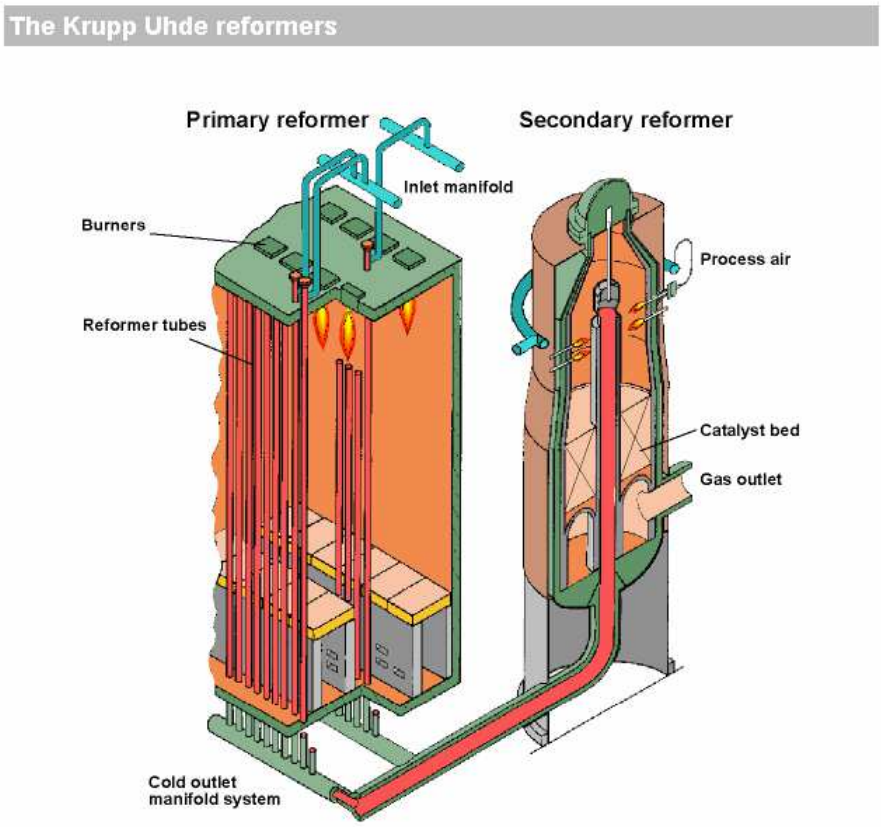


Figura 2.8. Representación de reformado primario y secundario

El gas proveniente del segundo reformado, se debe tratar para reducir la cantidad de CO_2, con el fin de reducir al máximo las emisiones de este a la atmósfera. Uno de los métodos utilizados para este fin consiste en una reacción del gas con una disolución de carbonato potásico en agua. La reacción que tiene lugar es:

$$K_2CO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow 2\ KHCO_3$$

El esquema simplificado del proceso completo se corresponde a la figura 2.1.9.

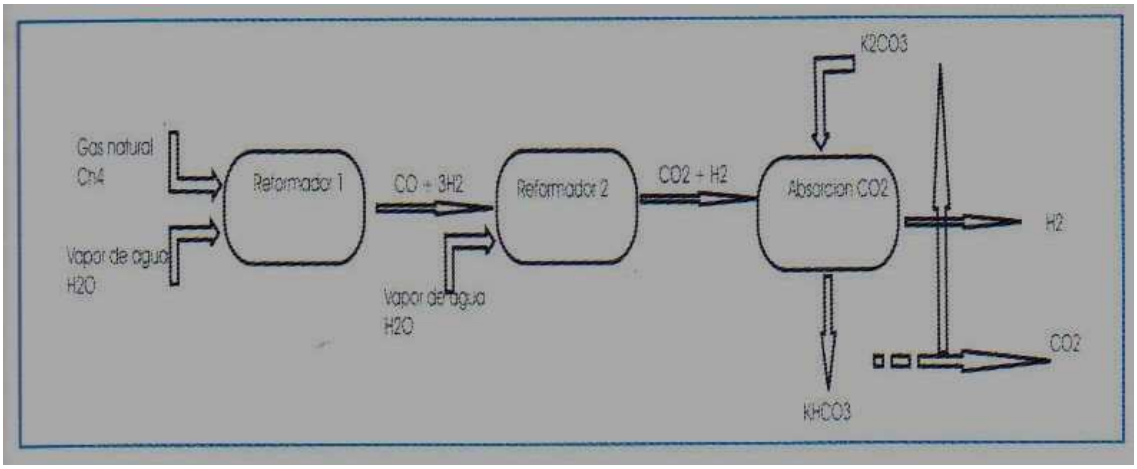


Figura 2.9.Esquema producción hidrógeno mediante reformado

- ***Gasificación de carbón***

Una alternativa a la combustión del carbón es la gasificación del mismo. El carbón, al entrar en contacto con vapor y oxígeno, se produce una reacción dando lugar a un gas formado principalmente por monóxido de carbono e hidrógeno. Posteriormente, el monóxido de carbono formado, reacciona con el agua en exceso, separando más hidrógeno y teniendo como residuo dióxido de carbono. Para su eliminación, puede ser capturado por el mismo método que el visto en el reformado, mediante carbonato potásico.

$$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$$

$$CO + H_20 \rightarrow CO_2 + H_2$$

Para la gasificación del carbón se conocen diversas tecnologías en función del reactor utilizado:

- Lecho móvil (Proceso Lurgi 1930)
- Lecho de flujo de arrastre (Proceso Texaco 1940 y Koper Totzek 1950)
- Lecho fluidizado (Proceso Winkler 1920)

En los procesos de gasificación de lecho de flujo de arrastre existen dos variantes, procesando combustibles sólidos o líquidos. Cuando son combustibles sólidos, estos deben ser pulverizados finamente antes de entrar al gasificador, mientras que si el combustible es líquido, tiene que ser atomizado. Los procesos de lecho móvil y fluidizado solamente pueden procesar combustibles sólidos, incluyendo la biomasa.

En el proceso mediante lecho de flujo de arrastre, la mezcla de carbón y coque de petróleo, se hacen reaccionar con oxígeno a altas temperaturas, obteniendo un gas de síntesis compuesto básicamente por CO e H_2.

2.1.2.2.2 Obtención de hidrógeno a partir de fuentes renovables

El objetivo final de la economía del hidrógeno es cerrar el ciclo pudiéndolo generar mediante fuentes de energía renovables. Las principales fuentes de energía renovables para la obtención del hidrógeno son:

- **Energía eólica e hidráulica**: Ambas se basan en la transformación de la energía cinética de un fluido (aire o agua) en energía eléctrica mediante turbinas. Este tipo de generadores con una técnica adecuada de acumulación, como el hidrógeno, pueden convertirse en un sistema autónomo explotable en cualquier época del año, ya que, sobre todo el viento, constituye un recurso aleatorio.

- **Energía fotovoltaica:** Los paneles solares fotovoltaicos transforman la energía luminosa de la radiación solar (fotones) en energía eléctrica continua. Dado que la intensidad lumínica del sol no es constante, es obligatorio un sistema de almacenamiento energético. En este caso, acoplando electrolizadores a los paneles el hidrógeno actúa como "vector" energético.

- **Energía de la biomasa:** Derivados de la materia orgánica pueden constituir una fuente para la producción de hidrógeno a través de técnicas como pirólisis o la gasificación.

- **Fuentes de energía biológicas:** Microorganismos presentes en el agua, al absorber la luz, la descomponen liberando hidrógeno en el proceso.

- **Excedentes de energía eléctrica:** Las líneas eléctricas en horas de baja demanda de consumo, tienen excedentes de energía eléctrica que no es utilizada. Mediante la utilización de esta energía en producción de hidrógeno, éste podría utilizarse para la generación de electricidad en momento de alta demanda.

En la siguiente figura 2.10 se observa un ejemplo de un esquema de producción de hidrógeno a partir energías renovables [4].

Figura 2. 10. Esquema producción hidrógeno mediante renovables

- ***Electrólisis***

La electrólisis consiste en la ruptura de una molécula de agua por acción de una corriente eléctrica.

$$H_20 \rightarrow H_2 + ½\ O_2$$

En un electrolizador [6], la corriente eléctrica pasa a través de un electrolito (p.ej. solución de hidróxido de potasio, ácido sulfúrico, electrolitos de polímeros, etc.). Como la electricidad se conduce por acción de los iones en la electrólisis, éstos deben generarse en los electrodos que forman la interfaz entre el circuito eléctrico y el electrolito. En el electrodo negativo, el agua se descompone para formar el hidrógeno, mientras que en el electrodo positivo se forma el oxígeno. El esquema de la electrólisis se representa en la figura 2.11.

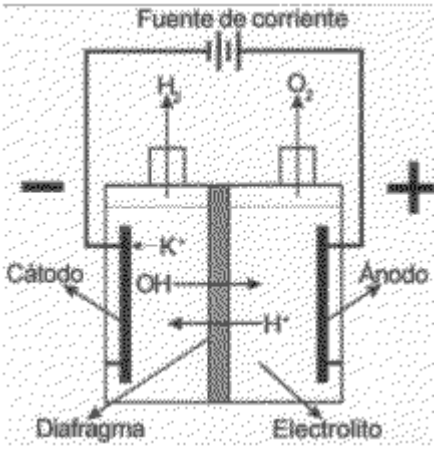


Figura 2.11. Esquema de la electrólisis

Para separar el agua es necesario un aporte energético. El voltaje necesario para la disociación del agua (1,48 V) viene determinado por su entalpia de formación (-285,83 kJ/mol).

Normalmente los electrolizadores funcionan a una tensión por elemento que oscila entre 1,8 y 2 V, con una eficiencia de voltaje resultante del 75 al 80%. Los equipos auxiliares como bombas, controles y dispositivos de seguridad sufren pérdidas adicionales. En los casos de electrolizadores de gran tamaño, las pérdidas causadas por equipos auxiliares tienen un impacto menos grave sobre la eficiencia energética total. Por lo general, la eficiencia total de los electrolizadores pequeños con un consumo eléctrico de unos cuantos kW se sitúa en el intervalo de 50% – 65% mientras que los grandes de MW presentan eficiencias totales en el intervalo de 60% – 75% .

A continuación la figura 2.12 resume las diferentes formas de producción de hidrógeno en función de la fuente de energía y de su posterior uso [4].

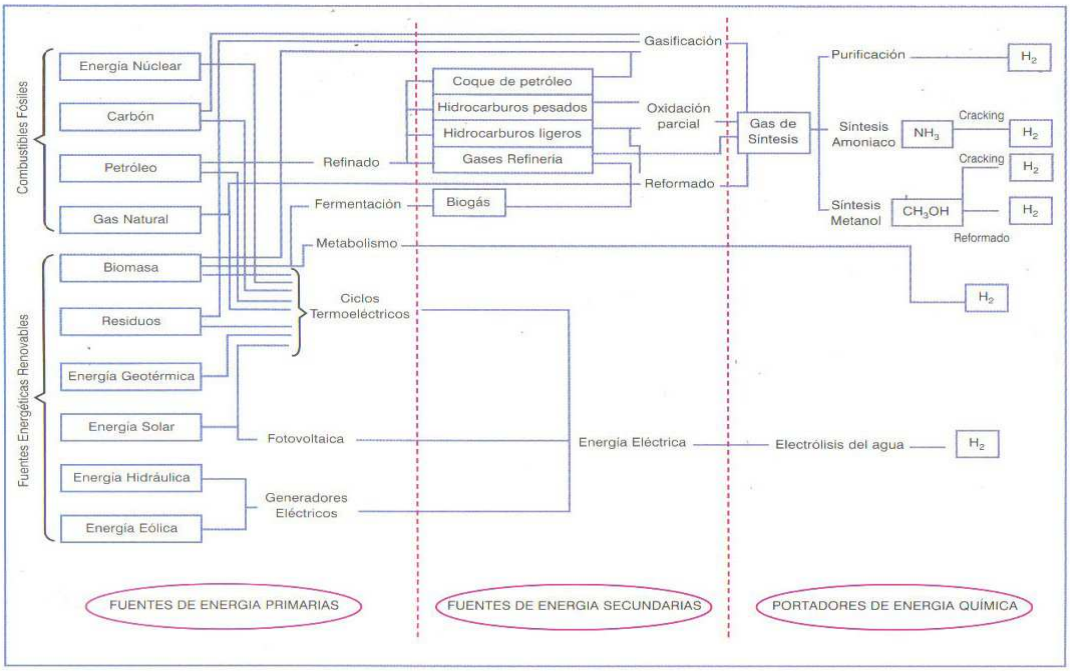


Figura 2.12. Sistemas de producción de hidrógeno en función de la fuente de energía

2.1.2.2.3. Desventajas de obtención de hidrógeno mediante fuentes de energía renovables

El principal problema de las fuentes de energías renovables para producción de hidrógeno es el bajo rendimiento global que presenta y sobre todo su mayor coste económico con la producción de éste a partir de combustibles fósiles. En la tabla 2.3 se observa una comparación del precio del GJ en función de la tecnología [4].

Tabla 2.3. Comparación de costes de producción de hidrógeno en función de la tecnología

Electricidad o hidrógeno a partir de carbón / gas / petróleo	3,5 – 5 $/GJ
Electricidad a partir de energía nuclear	10 – 12 $/GJ
Electricidad a partir de carbón /gas con secuestro de CO_2	15 – 18 $/GJ
Hidrógeno a partir de gas natural con secuestro de CO_2	8 – 10 $/GJ
Hidrógeno a partir de carbón con secuestro de CO_2	10 – 13 $/GJ
Hidrógeno a partir de biomasa	12 – 18 $/GJ
Hidrógeno a partir de parques eólicos "onshore"	15 – 25 $/GJ
Hidrógeno a partir de parques eólicos "offshore"	20 – 30 $/GJ
Hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica	25 – 30 $/GJ
Hidrógeno a partir de cogeneración (HTGR)	10 – 25 $/GJ
Hidrógeno a partir de energía nuclear	15 – 25 $/GJ

Tal y como se observa, con las tecnologías actuales, el coste para la producción de hidrógeno a partir de combustibles fósiles es menor que a partir de energías renovables, de manera que es necesario un desarrollo tecnológico para obtener una necesaria reducción de costes. A continuación, en la tabla 2.4 [4] se muestra los costes proyectados de suministro de hidrógeno para el año 2020. Aunque estos costes sigan siendo aún superiores a los de la gasolina, gasóleo y el gas natural, se han reducido en gran medida, y hay que tener en cuenta los problemas comentados anteriormente en el apartado "2.1.1.1. Problema energético" sobre las fuentes de energía de los combustibles fósiles.

Tabla 2.4. Proyección de costes de producción de hidrógeno para el año 2020

Gasolina / Gasóleo	6 – 8 $/GJ
Gas natural	3 – 5 $/GJ
Electricidad a partir de carbón con secuestro de CO_2	8 – 11 $/GJ
Hidrógeno a partir de gas natural con secuestro de CO_2	7 – 11 $/GJ
Hidrógeno a partir de energía solar termoeléctrica	27 – 35 $/GJ
Hidrógeno a partir de biomasa (gasificación)	10 – 18 $/GJ
Hidrógeno a partir de parques eólicos "onshore"	17 – 23 $/GJ
Hidrógeno a partir de parques eólicos "offshore"	22 – 30 $/GJ
Hidrógeno a partir de energía solar fotovoltaica	47 – 75 $/GJ
Hidrógeno a partir de cogeneración (HTGR)	10 – 25 $/GJ
Hidrógeno a partir de energía nuclear	15 – 20 $/GJ

2.1.3 Almacenamiento de hidrógeno

Debido a las excelentes propiedades del hidrógeno para su transporte y almacenamiento en comparación con la electricidad, y su capacidad de posterior conversión en otras formas secundarias de energía, el almacenamiento de hidrógeno es un punto que se convierte en esencial para el uso de este como "vector" energético. Los principales problemas de esta energía están basados en los inconvenientes que presenta el hidrógeno para almacenarlo como consecuencia de sus propiedades físico-químicas.

Actualmente, el almacenamiento de hidrógeno se efectúa en estado gaseoso (en general a altas presiones), en estado líquido (a muy bajas temperaturas, aproximadamente -253 ºC), o en estado sólido (en forma de hidruros metálicos). Según de qué aplicación se trate, cada una de las distintas formas de almacenamiento resulta más o menos conveniente.

2.1.3.1 Almacenamiento como gas

Una de las principales desventajas que presenta el almacenamiento de hidrógeno como gas se debe a su baja densidad (0,08342 kg/m^3, a 20ºC y 1 atm), que conlleva un almacenamiento a elevadas presiones (200-350 bares) y el requerimiento de grandes volúmenes. El almacenamiento en recipientes de alta y media presión se usa principalmente en pequeñas escalas de producción. Otros de los problemas que presenta la densidad del gas es que, en su almacenamiento, la cantidad de energía por unidad de volumen es menor que con otros gases comprimidos. Otro aspecto limitante que se debe tener en cuenta en el almacenamiento a presión es la seguridad.

2.1.3.2 Almacenamiento como líquido criogénico

El almacenamiento criogénico (aproximadamente -253ºC) se debe al bajo punto de ebullición que presenta el hidrógeno. Para mantener las bajas temperaturas y los recipientes bien aislados, se requieren recipientes criogénicos de doble pared. Las principales ventajas que presenta este método son la capacidad de almacenar energía con alta densidad y que el peso del contenedor sea más bajo para la misma cantidad de energía almacenada que con otros métodos.

El problema que supone este método debido a las bajas temperaturas requeridas son problemas de seguridad. También hay que tener en cuenta que la licuefacción del hidrógeno supone la necesidad de un gran aporte energético, disminuyendo el rendimiento energético global del proceso.

Este método tiene su principal uso en el transporte mediante vehículos del hidrógeno, dado que el peso es el factor más importante y de esta forma se consiguen transportar grandes volúmenes con pesos admisibles.

2.1.3.3 Almacenamiento en forma sólida como hidruros metálicos

Éste método de almacenamiento es exclusivo del hidrógeno debido a sus propiedades y no existe en el caso de otros combustibles líquidos o gaseoso. Esta forma de almacenamiento está basada en una reacción química reversible. El hidrógeno puede reaccionar con distintos metales o compuestos intermetálicos formando hidruros, y bajo condiciones adecuadas la reacción se produce de manera inversa desprendiéndose el hidrógeno y recuperándolo. Esta operación de "carga y descarga" del hidrógeno de sólidos metálicos puede realizarse prácticamente un número ilimitado de veces. De esta manera el sólido se puede considerar como un tanque de hidrógeno. Una de las ventajas que presenta este método de almacenamiento es que en estos compuestos la cantidad de hidrógeno por unidad de volumen que se puede almacenar es incluso mayor que el almacenamiento como líquido criogénico.

El principal uso de este almacenamiento es para pequeña y mediana escala. Otra de las ventajas que presenta es respecto a la seguridad, dado que se requieren bajas presiones. El mayor inconveniente que presenta este tipo de almacenamiento es el peso relativamente elevado relacionado con el material absorbente, de manera que casi todo el peso corresponde a dicho material, y aproximadamente un 7% al peso de hidrógeno, sufriendo así una restricción en su uso para aplicaciones móviles. Otro de los inconvenientes que presenta es el consumo energético que suponen los procesos de carga (adsorción) y descarga (desorción) de la masa metálica.

2.1.3.4 Comparación

En la tabla 2.5 [4] se presenta un análisis comparativo de la energía almacenada en función del peso y del volumen y del tipo de almacenamiento.

Tabla 2.5. Comparación del almacenamiento de energía

	Energía almacenada	
	Wh / kg	Wh / l
H_2 comprimido	20.000	1.000
H_2 líquido	33.000	2.500
Hidruros metálicos	370	3.300
Metanol	6.200	4.900
Gasolina	12.000	9.000

Como conclusión, no se puede decir si un método es mejor que otros, debido a que sus ventajas e inconvenientes están relacionadas con el uso o función de su almacenamiento, por lo que dependiendo de estos, y también del presupuesto del que se disponga, se recomienda un tipo u otro de almacenamiento.

2.1.4. Aplicaciones del hidrógeno

El hidrógeno es una molécula muy importante que se emplea convencionalmente en un gran número de aplicaciones y usos en sectores tan diversos como la industria química, refino, metalúrgica, vidrio o electrónica, entre otros.

2.1.4.1 Hidrógeno en la industria

El hidrógeno es un compuesto de gran interés para la industria química, participando en reacciones de adición en procesos de hidrogenación o como agente reductor en procesos de reducción. A continuación se citan algunos de los procesos más importantes en los que participa:

- *Síntesis de amoniaco*: El amoniaco se obtiene por reacción catalítica entre nitrógeno e hidrógeno.

$$N_2 + 3H_2 + Cat \rightarrow 2\ NH_3$$

- *Procesos de refinería*: Los procesos de hidrogenación en refinería tienen como objetivo principal la mejora de la calidad de las gasolinas mediante la obtención de fracciones más ligeras de crudo a partir de fracciones pesadas. De forma simultánea se produce la eliminación de elementos indeseados como azufre, nitrógeno, etc.

- *Aprovechamiento del gas de síntesis*: Este gas producido en la formación de hidrogeno a partir de hidrocarburos se emplea en la síntesis de metanol, síntesis de Fisher-Tropsch, hidroformilación de olefinas, síntesis de etileno, etc.

- *Síntesis orgánica*: En química orgánica el hidrógeno se utiliza en gran número de procesos de hidrogenación o reducción para la obtención de productos químicos intermedios.

- *Síntesis inorgánica*: El hidrógeno es imprescindible en procesos de importancia comercial como son la producción de ácido clorhídrico, peróxido de nitrógeno, etc.

2.1.4.2 Hidrógeno para combustión

El hidrógeno puede quemarse directamente para la generación de electricidad mediante turbinas de gas y ciclos combinados o directamente como combustible de motores. Las principales ventajas de este compuesto se centran en las elevadas eficacias que pueden alcanzarse y en que el único producto de su combustión es vapor de agua, estando exento de NOx, si se controla la temperatura para inhibir la reacción entre el nitrógeno y el oxígeno atmosféricos, y de CO_2, evitando la contribución al calentamiento global.

- **Combustión directa**

La combustión del hidrógeno con oxígeno puro conduce a la formación de vapor de agua puro:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$$

El principal inconveniente de esta reacción es la alta temperatura desarrollada en la zona de la llama, superior a 3.000ºC, lo que acarrea problemas con los materiales de los equipos y por la generación de NOx, como se comentó previamente. Para solventarlos puede recurrirse a la inyección de agua adicional, lo que permite ajustar la temperatura del vapor al valor deseado, pudiendo obtenerse vapor saturado o sobrecalentado.

Otra alternativa es recurrir al empleo de catalizadores basados en platino (combustión catalítica), consiguiendo que la reacción tenga lugar a menores temperaturas, desde ambiente hasta 500 ºC.

- **Combustible de motores**

Una de las aplicaciones tradicionales del hidrógeno ha sido como combustible de cohetes y transbordadores espaciales. Los programas espaciales son los mayores consumidores de hidrógeno líquido, habiendo adquirido gran experiencia en su manejo que puede ser la base de futuros desarrollos en otros campos.

Las investigaciones actuales se están centrando tanto en motores de combustión externa (motores Stirling) o interna para vehículos de transporte terrestre, aéreo y marítimo.

El uso de hidrógeno en motores de combustión interna es un campo que está recibiendo cada vez más interés. El hidrógeno es un excelente combustible, haciendo que los motores basados en este gas sean un 20 % más eficaces que los que emplean gasolina.

Esta clara diferencia se debe a las características del hidrógeno:

1. Su elevada difusividad facilita la formación de mezclas combustible-aire mucho más homogéneas que con cualquier otro combustible.

2. Su amplio intervalo de inflamabilidad (4-75%) hace que sea capaz de arder en mezclas pobres. Con ello se consigue una mayor facilidad de arranque (también relacionada con su baja

energía de ignición), que la combustión sea más completa y una mejor economía del combustible. Además, la temperatura final de combustión es menor, minimizando la formación de óxidos de nitrógeno.

3. Su alta temperatura de auto-ignición permite mayores relaciones de compresión en los pistones, proporcionando mayores eficacias térmicas.

El principal inconveniente del hidrógeno es su baja densidad energética volumétrica (energía/volumen) que lleva a la necesidad de grandes tanques de almacenamiento y a que la mezcla estequiométrica aire/combustible en los cilindros del motor tenga un menor contenido energético, produciéndose una pérdida de potencia. Este factor también limita el contenido en hidrógeno en dicha mezcla, no permitiendo que ésta sea demasiado pobre. El uso de técnicas avanzadas de inyección del combustible o de hidrógeno líquido podría ser una mejora para estos problemas.

2.1.4.3. Hidrógeno en la industria metalúrgica

En la industria siderúrgica, el mineral de hierro puede ser reducido empleando coque o un gas que contenga hidrógeno, monóxido de carbono, o mezclas de éstos. Este gas reductor puede obtenerse mediante reformado con vapor de agua u oxidación parcial de combustibles fósiles. Además, en la industria metalúrgica, el hidrógeno se emplea como agente reductor y en procesos de producción de otros metales no-férricos (como por ejemplo cobre, níquel, cobalto, molibdeno, uranio, etc.).

2.1.4.4 Otros usos

Además de los usos industriales del hidrógeno mencionados en los apartados anteriores, que son los de mayor volumen de utilización, cabe citar los siguientes:

- Combustible aeroespacial: Además de servir como suministro de energía para los ordenadores y sistemas de soporte en el espacio, obteniendo agua como “subproducto”.

- Llamas de alta temperatura: La combustión de una mezcla estequiométrica de hidrógeno y oxígeno conduce a temperaturas de llama comprendidas entre 3000 y 3500 K, las cuales pueden ser usadas para corte y soldadura en la industria del metal, crecimiento de cristales sintéticos, producción de cuarzo, etc.

- Plasma de hidrógeno: El elevado contenido calorífico de un plasma de hidrógeno puede ser utilizado en algunos procesos de producción.

- Procesamiento de metales: Es habitual añadir diferentes proporciones de hidrógeno a las corrientes gaseosas empleadas en diferentes procesos de corte y soldadura, tratamientos superficiales (atomización) y tratamientos en atmósferas especiales (templado, sinterización, fusión, flotación de vidrio, etc.).

- Producción de semiconductores: Para producir semiconductores dopados se depositan en una matriz de silicio cantidades traza de elementos (Si, As, Ge, etc.), en forma de hidruros, mezclados con una corriente de hidrógeno de elevada pureza.

- Tratamiento de agua: Los contenidos demasiado elevados de nitratos en aguas potables pueden ser reducidos por desnitrificación en reactores, en los que las bacterias emplean el hidrógeno como fuente de energía.

- Otros usos: El hidrógeno se emplea también para aumentar la temperatura de transición de aleaciones superconductoras, así como gas portador y combustible en cromatografía gaseosa. El hidrógeno líquido se usa como refrigerante, por ejemplo para enfriar metales superconductores a temperaturas inferiores a las de transición.

2.1.4.5 El hidrógeno en una planta de destilación de aire con producción de argón

El aire posee una composición del 78,08% de nitrógeno, un 20,95% de oxígeno, un 0,93% en argón y también ppm (partes por millón) de otros compuestos. En las plantas de destilación de aire, los dos productos principales que se obtienen son oxígeno y nitrógeno líquido, mientras que una corriente de purga, principalmente argón y oxígeno que no se ha conseguido separar, son expulsados a la atmósfera.

Existen plantas de destilación de aire donde esta última corriente no se expulsa a la atmósfera, sino que se trata, para conseguir purificarla y obtener de esta manera argón puro para su posterior almacenaje y venta.

La purificación de la corriente de argón es muy simple. Se hace reaccionar dicha corriente con otra de hidrógeno que no reacciona con el argón (gas inerte) pero reacciona con el oxígeno formando vapor de agua.

$$H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$$

Una vez el oxígeno ha reaccionado y formado vapor de agua, su eliminación de la corriente se produce de forma directa mediante una unidad de desecación.

2.2 El aire

2.2.1 El aire como materia prima

El aire es una materia prima prácticamente inagotable. Está constituido por una mezcla de oxígeno y nitrógeno como elementos principales, y el resto gases nobles, entre los que predomina el argón. Normalmente en el aire se encuentran otras sustancias como vapor de agua, dióxido de carbono y, en las zonas industriales, se puede encontrar hidrocarburos, alquitranes, cenizas polvo, dióxido de azufre, etc. En la tabla 2.6 [7] se expresa la composición del aire (base seca).

Desde el punto de vista del aprovechamiento químico-industrial del aire, caben dos posibilidades de beneficio. La primera consiste en la separación física o química de sus componentes N_2, O_2 y gases nobles y por otro lado la combinación de sus componentes para síntesis de NO y de este sintetizar ácido nítrico y/o nitratos. Otra forma de aprovechamiento químico del aire es su ozonización por descargas eléctricas para emplearlo como bactericida y como atmósfera para la conservación de frutas.

Tabla 2.6 Composición del aire

Composición del aire		
Componentes	Fórmula química	Volumen (aire seco)
Nitrógeno	N_2	78,08 %
Oxígeno	O_2	20,95 %
Argón	Ar	0,93 %
Dióxido de carbono	CO_2	350 ppmv
Neón	Ne	18,2 ppmv
Helio	He	5,24 ppmv
Metano	CH_4	2 ppmv
Criptón	Kr	1,1 ppmv
Hidrógeno	H_2	0,5 ppmv
Oxido nitroso	N_2O	0,3 ppmv
Xenón	Xe	0,08 ppmv
Monóxido de carbono	CO	0,05 – 0,2 ppmv
ozono	O_3	0,02 – 0,03 ppmv

2.2.2 Separación de los gases del aire

La importancia de la industria de la separación del aire puede juzgarse por la importancia de los productos que se obtienen de ella.

El nitrógeno se utiliza principalmente para la síntesis de NH_3 pero también tiene otros usos de bastante interés:

- Metalurgia, como aleación y como agente limpiador.
- Gas inerte en tuberías, silos y recipientes.
- Almacenamiento de alimentos y procesado.
- Para procesos en la industria electrónica y de semiconductores.
- Aplicaciones de N_2 líquido a distintos procesos: molienda criogénica, medicina y biología.

El oxígeno de alta pureza (más del 99,5%), se aplica para alimentar los sopletes de soldadura y corte de metales, que por volumen de consumo, es la aplicación más importante. Más actualmente, las aplicaciones del oxígeno se han extendido al campo de la combustión y de las reacciones de oxigenación, con la ventaja respecto al aire, de que la presión parcial del O_2 es mayor y que los productos de la reacción o de la combustión no van diluidos por el N_2 del aire. Como aplicación del oxígeno se pueden citar:

- Oxidaciones, como la del acetaldehído (para ácido acético o anhídrido), donde la casi ausencia de N_2 reduce en gran medida las pérdidas por arrastre.
- Combustión incompleta de metano, etano y propano para la síntesis de acetileno, debido a la facilidad con la que se alcanza la temperatura necesaria.
- Obtención de C_2Ca por vía térmica. Se necesitan unos 2500ºC, que el aire no puede alcanzar.
- El craqueo húmedo de CH_4 proporciona productos gaseosos más concentrados cuando se utiliza oxígenos de media concentración.
- Oxidación catalítica de NH_3 (a NO, NO2, NO3H).
- Obtención de SO_2 puro por combustión del azufre.
- Uso del O_2 como medicamento: REAL DECRETO 1800/2003, de 26 de Diciembre, por el que se regulan los gases medicinales. Los campos de aplicación más usuales son:

    - Terapia respiratoria
    - Reanimación
    - Unidades de cuidados intensivos
    - Anestesia
    - Creación de atmósferas artificiales
    - Tratamiento de quemaduras
    - Terapia hiperbárica
    - Tratamiento de hipoxias

El uso y la importancia de los gases nobles (argón principalmente) se tratara en la última parte de los antecedentes.

2.2.2.1 Destilación del aire

La separación del aire se puede llevar a cabo mediante reacciones químicas, por procesos de adsorción del gas en un líquido o mediante la destilación, pero, en la práctica, la forma más económica y que mayor rendimiento proporciona es la destilación criogénica del aire.

La destilación del aire consta de dos etapas, una primera de producción de frío para la licuefacción del mismo, y una segunda de separación de gases mediante rectificación. Previamente a la licuefacción es necesario un tratamiento del aire haciéndose pasar por un filtro eliminando las partículas de mayor tamaño.

2.2.2.1.1 Licuefacción del aire

Para realizar la destilación del aire, el primer paso necesario es la licuefacción del mismo (obtención del aire líquido), lo que implica un cierto grado de enfriamiento.

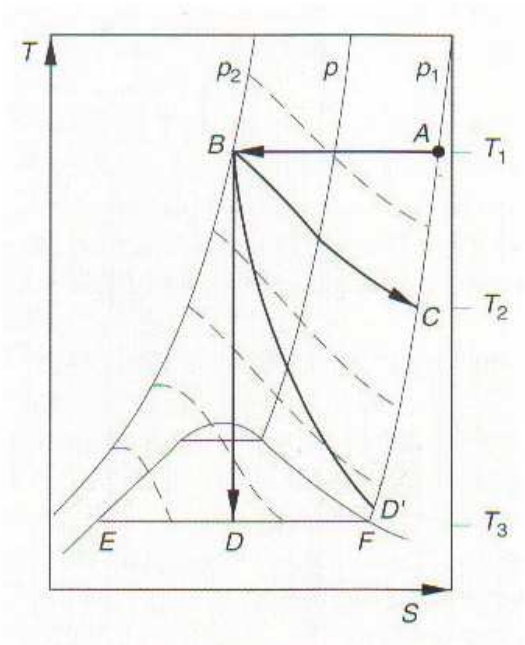


Figura 2.13. Diagrama T-S ciclo Joule-Thomson

Para la licuefacción del aire existen dos alternativas, aunque la primera etapa es la misma para las dos. Ésta primera etapa consiste en una compresión isotérmica (T=cte). Como se aprecia en la figura 2.13, de esta manera se alcanza el punto B a misma temperatura que el punto A. Para conseguir enfriar el gas comprimido, se debe realizar una expansión isocora (P = cte) de manera que se reduzca su temperatura alcanzando la zona de mezcla bifásica del diagrama P-T. Dicha expansión del gas puede llevarse a cabo de dos maneras, que son las dos alternativas de licuefacción, correspondientes a los dos ciclos, Linde y Claude:

- **Expansión isentálpica**. Se produce una expansión manteniendo constantes los valores entálpicos. Se produce al expandir el gas a través de una estrangulación, de una llave poco abierta, por ejemplo, sin introducir trabajo exterior. El enfriamiento se produce a costa de la energía interna de las moléculas gaseosas, de acuerdo con el Primer Principio de la Termodinámica ($\Delta U = Q - W$). En la figura 2.13 el punto B se desplaza a lo largo de BC hasta alcanzar el punto C. El enfriamiento de la masa de aire vendría dado por la diferencia de ordenadas de los puntos A y C. Debido a rozamientos inevitables, en la práctica el punto final se situara más alto que el punto C. Este efecto de refrigeración recibe en Termodinámica el nombre de Joule-Thomson. Industrialmente fue utilizado por primera vez por Linde en 1985. La figura 2.13 representa un esquema de este ciclo y su correspondiente diagrama T–S.

- **Expansión isentrópica**. Se produce una expansión manteniendo constantes los valores entrópicos. Se produce al expandir el aire comprimido, B, en el interior de un sistema émbolo-cilindro, con producción de trabajo externo. El enfriamiento según la figura 2.13 sigue la línea BD. Se observa que el grado de enfriamiento, $(\Delta T)_S = T_1 - T_3$, es mucho mayor que $(\Delta T)_H$, y además se reduce el gasto energético de compresión previa de A hasta B al poder recuperar en parte el trabajo de expansión.

En la práctica, el frío necesario no se consigue en un solo paso, es necesario repetir el proceso de compresión-expansión y aprovechar el frío de los productos resultantes, aire no liquado, en equilibrio de vaporización con la fracción licuada, o gases producidos por la destilación, para enfriar previamente el aire comprimido antes de su expansión. De esta manera se obtienen los llamados “ciclos” de Linde (isentálpico) y de Claude (isentrópico) representados en la figura 2.14 [7].

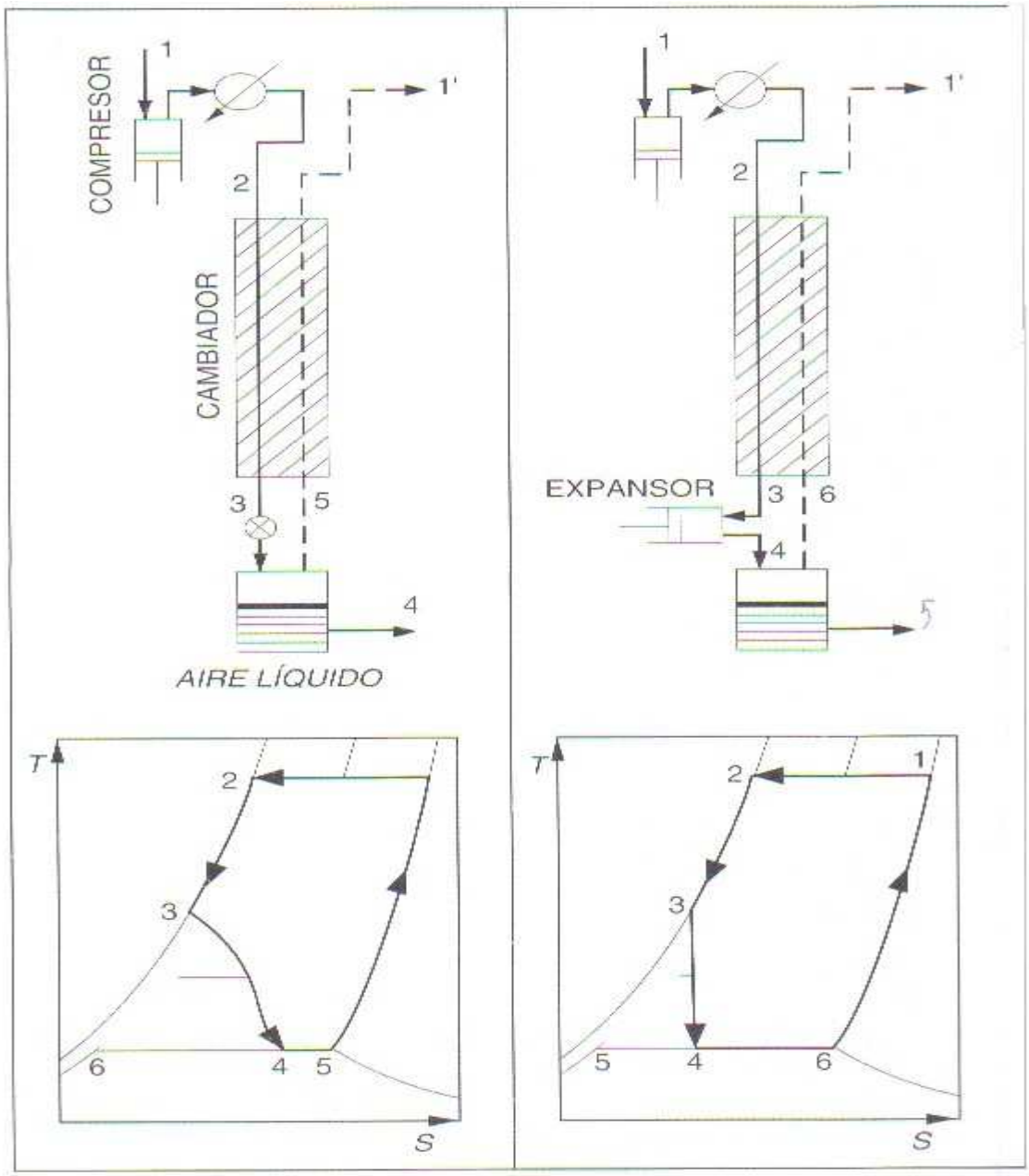


Figura 2.14. Ciclos isentrópico e isentálpico.

2.2.2.1.2 Destilación

No es difícil separar el oxígeno y el nitrógeno por destilación (rectificación); el primero hierve unos doce grados por encima del segundo, a presión atmosférica (90 K frente a 78 K). A continuación se describe la forma más sencilla de destilación del aire, figura 2.15.

El aire de entrada, después de ser enfriado por los gases de salida en el intercambiador de calor, se vuelve a enfriar con el líquido del calderín del fondo. Posteriormente, es comprimido en la válvula. Este aire comprimido hace hervir el líquido del fondo como alimentación de la columna. La zona inferior (de agotamiento) puede funcionar con normalidad y de esta manera, en el calderín se recogerá un producto tan rico en los componentes menos volátiles como lo permita el número de platos situados en la zona de agotamiento. Sin embargo, la zona superior de la columna no puede trabajar debido a la falta de reflujo. Para conseguir su funcionamiento caben dos posibilidades: o suprimirla, lo que significa que no se desea más que la obtención de oxígeno y se acepta perder el gas de la parte superior, nitrógeno, o crear un reflujo en la parte superior para rectificar la corriente de nitrógeno. La primera solución conduce a la columna Linde sencilla, y la segunda conduce a la técnica por excelencia y más extendida, la doble columna Linde.

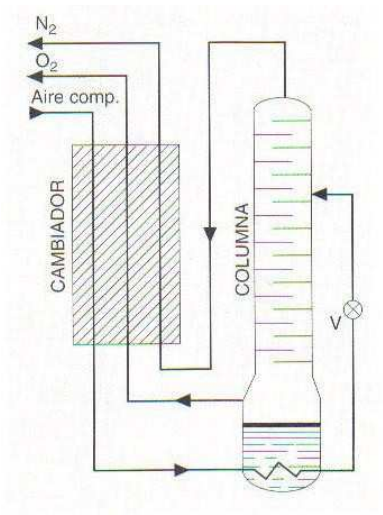


Figura 2.15. Esquema representativo de destilación de aire

En la doble columna Linde, representada en la figura 2.16, la columna inferior trabaja a 5 atm y la superior a 1 atm. Es, precisamente, esa diferencia de presiones la que permite disponer del reflujo, por el descenso que experimentan los puntos de ebullición al disminuir la presión. La doble columna trabaja de la siguiente manera:

El aire enfriado (por amoniaco a ebullición y por los gases obtenidos, nitrógeno y oxígeno) alcanza temperaturas de unos 150 K; llega así a la parte baja de la columna inferior, que trabaja a unas 5 atm, donde se enfría aún más al pasar por el serpentín del calderín, en el que hay un líquido con un 40% de oxígeno a ebullición (105 K); el calor latente para esta ebullición lo suministra el aire

a unos 150 K. Después de esta última refrigeración, se expansiona isentálpicamente hasta 5 atm mediante la válvula V1, con lo que por efecto J.-T. Se licua en parte y la mezcla líquido-vapor pasa a la columna inferior, donde se rectifica a 5 atm. El número de platos de la sección inferior es el suficiente para que llegue al calderín un líquido de la composición dicha. Este líquido a 5 atm, se expansiona hasta 1 atm, la válvula V2 y se vierte la mezcla líquido-vapor como alimentación a la columna superior.

La sección superior de la columna inferior rectifica los vapores por ella ascendentes y, si tiene número de platos suficiente, se consigue que llegue a su cúspide un vapor que puede ser nitrógeno prácticamente puro. Este vapor saturado (a 5 atm) se condensa (94 K) gracias al calor que le roba el oxígeno hirviente (1 atm) en el calderín de la columna superior (90 K). El nitrógeno condensado refluye, en parte, en la propia columna inferior y el resto se envía, a través de la válvula V3 (expansión) hacia la cúspide de la columna superior, de donde escapa a la temperatura de saturación (78 K) y 1 atm la fracción vapor, como producto, y fluye hacia abajo la parte líquida, que será el reflujo de esta columna (nitrógeno puro).

La alimentación de la columna superior se rectifica en ésta, enriqueciéndose en nitrógeno hacia arriba y en oxígeno hacia abajo. El oxígeno líquido prácticamente puro que se recoge en el calderín hierve a expensas de sustraer el calor latente necesario al vapor de nitrógeno de la columna inferior.

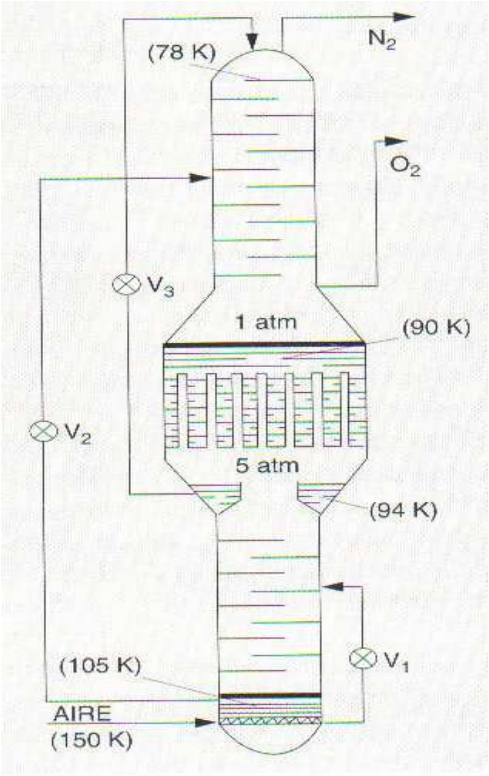


Figura 2.16. Doble columna Linde

2.2.2.1.3 El argón contenido en el aire

La presencia en el aire de gases nobles y otros productos distintos del agua y dióxido de carbono, como los hidrocarburos, obliga a veces a ciertas variantes de operación en las instalaciones.

El 1% de argón que tiene el aire puede salir de la columna de rectificación junto con el oxígeno o junto con el nitrógeno, pero a costa de la pureza del que lo lleva. Si es con el nitrógeno, éste no podrá ser más del 98,7% de riqueza; si es con el oxígeno, no será más del 95%. Al proyectar las columnas hay que tenerlo en cuenta; el proyectista ha de basarse entonces en el sistema N_2-O_2-Ar y no en el binario N_2-O_2.

Cuando se quiere tener argón como subproducto, la columna superior (Linde) se sangra a la altura del plato donde es máxima su concentración (un 10%) y este vapor se rectifica separadamente en una columna auxiliar, cuyas colas vuelven a la columna principal. El argón es el producto de cabeza. En la figura 2.17 se aprecia un esquema del método ruso.

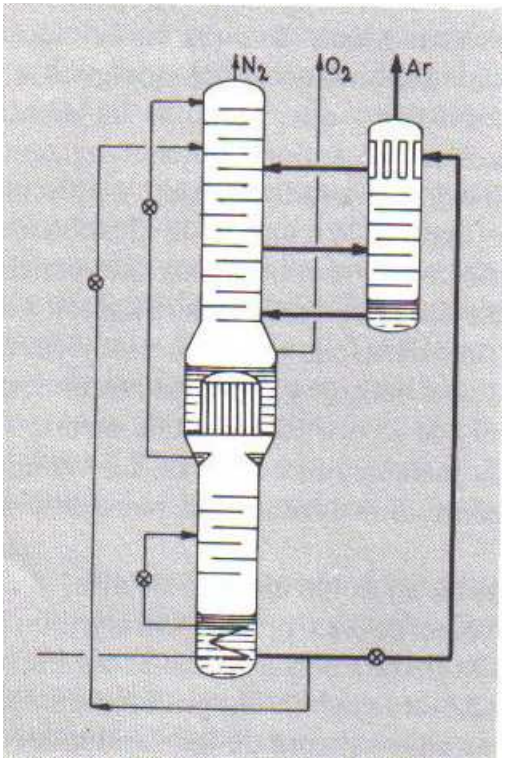


Figura 2.17. Método ruso para obtener argón como subproducto

El método americano es muy parecido; utiliza el nitrógeno producto de la doble columna para enfriar al líquido que actúa de condensador de reflujo en la columna auxiliar. El argón obtenido es del 80%, el 20% restante es oxígeno que le acompaña. Para su separación se emplea el hidrógeno, este reacciona con el oxígeno dando vapor de agua que posteriormente se separa con facilidad, generalmente con una unidad de desecado.

2.2.3 Funcionamiento de una planta de destilación de aire

A continuación se va a explicar el funcionamiento y organización de una planta de destilación de aire estándar, en la cual se produce oxígeno, nitrógeno y argón por destilación fraccionada del aire atmosférico. En esta planta solo se va a almacenar oxígeno y nitrógeno en estado líquido, mientras que el argón, se devuelve a la atmósfera.

A la planta de destilación, se conectan directamente depósitos criogénicos de producción mediante tuberías aisladas al vacío para no tener pérdidas de producto por evaporación debido al gradiente de Tª (interna de -183º y externa ambiente), Dep-O y Dep-N, donde se recogen el oxígeno y el nitrógeno líquidos producidos respectivamente. Tras ser almacenados en los depósitos de producción, mediante bombas criogénicas centrífugas se trasvasan a depósitos de almacenamiento O-1, O-2, O-3 y N-1 y a un depósito criogénico de llenado O-4.

Desde los depósitos de almacenamiento se llenan cisternas criogénicas para la distribución del producto, mientras que desde el depósito de llenado se alimenta una estación para el llenado de botellas a 200/300 bares.

El depósito N-1 alimenta un colector de gas auxiliar a través de un evaporador E1 durante las operaciones de arranque y parada de la planta de producción. Además, existe un segundo evaporador E2 que permite gasificar y devolver al ambiente el producto fuera de especificaciones de la planta. En la figura 2.18 se observa un esquema general de una planta de destilación de aire.

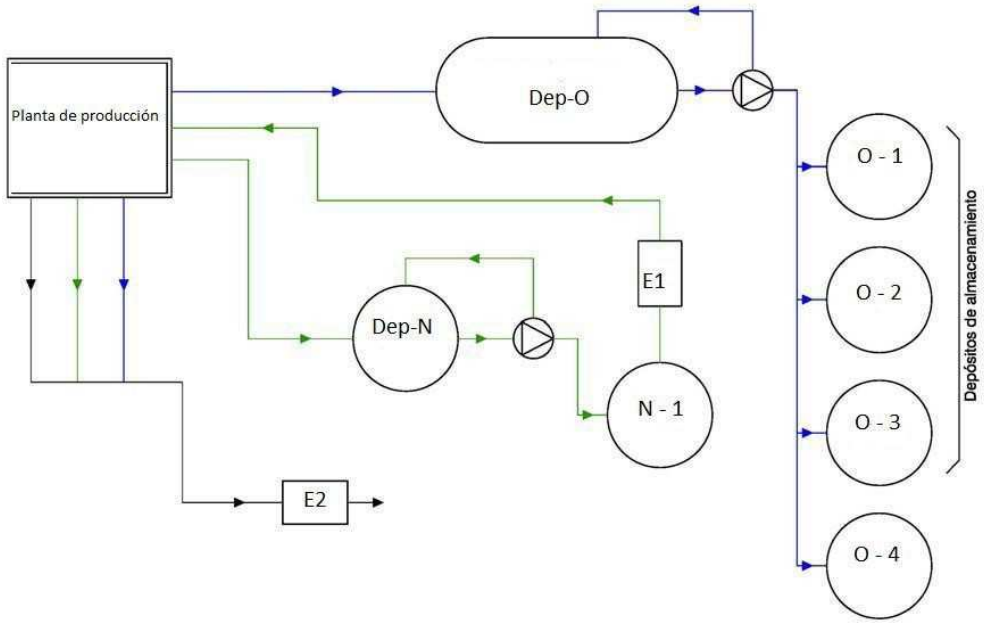


Figura 2.18. Esquema planta destilación de aire simplif

2.2.3.1 Funcionamiento de la planta de producción

1º - Compresor de aire.

Figura 2.19. Compresor

Un compresor (figura 2.19) aspira el aire ambiente a través de un filtro y tras una compresión en 3 etapas con refrigeración en cada etapa (agua a 26ºC), se alcanzan los 5,6 bares y se introduce al ATM.

2º - ATM (Módulo de Tratamiento de Aire)

Chiller (grupo de frío)

Una vez en el ATM, se produce el enfriamiento del aire mediante un refrigerante en circuito cerrado hasta una temperatura de 4ºC (figura 2.20).

Figura 2.21. Cámaras de adsorción

Cámaras de adsorción

Se produce la eliminación del CO_2 y H_2O residual que no se ha eliminado en el separador aire-agua. El material adsorbente es sílice-alúmina, material con una alta porosidad (figura 2.21).

Posteriormente, se hace pasar por un filtro de partículas y se introduce a la Caja Fría.

3º - Caja Fría

Figura 2.21. Caja fría

Contiene un intercambiador de calor y tres columnas de destilación donde se produce el proceso físico de destilación fraccionada del aire (figura 2.21).

4º - Ciclo compresión – expansión.

Figura 2.22. Compresor reciclo (N_2)

Figura 2.23.Turbinas

Mediante ciclos de compresión – expansión isentálpica formado por el conjunto Compresor Reciclo – Turbinas, se consigue enfriar el N_2 hasta -192 ºC y así en el intercambiador de calor de la Caja Fría se consigue licuar el aire proveniente del ATM. Al poder aprovecharse parte del trabajo de expansión, se reduce el gasto inicial de compresión en el compresor de aire.

5º - Sistema de refrigeración de la planta.

Figura 2.24. Torres de refrigeración

Torres de refrigeración

Compuesto por grupo de bombeo de agua que refrigera el compresor de Aire, Compresor de Reciclo, Turbinas y Chiller. El agua caliente (37ºC) se enfría (26ºC) en 3 torres de refrigeración de tiro forzado y vuelve a planta en circuito cerrado.

Figura 2.25. Grupo de bombeo

Grupo de bombeo

El agua caliente (37ºC) se enfría (26ºC) en 3 torres de refrigeración de tiro forzado y vuelve a planta en circuito cerrado.

2.3 Argón

La corriente de la planta de destilación de aire está compuesta por argón contaminado por oxígeno. En este estado, no es posible su aprovechamiento. Mediante el tratamiento de dicha corriente con hidrógeno, se consigue purificar dicha corriente, obteniendo el argón puro.

2.3.1 Propiedades

El argón es un gas monoatómico y químicamente inactivo. No tiene olor, color, ni sabor, no es corrosivo y no es inflamable. Es clasificado como gas inerte. Las principales propiedades de este elemento se reflejan en la tabla 2.7 [8].

Tabla 2.7. Propiedades del argón

Fórmula química :	Ar
Peso molecular :	39,95 g/mol
Temperatura ebullición (1 atm) :	-185,9 ºC
Temperatura crítica :	-122,4 bar
Presión crítica :	48,65 bar
Densidad gas (20ºC, 1 atm) :	1,664 g/l
Densidad líquido (p.e., 1 atm) :	1,391g/l
Peso específico (aire=1) :	1,38
Temp. autoignición en aire :	-
Solubilidad en agua (10 ºC, 1 atm) :	0,0337 cm3/1 cm3 H2O
Calor latente de vaporización (20 ºC) :	39 cal/g

2.3.2 Principales aplicaciones

El argón, en ocasiones puro y en otras mezclado con otros elementos, debido a sus propiedades, tiene diferentes aplicaciones en diferentes campos. A continuación se citan los principales campos de aplicación del argón y sus usos en ellos.

2.3.2.1 El argón para uso industrial

- Soldadura TIG (tungsten inert gas) para la protección del arco de dicha soldadura creando una atmósfera inerte.

- Fabricación de aleaciones especiales de titanio.

- En la fabricación de acero, se utiliza argón reduciendo las pérdidas de cromo, se reduce el contenido de carbono deseado de manera que se reduce la temperatura de trabajo.

- Se utiliza como gas de soplado para la fabricación de aceros de alta calidad con el propósito de evitar la formación de nitruros.

- En la fabricación de aluminio, se utiliza argón para la eliminación de hidrógeno y desgasificación.

- Para la fabricación de circonio se emplea argón para proporcionar una atmósfera inerte.

2.3.2.2 El argón en la industria sanitaria

- Se han encontrado aplicaciones del laser de argón para el tratamiento de desprendimiento de la retina y también en la fototerapia para la retina.

- En el tratamiento de tumores renales, se utilizan agujas criogénicas como parte de un tratamiento de frió mediante argón, en la que se destruye el tejido enfermo o anormal.

- La “cirugía de argón” se utiliza para tratar las arritmias del corazón.

2.3.2.3 El argón en la industria alimentaria

- El argón se introduce en barriles de vino y, debido a su densidad (mayor que la del aire), desplaza el aire, asentándose sobre el líquido, de manera que este queda protegido de la oxidación y acidificación

- Por el mismo procedimiento, también se utiliza en bares y restaurantes para proporcionar una atmósfera inerte en botellas de vino y licor abiertas.

2.3.2.4 El argón en la iluminación

- El argón se emplea en bombillas incandescentes, evitando la oxidación rápida de los filamentos y de esta manera prolongando la vida útil de la bombilla.

- Se utiliza en la fabricación de los tubos de neón. Al pasar la electricidad por estos tubos, el argón produce un brillo azul-púrpura (99,5% neón y 0,5% argón).

2.3.2.5 Otros usos

- Debido a la naturaleza inerte del gas, se emplea para proporcionar atmósferas que contribuyan a la protección de documentos antiguos, con el fin de evitar su degradación durante su visualización y almacenamiento.

- En investigación, para el desarrollo y crecimiento de cristales semiconductores en industria electrónica.

- Gas portador en cromatografía de gases.

3. Descripción del proceso de producción de hidrógeno

3.1 Descripción general

Como se ha comentado en apartados anteriores, la producción de hidrógeno se puede realizar mediante diversas vías. A continuación se explica de manera resumida el proceso de producción de hidrógeno que se va a desarrollar para el embotellado del mismo y para su uso en la purificación de una corriente de argón con impurezas de O_2, que se muestra de modo esquemático en la Figura 3.1.

Como equipo principal para la producción del hidrógeno se ha optado por un electrolizador. Éste estará alimentado por una corriente de agua. Los electrolizadores requieren una pureza del agua determinada para la electrolisis, agua ultrapura, por lo cual será necesario un equipo de purificación de agua previo al electrolizador.

Una vez el agua tiene las propiedades necesarias, es introducida en el electrolizador donde, mediante electrólisis se producen dos corrientes diferentes, una corriente de hidrógeno como corriente principal y una corriente de oxígeno que puede ser purgada a la atmósfera sin riesgo ni contaminación alguna.

La corriente principal, en función del electrolizador seleccionado, se produce con un porcentaje en hidrógeno mayor o menor (en general no inferior al 99,5% en H_2), y en unas condiciones de temperatura y humedad que pueden no ser las adecuadas para el uso del hidrógeno. Si la pureza, temperatura y humedad del hidrógeno producido por el electrolizador no se ajustan a las condiciones requeridas, será necesario un sistema de tratamiento de hidrógeno.

Tras obtener el hidrógeno en las condiciones deseadas, es necesario conseguir las condiciones de presión requeridas, debido a que el almacenamiento de éste se lleva a cabo en botellas a presión de 300 bares. La corriente principal se hace pasar por un compresor de hidrógeno, donde se aumenta la presión del fluido desde la proporcionada por el electrolizador hasta la requerida (300 bares).

Para permitir que el sistema pueda trabajar en continuo, cuando se necesite realizar el mantenimiento del electrolizador o surja algún tipo de contratiempo con este, se instala un depósito pulmón, situado antes del compresor.

Una vez se tiene el hidrógeno en las condiciones deseadas, ya se encuentra listo para su embotellamiento. Después del depósito pulmón se instala en la tubería una bifurcación, con el objetivo de dividir el hidrógeno producido en dos corrientes, una irá directamente al rack de llenado de botellas mientras que la otra se utilizará para la purificación de la corriente de Argón de la planta de destilación de aire. Debido a las condiciones necesarias impuestas por el sistema de purificación, el hidrógeno debe llegar a una presión de **3 bares**, por lo que se necesita colocar un regulador de presión en la línea de hidrógeno que va destinada a la purificación de argón. Se conoce que la presión de salida de los electrolizadores suele ser mayor que este valor.

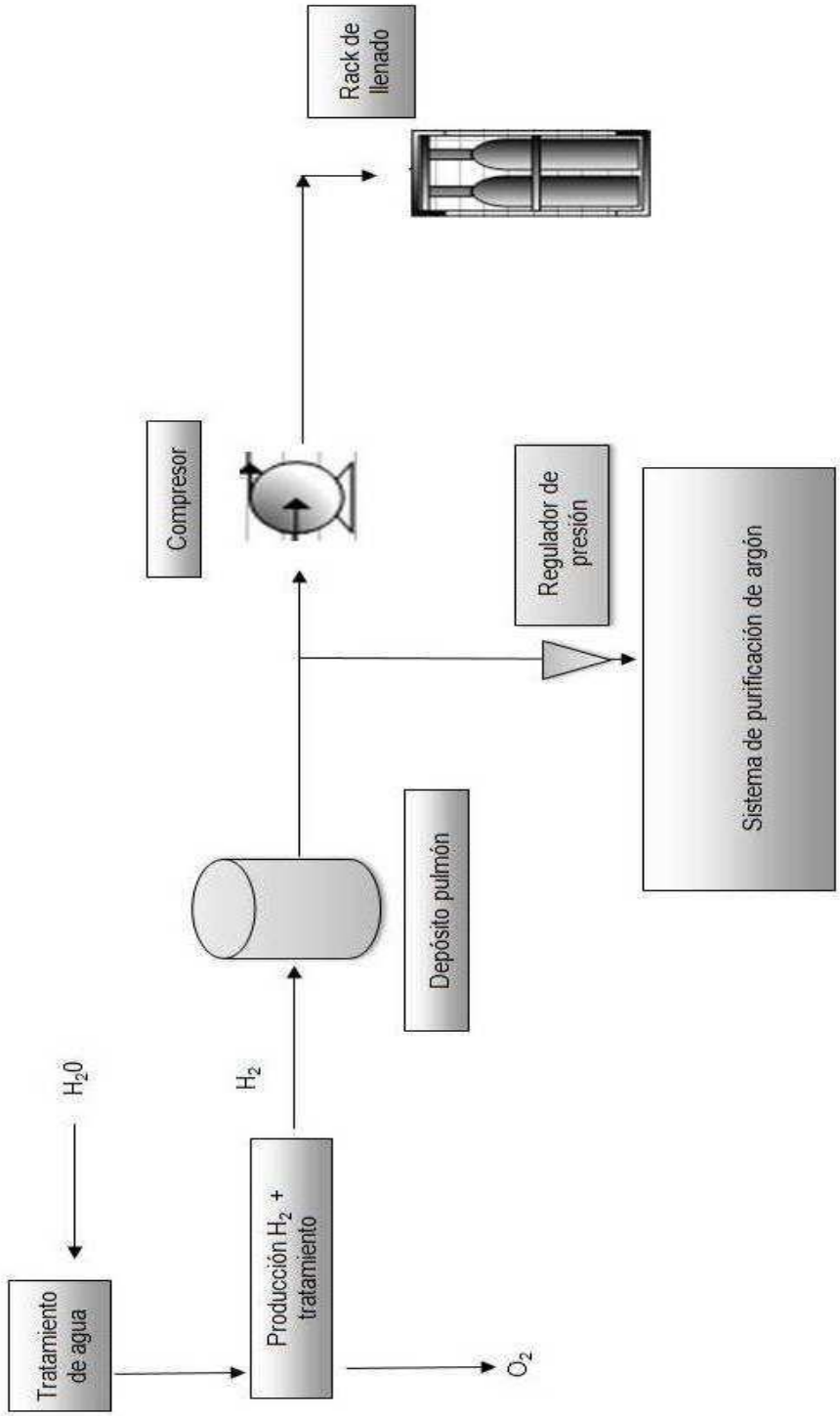


Figura 3.1 Diagrama de Flujo

3.2 Descripción de los equipos

3.2.1 Producción de hidrógeno

Dentro de este grupo se van a considerar el proceso de tratamiento de agua, la producción de hidrógeno y el proceso de acondicionamiento del mismo.

La tecnología utilizada para el proceso de purificación de argón depende de la empresa que distribuya el electrolizador y del tipo de electrolizador. Está tecnología tiene carácter confidencial por parte de la empresa distribuidora.

En el proceso de tratamiento de agua [8], la tecnología utilizada también depende de la empresa que proporcione el sistema, sin embargo, en este caso, se conocen el tipo que suelen usarse.

Para cada uso del agua desionizada se utiliza una conductividad específica. Sin embargo siempre seguirá habiendo una cierta conductividad, debido al equilibrio ácido/básico del agua. El agua desmineralizada de mejor calidad tiene una resistencia de aproximadamente 18,2 MΩ/cm o una conductividad de 0,055µS/cm.

Los procesos más utilizados son los procesos de membrana que incluyen la electrodiálisis, y la osmosis inversa. También se utilizan las resinas de intercambio iónico.

Ambos métodos obtienen como resultado dos caudales, un caudal de agua limpia con baja concentración de sales y un caudal con alta concentración de sales. Ambos métodos requieren energía para su operación. El consumo de energía en los procesos de membrana depende de la salinidad de agua de alimentación.

3.2.1.1 Electrolizador

Como se ha explicado en el apartado “Antecedentes; El hidrógeno”, las tecnologías para la producción de hidrógeno son varias y muy diversas, en función de la cantidad, calidad y uso posterior del mismo. Para producir hidrógeno de manera centralizada y en cantidades pequeñas, se suele tomar la opción del electrolizador, que además, presenta la posibilidad de, combinándolo con sistemas de producción de energía renovable, como eólica o fotovoltaica, de producir hidrógeno de una manera ecológicamente respetable. En la Figura 3.2 se puede ver el aspecto exterior de un electrolizador y en la figura 3.3 se puede observar el aspecto interno (en este caso con sistema de purificación incluido).

Figura 3.2. Electrolizador (aspecto externo)

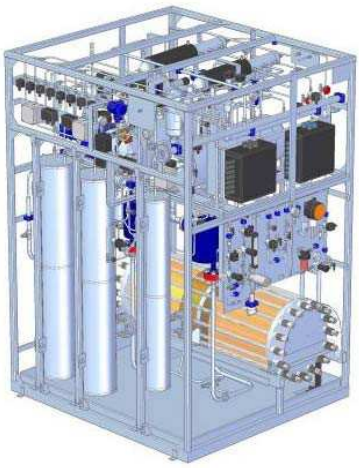


Figura 3.3 Electrolizador (aspecto interno)

El desempeño y eficiencia de un electrolizador depende de muchos factores, entre ellos de la estabilidad de los electrodos, la buena conductividad iónica y estabilidad de los diafragmas, de la geometría de la celda, y de parámetros tales como el diseño de los ductos de salida de los gases (para evitar la acumulación de los mismos dentro de las celdas). Mención aparte merece la seguridad que se debe guardar dentro de un electrolizador y el grado de pureza que se quiere obtener de los gases producidos (H_2 y O_2).

3.2.2 Depósito pulmón

El depósito pulmón, Figura 3.4 es un equipo que podría considerarse secundario debido a que no es obligatoria su utilización en el proceso. Consiste en un cilindro (normalmente) de acero al carbono. Se suelen situar en posición vertical cuando las instalaciones lo permiten ya que de esta manera supone un ahorro de espacio. Su función dentro del proceso tiene dos objetivos; uno es el de conseguir que el electrolizador pueda trabajar en continuo, en caso picos de demanda puntuales de producto poder satisfacerlos, no tener necesidad de parada para las revisiones de mantenimiento del electrolizador, y su segunda función consiste en, debido al elevado precio de los electrolizadores de alta producción (ver apartado dimensionamiento de equipos), resulta más económico el uso de un depósito pulmón que la adquisición de electrolizadores de gran tamaño.

Figura 3.4 Ejemplo de depósito

3.2.3 Compresor

Tal y como se ha explicado en el apartado Antecedentes, debido a la baja densidad del hidrógeno como consecuencia de su peso molecular, para almacenar cantidades significativas de hidrógeno es necesario usar presiones elevadas. Al aumentar la presión de almacenaje de las botellas, se aumenta considerablemente la cantidad de hidrógeno en cada una de ellas.

Un compresor es una máquina capaz de elevar la presión del gas que maneja. Se distinguen dos tipos básicos de compresores:

El primero trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo).

El otro trabaja mediante la aspiración del por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).En la Figura 3.5 se muestra un esquema [9].

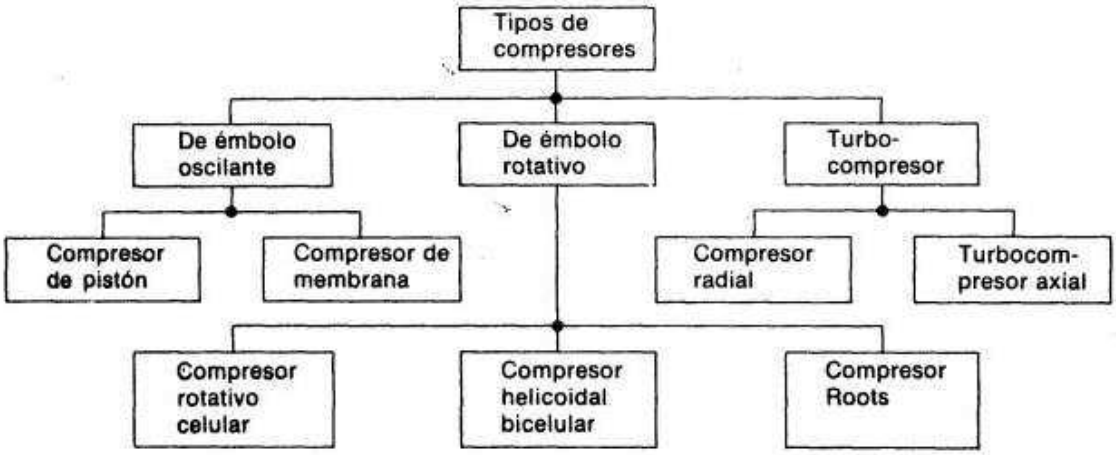


Figura 3.5 Esquema de tipo de compresores

3.2.3.1 Compresores de émbolo oscilante

Es el tipo de compresor más difundido actualmente. Es apropiado para comprimir a baja, media o alta presión. Su campo de trabajo se extiende desde unos 1.100 kPa (1 bar) a varios miles de kPa. En la figura 3.6 se muestra un esquema de funcionamiento.

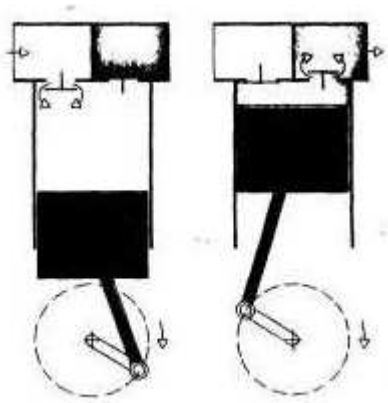


Figura 3.6 Imagen de compresor de embolo oscilante

Para obtener el gas a presiones elevadas, es necesario disponer de varias etapas de compresión en serie. El gas aspirado se somete a una compresión previa por el primer émbolo, seguidamente se refrigera, para luego ser comprimido por el siguiente émbolo. Durante el trabajo de compresión la temperatura del gas que se comprime aumenta, por lo que es necesario un sistema de refrigeración tras cada etapa. Este sistema puede ser por aire o por agua.

Compresor de membrana

Este tipo forma parte del grupo de émbolo. Una membrana separa el émbolo de la cámara de trabajo, de modo que el gas no entra en contacto con las piezas móviles, evitando así la contaminación de dicho gas y consiguiendo que esté exento de aceite (ver figura 3.7). Este tipo de compresores se emplean con preferencia en las industrias alimenticias farmacéuticas y químicas.

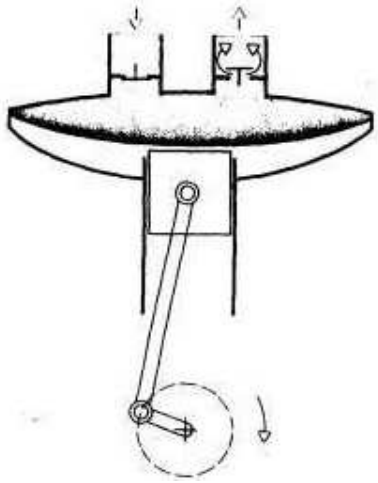


Figura 3.7 Imagen de compresor de membrana

3.2.3.2 Compresores de émbolo rotativo

Consiste en un émbolo que está animado de un movimiento rotativo. El gas es comprimido por la continua reducción del volumen en un recinto hermético.

Compresor rotativo multicelular

Un rotor excéntrico gira en el interior de un cárter cilíndrico provisto de ranuras de entrada y salida (ver figura 3.8). Las ventajas de este compresor residen en sus dimensiones reducidas, su funcionamiento silencioso y su caudal prácticamente uniforme y sin sacudidas. El rotor está provisto de un cierto número de aletas que se deslizan en el interior de las ranuras y

forman las células con la pared del cárter. Cuando el rotor gira, las aletas son oprimidas por la fuerza centrífuga contra la pared del cárter, y debido a la excentricidad el volumen de las células varia constantemente.

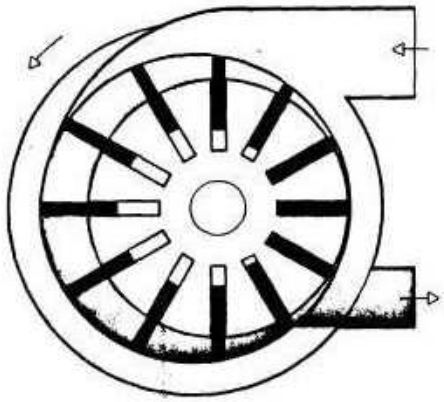


Figura 3.8 Imagen de compresor rotativo multicelular

Compresor de tornillo helicoidal de dos ejes

Dos tornillos helicoidales que engranan con sus perfiles cóncavo y convexo impulsan hacia el otro lado el gas aspirado axialmente (figura 3.9). En estos compresores, el aire es llevado de un lado a otro sin que el volumen sea modificado. En el lado de impulsión, la estanqueidad se asegura mediante los bordes de los émbolos rotativos.

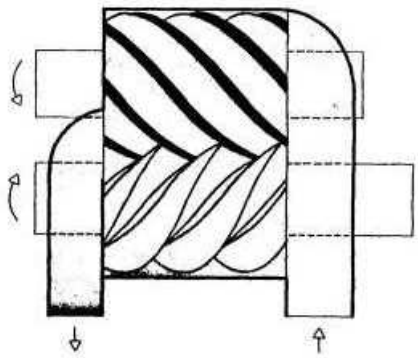


Figura 3.9 Imagen de compresor de tornillo helicoidal

3.2.3.3 Turbocompresores

Son muy apropiados para grandes caudales. Se fabrican de tipo axial (figura 3.10) y radial (figura 3.11). El gas e pone en circulación por medio de una o varias ruedas de turbina. Esta energía cinética se convierte en una energía elástica de compresión. Dentro de los turbocompresores se puede distinguir compresor axial, donde la rotación de los alabes acelera el gas en sentido axial de flujo, y compresor radial, donde existe una aceleración progresiva de cámara a cámara en sentido radial hacia afuera y el gas en circulación regresa de nuevo al eje. Desde ahí, se vuelve a acelerar hacia afuera.

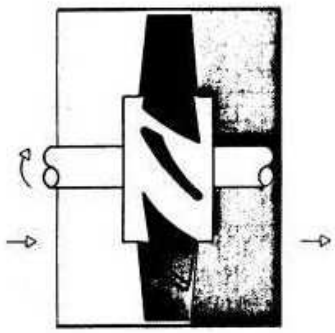


Figura 3.10 Imagen de compresor axial

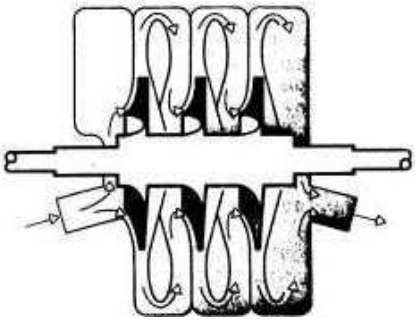


Figura 3.11 Imagen de compresor radial

Conclusión:

Debido a las ofertas recibidas por partes de los comerciales al solicitar un compresor de hidrógeno y las características favorables que el **compresor de membrana** presenta para la compresión de gases, será el tipo de compresor que se utilice en el proceso. A este tipo de compresor también se le conoce como **compresor de diafragma.**

3.2.4 Válvula de regulación

En la regulación de los distintos procesos de las plantas industriales, las válvulas tienen un papel fundamental. Controlan el caudal y la presión de las distintas corrientes implicadas en los procesos. Una válvula consiste básicamente en un cuerpo principal dentro del cual van alojados el obturador y el asiento. El obturador consiste en un mecanismo móvil que varía su posición con respecto al asiento. El movimiento del obturador está comandado por un vástago al que es solidario, siendo este el elemento donde físicamente se actúa para controlar la posición del obturador. Su movimiento puede ser lineal o rotativo dependiendo del diseño de la válvula.

El cuerpo de la válvula debe ser de un material resistente, capaz de soportar la presión máxima posible en la línea a la vez que garantiza la hermeticidad del dispositivo. Para la conexión de la válvula a la línea, el cuerpo de ésta debe estar dotado de elementos tales como bridas o roscas.

Según la función que desempeña una válvula se pueden clasificar en:

- Válvulas de control (es el tipo que se necesita)
- Válvulas de seguridad
- Válvulas de retención

Dentro del tipo de válvulas de control ó válvulas de regulación se encuentran las válvulas reductoras de presión.

3.2.4.1 Válvula reductora de presión

Son un tipo de válvulas de regulación. Son válvulas autopilotadas y autónomas, que no requieren de una señal externa que las pilote. Actúan de forma que se puede reducir la presión de la corriente de fluido hasta un valor establecido por el usuario. Su funcionamiento es automático, sólo se requiere establecer el punto de consigna como valor de la presión a conseguir, mediante ajuste de un resorte. Su actuación física consiste en provocar la expansión de la corriente gaseosa de paso hasta alcanzar la presión de consigna. En la Figura 3.12 se muestra un ejemplo de una válvula reductora de presión y sus partes indicadas.

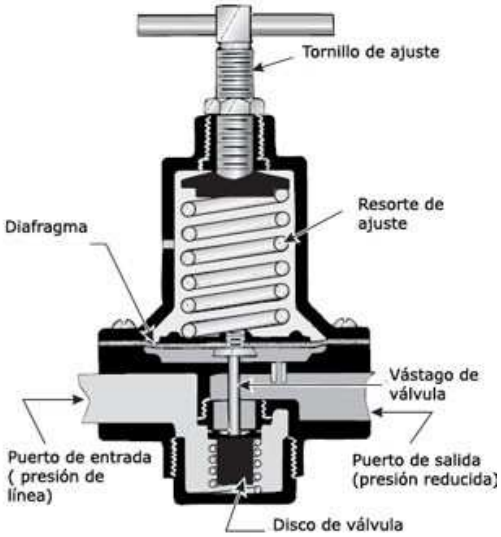


Figura 3.12. Imagen de válvula reductora de presión

Conclusión:

Se ha decidido utilizar una válvula reductora de presión que adecue la presión del hidrógeno que le proporciona el electrolizador hasta la presión necesaria para introducir dicho hidrógeno en el proceso de purificación del aire.

3.2.5 Módulo de purificación de argón (APM, Argon Purification Module)

Uno de los dos fines de la producción del hidrógeno es su uso en el APM. La finalidad de este módulo es eliminar el oxígeno de la corriente de argón crudo que resulta de la destilación del aire. Al introducir hidrógeno, se produce una reacción con el oxígeno que produce vapor de agua, que posteriormente es eliminado por condensación, e hidrógeno que no ha reaccionado (este se introduce en exceso para asegurar la eliminación del oxígeno).

La corriente de argón proveniente de la planta de destilación de aire tiene principalmente 2 impurezas: aproximadamente 1,5% en oxígeno y menos de 1% en nitrógeno.

3.2.5.1 Descripción del proceso

En la figura 3.13 se muestra un diagrama del proceso proporcionado por la empresa responsable de la fabricación del módulo de purificación, que se explica a continuación.

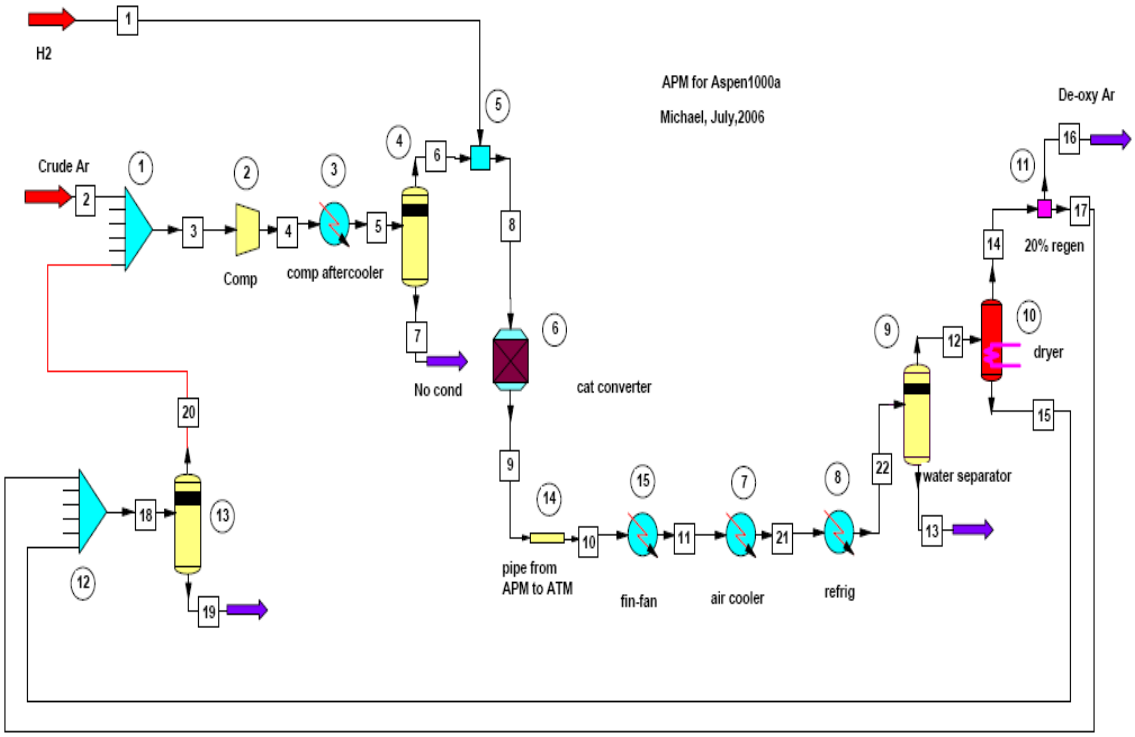


Figura 3.12. Diagrama del módulo de purificación de argón

- **Explicación del diagrama:**

La corriente de argón crudo se junta en un mezclador con la corriente de recirculación. Se hace pasar por un compresor donde se calienta, por lo que posteriormente se enfría con aire impulsado mediante un ventilador. Tras refrigerar la corriente se introduce en un separador donde se retira agua que condensa por la parte inferior mientras que la corriente producto sale por la parte superior. Esta corriente producto se junta con el hidrógeno producido y se introducen en el reactor "oxo" con un catalizador de paladio. Posteriormente tras volver a enfriar la corriente se introduce esta en un separador donde se separa agua por condensación. Para finalizar la corriente entra en un secador donde una parte es recirculada y de la otra, de la corriente producto, se separa un 20% que se recircula y el otro 80% de la corriente es el argón purificado que se produce.

El módulo de purificación de argón es distribuido por la empresa fabricante en un contenedor. En la figura 3.14 se muestra una representación en 3D del contenedor.

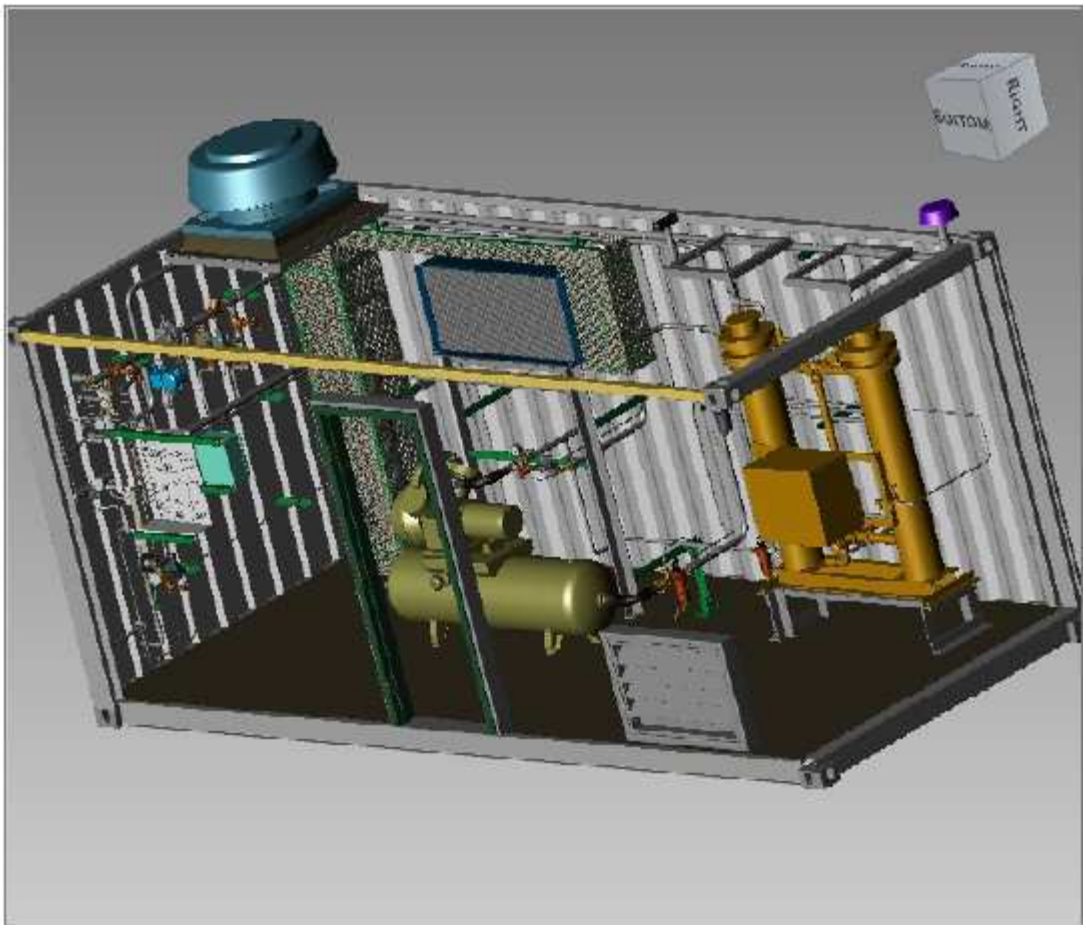


Figura 3.14. Representación en 3D del módulo de purificación de argón

4. Dimensionamiento, elección y coste de los equipos

La empresa en la cual se va a instalar la producción de hidrógeno consta de dos turnos en los que se realiza el llenado de botellas a presión. Cada turno consta de 8 horas, en un turno normal de 8 horas, 7 horas son dedicadas por parte de los operarios al llenado de botellas y la hora restante se dedica a otras gestiones. Para el dimensionamiento de los equipos se planteará el caso desfavorable en el cual solo 6 horas pudiesen ser dedicadas al llenado de botellas, por lo que:

- $2 \text{ turnos/jornada} \times 6 \text{ horas/turno} = 12 \text{ horas/jornada}$ se dedican al llenado de botellas.

4.1 Botellas de llenado

Las botellas en las que se va a almacenar el hidrógeno son del tipo B-50, cuya capacidad en volumen de agua es de 50 litros. La capacidad en gas depende de las características físicas y químicas del producto acondicionado.

A partir de la fórmula P*V = Z*n*R*T, sabiendo que:

- P = 300 [atm]
- V = 50 [litros]
- R = 0,082 [atm*litro/mol*K]
- Z (factor de compresibilidad) = 1,2147 [10]
- T = 15 [ºC] = 288 [K]

En las condiciones arriba indicadas se obtienen 505,35 moles de H_2, por lo que:

- 505,35 moles × $2\text{g/mol} \times 0{,}0898 \text{ kg/m}^3 =$ **11,65 Nm³** de Hidrógeno

En la tabla 4.1 se muestran las distintas formas de suministrar el hidrógeno en diferentes tipos de envases:

Tabla 4.1. Envases para suministrar hidrógeno

Tipo de envase	Presión máxima de llenado	Condiciones	Unidad de medida	Capacidad envase
B-5 litros	200	1bar y 15ºC	m^3	0,9
B-10 litros	200	1bar y 15ºC	m^3	1,8
B-20 litros	200	1bar y 15ºC	m^3	3,6
B-50 litros	200	1bar y 15ºC	m^3	8,9
B-50 litros	300	1 bar y 15 ºC	m^3	11,65

4.2 Producción total de hidrógeno

A lo largo de una jornada se debe realizar el llenado de 2 jaulas de botellas de hidrógeno con 14 botellas cada jaula. Cada botella tiene una capacidad de 11,65 Nm^3. Con estos datos se puede calcular los m^3/h que se van a tener que producir de hidrógeno:

- $2 \text{ jaulas} \times 14 \text{ botellas/jaula} \times 11{,}65 \text{ m}^3\text{/botella} = 326{,}2 \text{ Nm}^3\text{/jornada}$

- $\frac{326{,}2 \text{ Nm3 /jornada}}{12 \text{ horas disponibles}} = 27{,}18 \text{ Nm}^3\text{/h}$ de hidrógeno a producir.

Además hay que tener en cuenta que se necesita un caudal de hidrógeno para el modulo de purificación de argón. Esta cantidad viene dada por el fabricante del modulo, siendo de $1{,}22 \text{ Nm}^3\text{/h}$, haciendo un total de:

- $27{,}1 \text{ Nm}^3\text{/h} + 1{,}22 \text{ Nm}^3\text{/h} =$ **28,4 Nm^3/h** totales de hidrógeno a producir.

4.3 Depósito pulmón

El tamaño del depósito pulmón varía en función de las horas de autonomía que se quiera proporcionar de suministro. Se requiere una producción de hidrógeno total de 28,4 Nm^3/h, de manera que, con los datos de la tabla 4.2:

Litros deposito= (m^3/h) * p H_2 * (1/Pm) * (litros H_2/mol) * 1000 l/m^3 * (horas autonomía + 1)

4.2. Datos del hidrógeno para dimensionamiento

p H_2 (kg/m^3) =	0,0898
g/mol (H_2) =	2
m^3/ h =	28,4

Se realiza una tabla en la cual en función de la presión a la que se encuentre el depósito, el volumen ocupado por el hidrógeno en él varia, de manera que a partir de la fórmula:

$$V/n = (Z*R*T) / P$$

siendo:

- T (K) = 288
- R(atm*litro/mol*K) = 0,082
- Z (factor compresibilidad) = 1,2147

se obtiene la tabla 4.3 del volumen/mol en función de la presión del hidrógeno:

Tabla 4.3. Relación presión H_2 con el volumen que ocupa

Presión H2 (bar)	Volumen (litro/mol)
3	9,37
3,5	8,04
4	7,03
4,5	6,25
5	5,62
8	3,52
10	2,81

Elegimos el valor de 4 bares debido que es la presión de del electrolizador (ver apartado "4.4. Electrolizador") y con este dato, se calcula la tabla 4.4:

Tabla 4.4. Horas de autonomía en función de la capacidad del depósito

Presión = 4 bares	
horas autonomía	litros depósito
0,25	10.496
0,5	12.595
1	16.793
2	25.190
3	33.586
4	41.983
5	50.379

La autonomía fijada con la empresa es de 0,5 horas, de manera que el tamaño del depósito deberá tener un volumen de mínimo de 12.595 litros de capacidad.

Se mantuvo contacto con una empresa para conocer los tamaños nominales de los depósitos que fabrican de manera que se obtiene un abaratamiento de costes con respecto al requerimiento de la construcción de un depósito por encargo. El proveedor no puede realizar oferta formal al no disponer de datos definitivos y el coste es una estimación. Los datos facilitados por la empresa al demandar un depósito de un volumen mínimo de 12.595 litros fueron:

Capacidad: 13.500 litros.....Precio Neto Orientativo 11.200€

Conociendo la capacidad del depósito se puede calcular de manera inversa las horas de autonomía que proporcionará:

13.500 litros → 0,6078 horas → **36 minutos de autonomía**

4.4 Electrolizador

Una vez conocida la producción de hidrógeno necesaria para abastecer la demanda, se realiza la elección del electrolizador.

Se han establecido contacto con diversas empresas fabricantes de electrolizadores industriales con el fin de recibir ofertas de equipos que cubran la demanda. De las ofertas recibidas se han seleccionado tres de ellas (Anexo I) para realizar una comparación de las mismas y determinar cuál es la más adecuada para las condiciones del proceso.

Dentro de las características de los electrolizadores, se encuentra si son para producción en el interior (Indoor) o para producción en el exterior (outdoor). Como consecuencia de que se desconoce cuál de estas dos opciones la empresa podría adoptar, se va a realizar el estudio para dos casos:

- **Caso 1: Producción interior**

- **Caso 2: Producción exterior**

El hidrógeno tiene una serie de características que hacen posible la existencia de riesgos tales como la explosión o combustión entre otros. Debido a esto los fabricantes de los equipos, en ambos casos (1 y 2), deben cumplir la normativa ATEX.

Todos los aparatos eléctricos y no eléctricos utilizados en zonas con peligro de explosión (debido al hidrógeno en este caso), están sujetos desde el 1 de julio de 2003 a la directiva ATEX 95 o 94/9/CE.

- **Caso 1**

En la tabla 4.5 se muestran los equipos necesarios incluidos en cada una de las 3 ofertas que son necesarios para obtener las condiciones requeridas:

Tabla 4.5. Equipos caso 1

	Empresas y Nº asignado		
	Hydrogenics (Nº1)	Idroenergy (Nº2)	Piel (Nº3)
Electrolizador	Sí	Sí	Sí
Pureza H_2 suficiente	Sí	No	No
Sistema de purificación	-	Sí	Si
Sistema de tratamiento de agua	Sí	Sí	No
Precio total para misma producción	209.000 €	139.500 €	64.400 €

Se puede apreciar que la empresa nº 3 tiene un precio menor que las otras dos debido a que no incluye los equipos necesarios para producir la calidad de producto necesaria, en este caso un sistema de tratamiento de agua. Por este motivo la oferta de la empresa nº 3 no es comparable a las otras y dado que no tiene todo lo que se necesita queda descartada para su elección.

Entre las dos opciones restantes, la nº 1 requiere una mayor inversión que la nº 2, esto es debido, tal y como se aprecia en las ofertas (Anexo I), ofrece algunas opciones extra, pero para la función que se requiere en este caso, la nº 2 cubre las necesidades requeridas; ofrece un electrolizador con la producción que se ha estipulado, incluye un sistema de tratamiento de hidrógeno y un sistema de tratamiento de agua previo al electrolizador para que este pueda trabajar correctamente.

Por todo lo anteriormente citado, para el caso 1, se ha decidido trabajar con la oferta de la empresa nº 2, **Idroenergy**.

Como se ha mencionado en el apartado “2.2.2 Depósito pulmón “, se ha optado por el uso de un depósito pulmón para trabajar en continuo y reducir la capacidad de producción de hidrógeno del electrolizador.

Uno de los factores que influyen considerablemente en el precio del electrolizador es su capacidad de producción, Nm^3/h, de manera que al trabajar con un depósito pulmón capaz de almacenar la producción necesaria, se reduce el coste del equipo de producción de hidrógeno y como se ve a continuación en la tabla 4.6 una reducción en la inversión inicial para una misma cantidad de producción:

Tabla 4.6. Electrolizadores de la empresa Idroenergy

Opción	electrolizador	Producción	Coste	Depósito	Inversión inicial
A	19.0	10 Nm^3/h	139.550 €	Sí	150.750 €
B	33.0	18 Nm^3/h	199.800 €	No	199.800 €

En la oferta del electrolizador de la empresa Idroenergy de la cual se han tomado los datos (Anexo I), el caudal de producción de la opción B es insuficiente sin el uso de un depósito pulmón para la demanda requerida, de manera que, sería necesario un equipo de producción mayor que supondría todavía, una mayor inversión inicial para una misma producción.

Debido a esto, se ha decidido elegir un electrolizador con una capacidad de producción menor, de menor precio, compensando la producción con el depósito pulmón y en concreto la opción A de la oferta realizada por la empresa Idroenergy. En la figura 4.1 se muestra una imagen exterior del electrolizador.

Figura 4.1 Imagen del electrolizador Idroenergy

- **Caso 2**

Para este caso, solo una de las tres ofertas (nº 1) incluye la opción de un sistema de producción de hidrógeno en el exterior. En este caso, el coste de los equipos es más elevado debido a que las condiciones que deben soportar son más adversas por lo que tienen medidas de seguridad adicionales. La oferta que se ha utilizado para este caso es la oferta de la empresa nº 1, **Hydrogenics**.

Las instalaciones de este tipo en exterior suelen ser ir en contenedores, tal y como se aprecia en la imagen 4.2.

Figura 4.1 Imagen de contenedor de producción de hidrógeno

A continuación, en la tabla 4.7, se muestra la ficha técnica del hidrógeno (Fuente: Empresa gasista española):

Tabla 4.7. Ficha técnica hidrógeno

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA			
Nombre	Hidrógeno		
Fórmula Química	H_2		
Clasificación	Sustancia.		
Nº CAS	01333-74-0		
Nº CEE	25-605-7		
Nº ONU	1049		
Gas de Soldadura (ISO 14075)	No aplicable		
Símbolos de riesgo	Peligro (inflamable); Atención (gas a presión)		
Identificación (EN-1089-3)	Botella con ojiva de color roja (RAL 3000)		
Etiqueta (CE Nº 1272/2008)	Nº EP-107		
Ficha Datos de Seguridad (FDS)	Nº FDS-107		
2. CARACTERÍSTICAS			
Peso molécula	2,0 g/mol		
Punto triple	Temperatura	-259,2ºC	
	Presión	72 mbar	
	Calor latente	58,2 KJ/Kg	
Punto de ebullición (a 1.013 mbar)	Temperatura	-252,8ºC	
	Calor latente	454,3 KJ/kg	
Punto crítico	Temperatura	-240ºC	
	Presión	13,0 bar	
	Densidad	0,0301 Kg/litro	
Densidad del gas a 1 bar y 15 ºC	0,08409 Kg/m3		
Densidad del gas a 1 bar y 0 ºC	0,0899 kg/m3		
Densidad relativa del gas (aire=1)	0,07		
Presión de vapor a 20ºC	No aplicable		
Solubilidad en agua	1,6 mg/l		
Apariencia y color	Gas incoloro		
Olor	Sin olor		
Temperatura autoinflamacion (en aire)	560 ºC		
Rango de inflamabilidad (% vol. en aire)	4% - 75,6%		
Otros datos	Gas inflamable		
3. ESPECIFICACIONES DE CALIDAD			
Calidad		Hidrógeno Industrial	Hidrógeno industrial seco (4.5)
Pureza, % vol.	H_2	99,9	99,995
Impurezas en garantía, ppm/v	H_2O	40	10
	O_2	50	10
	N_2	500	30

4.5 Compresor

Para la elección del compresor, es necesario conocer las condiciones de entrada del gas, que son requeridas por el fabricante del compresor para poder realizar su dimensionamiento, y las condiciones a las que se necesita el gas a la salida, en este caso, se conoce que se requiere comprimir el hidrógeno a 300 bares.

La presión de entrada al compresor es la presión a la cual el hidrógeno es almacenado en el depósito pulmón, presión que viene dada por el electrolizador escogido. En este caso 4 bares, tal y como se representa en la figura 4.2:

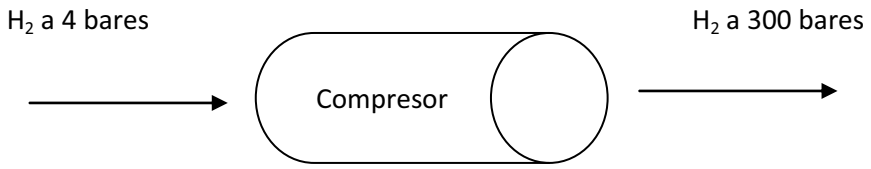


Figura 4.2

Se han establecido contactos con diversas empresas dedicadas a la distribución de compresores, como Bauer, Tecnosa y Ariema con el objetivo de recibir ofertas de un compresor que sea capaz de satisfacer las condiciones. La única oferta que cubre las necesidades del proyecto ha sido la oferta de **Bauer**. Además, se ha confiado en esta empresa debido a que se conoce que ha proporcionado compresores para proyectos similares de producción de hidrógeno como es el ejemplo del parque eólico de Sotavento (Galicia) por parte de la empresa Carburos Metálicos. El compresor de la empresa Bauer puede utilizarse tanto para interior como exterior.

La oferta íntegra se encuentra en los anejos (Anexo I), y en la tabla 4.8 se muestran las principales propiedades del compresor, así como el precio ofertado por parte de la empresa Bauer. En la figura 4.2 se muestra una fotografía real del compresor.

Figura 4.2 Fotografía del compresor

Tabla 4.8. Datos compresor

DATOS COMPRESOR BAUER		
Modelo		HTA 120 – 5,5 – 5
Medio		Gas hidrógeno
Presión de aspiración	Mínima	300 mbar
	Máxima	5 bares
Presión nominal		330 bares
Presión de trabajo		300 bares ajustables
Caudal	Mínimo	7,5 Nm3/h
	Máximo	30,1 Nm3/h
Revoluciones		1340 /min
Etapas de compresión		3
Potencia absorbida con presión nominal		5,2 kW con 5 bares de presión de aspiración
Precio		**95.236,83 €**

4.6 Regulador de presión

Tal y como se ha comentado anteriormente, una de los usos del hidrógeno producido es su introducción en un módulo de purificación de argón. Este módulo presenta unas condiciones de presión del hidrógeno de entrada que deben alcanzarse (3 bares).

La presión que llega a la línea es la que se alcanza en el depósito pulmón. Esta presión viene determinada por la corriente de hidrógeno procedente del electrolizador. En el apartado "4.4 Electrolizador" se hace constar que la presión de salida del electrolizador es de 4 bares y por tanto, este es el valor de la presión de entrada en el regulador de presión. El esquema se puede ver en la figura 4.3.

La posición óptima para colocar el regulador de presión es justo a la entrada del módulo de purificación, de manera que se evitan posibles pérdidas de carga y no existan variaciones de presión entre el regulador y el módulo.

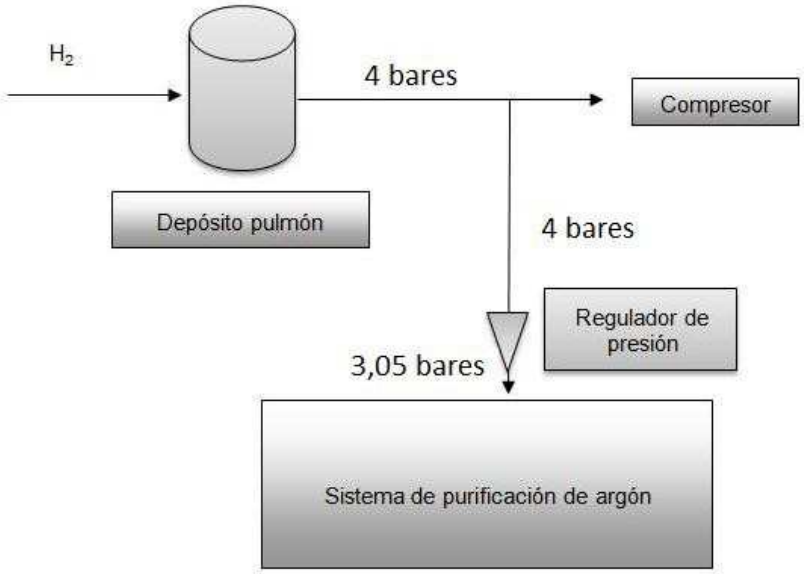


Figura 4.3

Para seleccionar el regulador adecuado se han consultado varios catálogos de empresas proveedoras con el fin de encontrar el regulador más adecuado para nuestras condiciones, dado que, aunque varios modelos proporcionen las condiciones necesarias, estos están sobredimensionados, mayor rango de regulación en la presión de salida y mayor rango de presión de entrada, de manera que el coste es mayor.

Dentro del catálogo de la empresa GCE (Gas Control Equipment) (Anexo II) se ha seleccionado el modelo LMD 510-01/-03/-04/-05 (Figura 4.4), que presenta las características reflejadas en la tabla 4.9, seleccionando este modelo como el más adecuado.

Tabla 4.9. Características regulador de presión

Modelo	LMD 510-01/-03/-04/-05
Área de aplicación	Regulación en línea
Tipo de reducción de presión	Suministro en vacío
Niveles de presión (Simple/doble)	Simple
Material	Latón o acero inoxidable
Presión máxima de entrada	12 bares /175 psi
Valores regulables presión de salida	0,2 - 3 bares / 3 -45 psi

Figura 4.8 Imagen de regulador

Tras seleccionar el regulador exacto, se debe asegurar de que el material de este es compatible con el hidrógeno. De un segundo catálogo de la empresa Linde, se ha extraído una tabla (tabla 4.10) de compatibilidad de materiales y gases donde se puede apreciar que existe compatibilidad entre el material del regulador (latón o acero inoxidable) y el hidrógeno.

Tabla 4.10. Compatibilidad materiales y gases

Nombre gas	Fórmula química	T	F	C	Aluminio	Cobre	Latón	Acero al carbono	Acero Inoxidable	Monel
Acetileno	C_2H_2		F		A	N	D1	A	A	A
Aire	---				A	A	A	A	A	A
Amoniaco (R717)	NH_3	T	F		A	N	N	A	A	A
Argón	Ar				A	A	A	A	A	A
Bromuro de hidrógeno	HBr	T		C	N	N	D	D	A	A
Hidrógeno	H_2		F		A	A	A	A	A	A
Oxido nítrico	NO	T			D	N	N	D	A	A

* T=Tóxico, F=Inflamable, C=corrosivo

* A=Adecuado, D=depende de condiciones, N= No adecuado, D1= Si Cu < 70%

Una vez se sabe que el regulador de presión es compatible, se ha contactado con la empresa para conocer el precio que este tiene, que es **369,00€.**

4.7 Sistema de tuberías

En este apartado del proyecto se van a elegir el tipo de tubería necesaria en la producción de hidrógeno, para garantizar el abastecimiento en todos los equipos, y para cumplir todas las normas y condiciones que requiere dicho proceso.

Dentro del sistema de tuberías se van a distinguir dos zonas:

- Zona 1 (zona a baja presión): Sistema de tuberías desde el electrolizador hasta el compresor, incluyendo el tramo que llega hasta el módulo de purificación de argón. En esta zona existen dos tramos distintos, el que va al compresor y que va al módulo de purificación de argón.

- Zona 2 (zona a baja presión): Sistema de tubería después del compresor que llega al rack de llenado.

Se deben distinguir dos zonas de tuberías debido a que al trabajar en diferentes condiciones de presión, se van a necesitar dos tipos de tuberías diferentes. Para cada zona se va a justificar el diámetro y el espesor (SCH) de la tubería. En la figura 4.9 se representa un esquema de las tuberías.

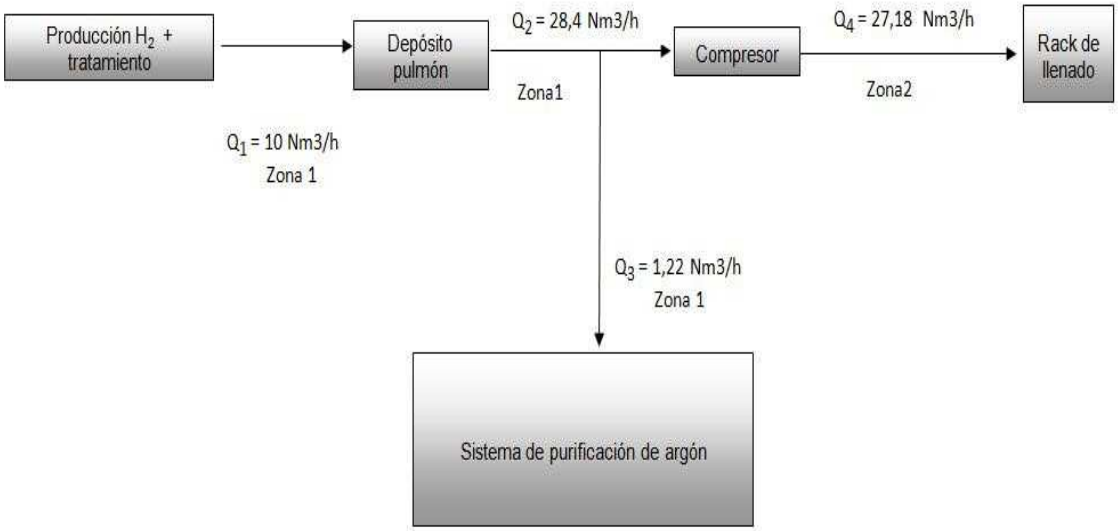


Figura 4.9 Distribución de tuberías

El material de la tubería va a ser el mismo para las dos zonas. En la tabla 4.9 citada anteriormente, se puede ver que el hidrógeno no tiene problemas de compatibilidad con los materiales comúnmente usados. Se ha decidido que todas las tuberías estarán fabricadas con **acero inoxidable** dado que así se evitan posibles problemas de corrosión, es un material que presenta resistencia a presiones elevadas y es el material que habitualmente se utiliza en la industria de gases, más concretamente se utiliza el tipo **316**.

Los diámetros de las tuberías están normalizados, por tanto, una vez calculado el diámetro teórico que requiere una tubería ,se escogerá aquel diámetro normalizado más cercano al teórico ,siempre en modo de exceso, es decir , nunca se escogerá un diámetro menor al teórico; con esto se obtiene un abaratamiento de costes con respecto a construir las tuberías por encargo.

La velocidad de circulación de un gas por una tubería debe estar comprendida entre 20 y 30 m/s, de manera que conociendo el caudal y la velocidad del fluido se puede calcular el diámetro teórico. Se va a tomar un valor promedio de velocidad del fluido de **25 m/s**.

Sabiendo que:

$$\text{Caudal} = \text{velocidad} \times \text{Área transversal}$$

$$\text{Área transversal} = (\pi/4) \times \text{Diámetro interno}^2$$

$$D_{interior} = D_{exterior} - 2\times(\text{espesor})$$

Se calcula el diámetro interno teórico y posteriormente se consulta en el catálogo de la empresa Fortinox S.A (Anexo II), cual es el diámetro que se va a seleccionar.

4.7.1 Zona de tuberías a baja presión

En este tramo hay 3 caudales diferentes, a partir de los cuales se calculan los 3 diámetros exteriores teóricos.

- Q_1 = 10 Nm^3/h. Es el producido por el electrolizador
- Q_2 = 28,4 Nm^3/h. Es el caudal necesario para la producción procedente del depósito pulmón.
- Q_3 = 1,22 m^3/h. Es el caudal que requiere el módulo de purificación de argón.
- Q_4 = 27,18 Nm^3/h. Es el caudal entre la te (bifurcación) hasta el compresor.

Por consiguiente los diámetros interiores teóricos son:

- $D_{1\ interior}$ = 11,89 → 0,47”
- $D_{2\ interior}$ = 20 mm → 0,79”
- $D_{3\ interior}$ = 4,15 mm → 0,16”
- $D_{4\ interior}$ = 19,61 mm → 0,77”

Para conocer el espesor que debe tener la tubería en función de la presión se trabaja con la tabla “Tabla de presión de trabajo admisible en Kg/cm^2” de la empresa Fortinox S.A que se encuentra en la página 13 del anexo II de la cual se ha extraído el fragmento representado en la tabla 4.11 realizando el cambio de unidades de kg/cm^2 a bares ($1kg/cm^2$ = 0,98 bares).

Tabla 4.11. Presión admisible en bares

Diámetro nominal del caño	Sch	Espesor de pared en mm	Temperaturas de trabajo que no excedan de		
			29 -38 ºC 20 -100 ºF	93 ºC 200 ºF	204 ºC 400 ºF
1/2”	5	1,65	158	140	115
	10	2,1	204	181	148
	40	2,8	322	286	234
	80	3,75	450	400	328
3/4”	5	1,65	124	110	89
	10	2,1	160	143	116
	40	2,9	262	234	191
	80	3,9	370	328	270
1”	5	1,65	98	87	71
	10	2,1	170	150	122
	40	3,4	246	218	178
	80	4,5	340	302	248

De acuerdo a la tabla 4.11, al trabajar a 4 bares y a una temperatura de 15 ºC para la zona de baja presión se van a utilizar tuberías de **Sch 5** para los 3 caudales que se dan en esta zona.

Sabiendo el diámetro teórico y el material con el que está fabricada la tubería, se mira en la tabla 4.11 datos de tuberías normalizadas y se escoge aquella más cercana, pero con un valor superior al teórico. El resultado se muestra en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Datos de tuberías escogidas zona baja presión

Caudal	Diámetro teórico (mm)	Diámetro teórico (pulgadas)	Diámetro nominal (pulgadas)	Espesor (mm)	Área transversal (mm^2)
Q_1 = 10 Nm^3/h	11,89	0,47	1/2"	1,65	111
Q_2 = 28,4 Nm^3/h	20	0,79	1"	1,65	314,16
Q_3 = 1,22 Nm^3/h	4,15	0,16	1/2"	1,65	13,52
Q_4 = 27,18 Nm^3/h	19,61	0,77	1"	1,65	302

4.7.2 Zona de tuberías a alta presión

De acuerdo a la tabla 4.10, al trabajar a 300 bares y a una temperatura de 15 ºC para la zona de alta presión se van a utilizar tuberías de **Sch 80**. Aunque la presión nominal de trabajo sean 300 bares, el compresor llega a trabajar a presiones de hasta 330 bares debido a la pérdida ocasional de presión que se produce en el rack de llenado.

Conociendo el caudal en la zona de alta presión, Q_4 = 27,18 m3/h, se aplican las fórmulas señaladas anteriormente y en la tabla 4.13 se muestra el resultado.

- $D_{4\ interior}$ = 19,61 mm → 0,77”

Tabla 4.13. Datos de tubería escogidas zona alta presión

Caudal	Diámetro teórico (mm)	Diámetro teórico (pulgadas)	Diámetro nominal (pulgadas)	Espesor (mm)	Área transversal (mm^2)
Q_4 = 27,18 Nm_3/h	19,61	0,77	1"	1,65	302

4.7.3 Recopilación de datos de tuberías

A continuación, se describe brevemente, en la tabla 4.14 las tuberías escogidas para el proceso descrito en el presente proyecto. Tal y como se ha descrito, el material utilizado para todas ellas es acero inoxidable, del tipo 316. También se requiere una te de reducción del mismo material.

Tabla 4.14. Resumen tuberías

Tubería	Diámetro nominal (pulgadas)	Caudal (Nm^3/h)	Presión en la tubería (bares)	Sch
Electrolizador - Depósito	1/2"	10	4	5
Depósito - Te	1"	28,4	4	5
Te - MPA	1/2"	1,22	4	5
Te - Compresor	1"	27,18	4	5
Compresor - Rack de llenado	1"	27,18	300	80

En la figura 4.10 se muestra un esquema de la disposición de las tuberías.

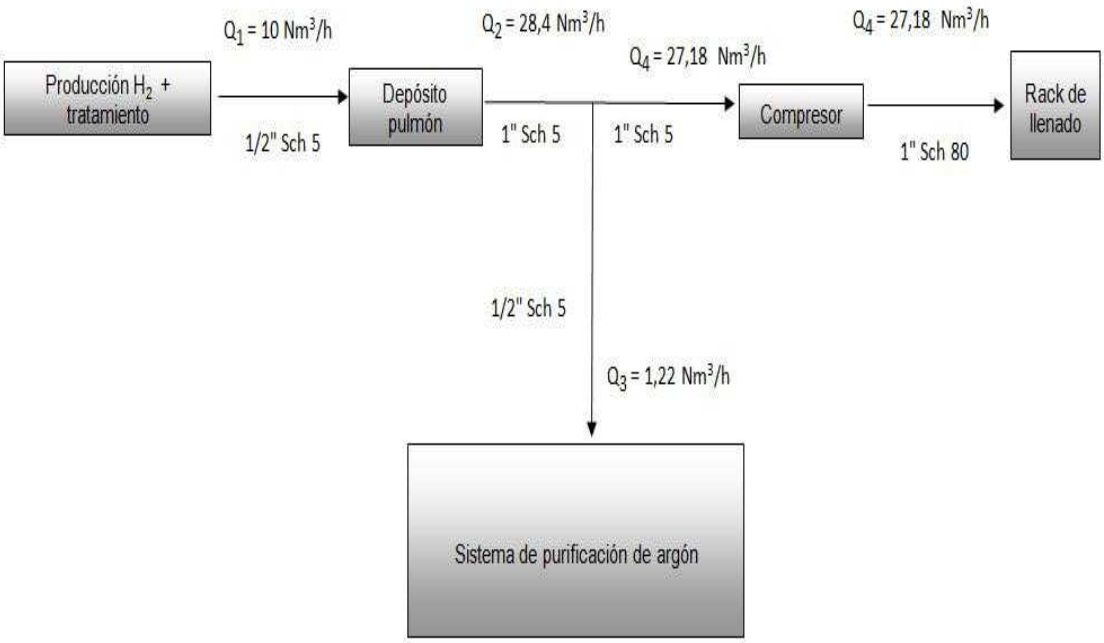


Figura 4.10 Distribución de tuberías 2

4.8 Costes

Debido a que la disposición exacta de los equipos no se conoce, se va a realizar una estimación de la distancia entre ellos para poder realizar un cálculo aproximado del coste de las tuberías seleccionadas. Se va a suponer que los equipos se encuentran a una distancia máxima de 10 metros cada uno (caso desfavorable), a excepción del módulo de purificación de argón que se va a estimar se podría encontrar a 50 metros máximo de la te.

El precio de las tuberías de acero inoxidable 316, proporcionado por una empresa de distribución de material inoxidable, se muestra en la tabla 4.15. Las tuberías se distribuyen en barras de 6 metros.

Tabla 4.15. Precio tuberías

Tubería	Diámetro nominal (pulgadas)	Sch	Precio (€/metro)	Nº de barras	Metros de barra adquiridos	Coste Total (€)
Electrolizador - Depósito	1/2"	5	4,86	2	12	58,32
Depósito - Te	1"	5	7,61	2	12	91,32
Te - MPA	1/2"	5	4,86	9	54	262,44
Te - Compresor	1"	5	7,61	2	12	91,32
Compresor - Rack de llenado	1"	80	22,95	2	12	275,4
					Coste total =	778,80 €

Tabla 4.15

Una vez se conoce el coste de todos los equipos y del sistema de tuberías, se puede calcular la inversión inicial para, en el apartado 5, realizar un análisis de viabilidad económica. Debido a la posibilidad de la instalación de los equipos en interior y exterior, existen dos valores de inversión inicial. En las tablas 4.16 y 4.17 se muestra un resumen de los equipos, de su coste, y del coste total de la inversión para ambos casos.

Tabla 4.16. Resumen coste equipos caso 1

Caso 1	
Equipo	Coste
Electrolizador	150.750 €
Compresor	95.237 €
Depósito pulmón	11.200 €
Válvula de regulación	369 €
Tuberías	778,80 €
Coste inversión inicial =	**228.334,80 €**

Tabla 4.17. Resumen coste equipos caso 2

Caso 2	
Equipo	Coste
Electrolizador	209.000 €
Compresor	95.237 €
Depósito pulmón	11.200 €
Válvula de regulación	369 €
Tuberías	778,80 €
Coste inversión inicial =	**316.584,80 €**

5. Análisis de viabilidad económica

En este apartado se va a realizar el análisis de viabilidad económica del proyecto, para lo cual, debido a la falta de algunos datos económicos reales (recursos propios, préstamo, costes de explotación, ayudas económicas…etc.) se van a realizar algunas suposiciones con el objetivo de acercarse lo más posible a la realidad.

El análisis de viabilidad económica ha de demostrar que el proyecto es viable: que tiene posibilidades de éxito económico y es factible desde el punto de vista financiero [11].

5.1 Flujo de caja o Cash Flow

En finanzas y en economía se entiende por flujo de caja o flujo de fondos (en inglés cash flow) los flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período dado. El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado y, por lo tanto, constituye un indicador importante de la liquidez de una empresa.

Debido a que se han planteado dos casos, que suponen dos inversiones iniciales diferentes, se van a realizar los cálculos para ambos casos. El primer caso (caso 1), es en cual se va a llevar a cabo la instalación de los equipos en el interior de una nave, para el cual se ha escogido un electrolizador de la empresa Idroenergy, mientras que el segundo caso (caso 2), la inversión inicial hace referencia a la instalación de los equipos en el exterior, para lo que se ha escogido un electrolizador de la empresa Hydrogenics, que presenta un coste diferente.

5.1.1 Cálculo del cash flow

Para realizar el cálculo del cash flow, existe un esquema a seguir, que se muestra en la figura 5.1 [11].

+ Ingresos de explotación (o Ahorros obtenidos)
- Costes directos (costes de mantenimiento, etc.)
= BENEFICIO BRUTO
- Amortización
+ Subvenciones
= Beneficio antes de intereses e impuestos (BAIT)
- Intereses
= Beneficio antes de impuestos (BAT)
- Impuestos
= BENEFICIO NETO
+Amortizaciones
+Valor Residual *(último año, si no se ha amortizado la totalidad de la inversión)*
- Desembolso inversión
= CASH FLOW, FLUJOS DE CAJA O RENDIMIENTO NETO

El primer año (año 0) sería el desembolso de fondos propios y los siguientes años la devolución de las cuotas préstamo

Figura 5.1 Esquema de cálculo de cash flow

Para el caso a tratar se deben de fijar ciertos aspectos de dicho esquema:

- **Inversión inicial o Desembolso de inversión:** Hace referencia al coste total de los equipos necesarios para el desarrollo del producto y su instalación. Se va a suponer un coste de instalación y transporte de los equipos del 10% de su coste (IVA = 18%). En el apartado anterior "4.8. Costes" se detalla de donde viene el precio total de cada inversión.

  - Caso 1 (instalación interior) = 228.334,80 € sin IVA
  - Caso 2 (instalación exterior)= 316.584,80 € sin IVA

  - **Caso 1** con IVA y costes adicionales = **296.378,5 €**
  - **Caso 2** con IVA y costes adicionales = **410.932,76 €**

- **Ingresos de explotación:** Los ingresos de explotación serán el porcentaje de las botellas de hidrógeno que se destinen a ventas anualmente.

La empresa gasista ha facilitado los precios de los productos:

  - Hidrógeno 5.0 B-50l. 300 bares. 11,65m^3 : 153,08 €
  - Portes: 7 €/botella + ADR y medioambiente 1,5 €/botella = 8,5 €/botella

- **Vida útil de los equipos:** La vida útil de los equipos para instalaciones industriales se ha considerado de **25 años**.

- **Costes de directos:** Son los costes derivados del mantenimiento de los equipos, materias primas (en este caso energía necesaria para los equipos) y la mano de obra directa.

- **Inversión :** Para la realización del los cálculos se van a suponer los siguientes datos:

  - Recursos propios = **50%** de la inversión inicial
  - Préstamo = **50%** de la inversión inicial
  - Financiación del préstamo = **10 años**
  - Interés del préstamo = **7,00**%

Debido a la carencia de datos económicos reales, los datos de inversión son datos que dependen de la empresa, entidad bancaria, etc... y que dependiendo de la situación estos podrían variar [11].

- **Amortización de inmovilizado:** Se va a realizar una amortización lineal a lo largo de la vida útil, de manera que si la inversión inicial es de 296.378,5 €:
  296.378,5 €/25 = **11.855,14 € anuales** se amortizan**.**

- **Inflación anual (IPC):** Debido a la fluctuación que sufre, este dato nunca es constante, por lo que se va a tomar un valor medio de los últimos meses; 3,00% [12].

- **El Impuesto de Sociedades:** es un tributo perteneciente al sistema tributario español, de carácter periódico, proporcional, directo y personal. Grava la renta de las sociedades y demás entidades jurídicas. Está regulado por el Real Decreto Legislativo 4/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el Texto refundido de la Ley del Impuesto sobre Sociedades. Para la realización de los cálculos se va a tomar un valor del 30 % del beneficio antes de impuestos (BAT).

- **Subvención:** Debido a la actual situación económica, la obtención de una subvención parcial del proyecto por parte de alguna entidad pública o privada es una situación que se torna muy complicada. La realización del proyecto supone la generación de empleo por parte de la empresa, personal para el llenado de botellas, al ampliar los gases de suministro se necesitaran más transportistas, contratos temporales de obra, etc. Debido a esto, en vez de suponer una subvención sin necesidad de reembolsar posteriormente, se va a suponer que la empresa consigue una ayuda económica reembolsable a crédito 0, que supone el 30% del préstamo.

- Se van a realizar dos análisis, uno en el cual no existe ningún tipo de ayuda económica y otro, en el que existe la ayuda citada en el punto anterior de un 30% del préstamo por parte del gobierno de España o de un organismo europeo. De esta manera quedan cuatro casos para analizar:

  - **Caso 1:** Instalación interior sin ayuda.
  - **Caso 2:** Instalación exterior sin ayuda.
  - **Caso 3:** Instalación interior con ayuda.
  - **Caso 4:** Instalación exterior con ayuda.

5.1.1.1 Cálculo ingresos de explotación

Se ha consultado a la empresa gasista y se ha confirmado que los operarios de ésta, incluyendo días festivos, vacaciones, etc. trabajan un total de 219 días al año. A partir de esta dato se van a calcular las botellas de hidrógeno producidas anualmente sabiendo que, tal y como se ha explicado en el apartado “4.2 Producción total de hidrógeno”, en una jornada laboral se llenan un total de 28 botellas de hidrógeno. Se va a considerar una situación desfavorable en la cual existe una demanda del 65% de lo producido.

- 28 botellas/jornada × 219 jornadas/año = 6.132 botellas/año
- Portes: 6.132 botellas/año × 8,5 €/botella = 52.122 €/año
- Ingresos: 6.132 botellas/año × 0,65 × 153,08 €/botella = 610.146,26 €/año

- **Ingresos de explotación** = Ingresos – Portes = **558.024,26 €/año**

5.1.1.2 Cálculo de costes de explotación

- **Mano de obra:** Para el llenado de botellas de hidrógeno sólo es necesario un operario por turno, de manera que se necesitan dos operarios por jornada. Tras consultar a la empresa el sueldo medio de un operario (15.000 €/año), y necesitando dos operarios por jornada, el coste derivado de la mano de obra hace un total de **30.000 €/año**.

- **Mantenimiento:** Se van a estipular unos costes de mantenimiento en relación al coste total de la inversión de los equipos. El coste atribuido al mantenimiento anual será igual al 10% de la inversión inicial antes de aplicar el IVA. De esta manera:

  - Coste mantenimiento **instalación interior** = **22.883,5 €/año**
  - Coste mantenimiento **instalación exterior** = **31.658,5 €/año**

- **Gasto energético derivado:** Para calcular el gasto energético derivado, se deben calcular las horas que tanto el compresor como el electrolizador van a funcionar anualmente. Al conocer la potencia nominal de ambos equipos el coste del kWh facilitado por la empresa gasista, se conoce el gasto energético derivado del uso de los equipos.

  - 219 días/año × 14 horas/día = 2.066 horas/año

  - P_n compresor = 5,5 kW × 2.066 horas/año = 11.363 kWh/año
  - P_n electrolizador interior = 5 kW x 2066 horas/año = 10.330 kWh/año
  - P_n electrolizador exterior = 5,2 KW × 2.066 horas/año = 10.743,2 kWh/año

  - Coste kWh = 0,095497 €/kWh
    → Gasto energético derivado (elect. interior) = **2.071,60 €/año**
    → Gasto energético derivado (elect. exterior) = **2.111,07 €/año**

- **Coste de explotación total:** Se muestran en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Resumen costes de explotación

	Mano de obra	Mantenimiento	Gasto energético	Costes de explotación
Instalación interior	30.000 €	28.884 €	2.072 €	**60.955 €**
Instalación exterior	30.000 €	31.659 €	2.111 €	**63.770 €**

De esta forma ya se tienen todos los datos necesarios, que se muestran en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Datos para cálculo del cash flow

Datos	Instalación interior	Instalación exterior
Inversión Inicial	296.379 €	410.933 €
Recursos propios	148.189 €	205.466 €
Préstamo	148.189 €	205.466 €
Ingresos de explotación	558.024 €	558.024 €
Costes de explotación	60.955 €	63.770 €
Vida útil	25 años	25 años
Financiación del préstamo	10 años	10 años
Interés del préstamo	7,00 %	7, 00 %
Amortización	Lineal	Lineal
Interés de mercado (VAN)	3,00 %	3,00 %
Inflación anual (IPC)	3,00 %	3,00 %
Impuesto de sociedades	30 %	30 %

Tras acordar el valor de todos los factores, mediante el programa Microsoft Excel, se ha realizado una tabla a través de la cual se calcula el flujo de caja o cash flow. En las tablas 5.3 y 5.4 se muestra el cálculo del cash flow para los 4 primeros años para el caso 1 y para el caso 2 respectivamente.

Tabla 5.3. Cálculo cash flow caso 1

Cálculo Cash Flow para el caso 1 (interior sin ayuda)					
AÑO	0	1	2	3	4
+ Ingresos		558.024 €	574.765 €	592.008 €	609.768 €
- Costes explotación		60.955 €	62.784 €	64.667 €	66.607 €
= BENEFICIO BRUTO		497.069 €	511.981 €	527.341 €	543.161 €
- Amortización		11.855 €	11.855 €	11.855 €	11.855 €
= B.A.I.T.		485.214 €	500.126 €	515.486 €	531.306 €
- Interés préstamo		10.373 €	9.336 €	8.299 €	7.261 €
= B.A.T.		474.841 €	490.790 €	507.187 €	524.045 €
- Impuesto Sociedades		142.452 €	147.237 €	152.156 €	157.213 €
= BENEFICIO NETO		332.389 €	343.553 €	355.031 €	366.831 €
+ Amortización		11.855 €	11.855 €	11.855 €	11.855 €
- Desembolso inversión	296.379 €	14.819 €	14.819 €	14.819 €	14.819 €
= Cash Flows	-296.379 €	329.425 €	340.589 €	352.067 €	363.867 €
Pendiente de amortizar	296.379	284.523	272.668	260.813	248.958
Pendiente de préstamo	148.189 €	133.370 €	118.551 €	103.732 €	88.914 €

Tabla 5.4. Cálculo cash flow caso 2

Cálculo Cash Flow para el caso 2 (exterior sin ayuda)					
AÑO	0	1	2	3	4
+ Ingresos		558.024 €	574.765 €	592.008 €	609.768 €
- Costes explotación		63.770 €	65.683 €	67.654 €	69.683 €
= BENEFICIO BRUTO		494.254 €	509.082 €	524.354 €	540.085 €
- Amortización		16.437 €	16.437 €	16.437 €	16.437 €
= B.A.I.T.		477.817 €	492.645 €	507.917 €	523.648 €
- Interés préstamo		14.383 €	12.944 €	11.506 €	10.068 €
= B.A.T.		463.434 €	479.700 €	496.411 €	513.580 €
- Impuesto Sociedades		139.030 €	143.910 €	148.923 €	154.074 €
= BENEFICIO NETO		324.404 €	335.790 €	347.488 €	359.506 €
+ Amortización		16.437 €	16.437 €	16.437 €	16.437 €
- Desembolso inversión	410.933 €	20.547 €	20.547 €	20.547 €	20.547 €
= Cash Flows	-410.933 €	320.295 €	331.681 €	343.378 €	355.397 €
Pendiente de amortizar	410.933 €	394.495 €	378.058 €	361.621 €	345.184 €
Pendiente de préstamo	205.466 €	184.920 €	164.373 €	143.826 €	123.280 €

Para el año 2, tanto los ingresos como los costes de explotación, se calculan a partir de lo calculados para el año 1 y teniendo en cuenta la inflación anual, lo mismo pasa para el año 3, a partir del valor del año 2 y así sucesivamente, de manera que :

Ingresos año 2 = (Ingresos año 1) × (1 + 3,00%)

Ingresos año 3 = (Ingresos año 2) × (1 + 3,00%)

….

Ingresos año n = (Ingresos año n-1) × (1 + 3,00%)

Una vez se calcula el flujo de caja o cash flow, este se utiliza para realizar la viabilidad económica del proyecto dado que esta herramienta es la base de cálculo de criterios de decisión como el VAN o el TIR, que se reflejan en el apartado "5.2. Criterios de evaluación".

La única diferencia que existe para los cálculos entre los casos 1 y 2 y los casos 3 y 4, es que en estos dos últimos se reduce el coste anual a descontar del interés del préstamo, debido a, aunque el tanto por ciento del interés sigue siendo el mismo, la cantidad a la cual se le aplica este interés es menor debido a la ayuda económica proporcionada.

5.2 Criterios de evaluación

A la hora de realizar el análisis de la viabilidad económica de un proyecto, existen dos tipos de criterios: criterios de decisión parciales y criterios de decisión globales [13].

Los criterios de decisión **parciales** se denominan de este modo debido a que no contemplan toda la información que contemplan los proyectos de inversión. Se caracterizan por su sencillez, no contemplan el momento en que vencen los diferentes capitales y, por tanto, no tienen en cuenta la lógica financiera de valoración. Entre estos criterios destacan:

- Tanto medio de rentabilidad (TMR)
- Plazo de recuperación (Payback)

Los criterios de decisión **globales** se caracterizan por tener en cuenta todos los rendimientos netos del proyecto, así como el momento en que se obtienen, utilizando para su homogeneización la actualización mediante una ley financiera de capitalización-descuento compuesto. Están formados por:

- Valor actual neto (VAN)
- Tasa interna de retorno (TIR)

Por las características de los criterios se ha decidido que se van a utilizar los criterios de decisión global.

5.2.1 Criterios de decisión utilizados

- **VAN (Valor actual neto)**

El valor actual neto se define como el valor actualizado de todos los flujos de caja que la inversión promete generar a lo largo de su vida, es decir, la diferencia entre el valor actualizado de los cobros y los pagos derivados de la inversión.

Para que una inversión sea rentable, en VAN debe ser positivo, es decir, los flujos que genera a lo largo de su vida son mayores que la inversión inicial. A mayor VAN, mejor es la inversión. La ecuación que se utiliza para calcularlo es la ecuación 5.1 [14].

$$\mathbf{VAN} = -C_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

Ecuación 5.1

- C_o =Inversión inicial
- C_n = flujos de caja
- i = interés
- n = años de vida útil

- **TIR (Tasa de rendimiento interno)**

La tasa de retorno o tasa de rendimiento interno de una inversión es valor de interés que hace el VAN nulo. Expresa la rentabilidad porcentual por el capital invertido. Coincide con la máxima rentabilidad que podría dar el proyecto y se calcula mediante la ecuación 5.2. La figura 5.2 es una representación gráfica de la definición de la tasa de rendimiento interno [14].

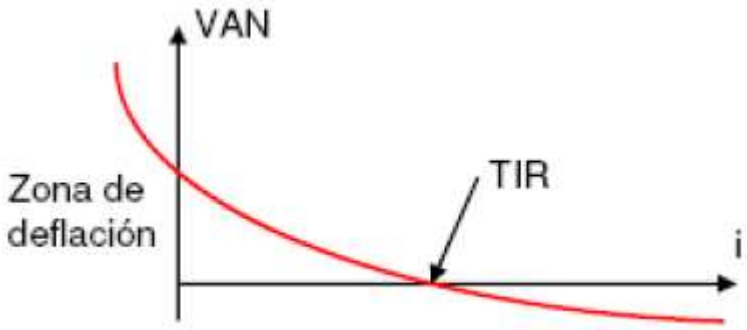


Figura 5.2

$$VAN = -S_0 + \sum_{i=1}^{n} \frac{C_n}{(1 + \mathbf{TIR})^n}$$

Ecuación 5.2

Una vez conocidos los criterios de decisión a utilizar, mediante el programa Microsoft Excel se realiza su cálculo para los cuatro casos diferentes, expresándose los resultados en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Resultados de criterios de decisión

Caso	Descripción	VAN	TIR
1	Instalación interior sin ayuda	8.048.920 €	115%
2	Instalación exterior sin ayuda	7.847.866 €	81%
3	Instalación interior con ayuda	8.052.347 €	117%
4	Instalación exterior sin ayuda	7.931.648 €	84%

5.3 Conclusión

Al analizar los datos de la tabla 5.5 se llega a la conclusión que es un proyecto de rentabilidad muy elevada. En ambos casos, los asociados a una ayuda económica gubernamental o europea son más rentables presentando mayores VAN y TIR. Mientras que a la hora de comparar la producción en interior o exterior, debido a una mayor inversión inicial para una misma producción, es más rentable la instalación en interior.

De los cuatro casos planteados el más rentable es el caso número 3, donde se realiza la instalación en interior y se obtiene una ayuda económica.

Se debe aclarar que el análisis económico realizado es una aproximación de un análisis económico completo debido a la complejidad del mismo y a la incapacidad de acceder datos económicos sobre la empresa gasista.

A partir de los datos facilitados a la empresa, será esta la encargada de decidir si se lleva a cabo o no el proyecto.

6. Referencias

[1] :< www.lacomunidadpetrolera.com > [Consulta: 12/01/2011]

[2]: < www.energía-nuclear.net > [Consulta: 14/02/2010]

[3]: < https://demanda.ree.es/demanda.html > [Consulta: 31/10/2011]

[4]: Zabalza Bribián, I. Valero Capilla,A. Scarpellini,S.(2005). *Hidrógeno y Pilas de Combustible: Estado de la tecología y posibilidades en Aragón.*1ª ed. Litocia,S.L. Huesca

[5]: Linares Hurtado, J. Yolanda Moratilla, B. (2007). *El hidrógeno y la energía*. Editan: Asociación Nacional de Ingenieros y Universidad Pontificia Comillas. Madrid.

[6]: Fundación San Valero y socios del proyecto europeo H2 training. (2008). *Manual europeo para la formación de formadores en tecnologías del hidrógeno*.

[7]: Vian A. (1999). *Introducción a la química industrial*. Ed Reverté, 2ª Ed. Barcelona.

[8]: < http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ar.htm > [Consulta: 03/08/2011]

[9]: < http://www.mavainsa.com/documentos/7_compresores.pdf > [Consulta: 06/06/2011]

[10]: Smith J. y Cols. (1989). Introducción *a La Termodinámica en Ingeniería Química.*

[11]: Curso Universa Sistemas de poligeneración, modulo 4. Viabilidad económica, Dra. Natalia Dejo Oricain

[12]: < http://www.finanzas.com/economia/ipc/espana > [Consulta: 26/09/2011]

[13]: Apuntes postgrado Professional MBA CESTE (Escuela Internacional de Negocios), *Módulo1. Finanzas. Volumen 2.*

[14]: Gimeno, C. Ortas, E. Andréu, L. (2009). *Introducción al análisis financiero. Análisis de proyectos de inversión*. Copy Center Digital. Zaragoza.

Anexos

Índice

Anexo I…….Ofertas de equipos

Anexo I.1…..……Oferta electrolizador empresa Hydrogenics

Anexo I.2……..……..Oferta electrolizador empresa Idroenergy

Anexo I.3……..Oferta electrolizador empresa Piel

Anexo I.4……..Oferta compresor empresa Bauer

Anexo II…….……Catálogos

Anexo II.1……Catálogo equipos de regulación

Anexo II.2…….Catálogo productos acero inoxidable

Anexo I

Ofertas de Equipos

Anexo I.1

Oferta electrolizador empresa Hydrogenics

On-Site Hydrogen Generation Plant
HySTAT™-10 – Indoor/Outdoor Versions

Proposal: #08101-GME-A-01 (Revision 0)

To: Gasmedi

Attn: DiegoMontaña Claver (montana.d@gasindu.com)

By: Eng. Michel Archambault – Sales Manager

Date: December 29, 2008

HYDROGENICS

Hydrogenics Europe NV
Nijverheidsstraat 48-C, Oevel, B-2260, Belgium
Tel: Tel: +32 14 46 21 10

Hydrogenics Corporation
5985 McLaughlin Rd, Mississauga, Ontario, L5R 1B8, Canada
Tel: +1 905 361 3660

Date: December 29 2008
Subject: H2 filling - Spain
To: Gasmedi
Ref: 08101-GME-A-01

HYDROGENICS

1) DESCRIPTION OF THE SYSTEM

Hydrogenics is the world leading electrolysis company with over 1000 references worldwide. The HySTAT™ electrolyser is our core product and is a pressurised alkaline electrolyser available in 4 models for 4 levels of flows: 10, 15, 30 and 60 Nm^3/h. The technology is scaleable, which means that multiple models can be combined to achieve larger flows.

This offer is for our HySTAT™-10 electrolyser.

The HySTAT™-10 can be designed for INDOOR installation or OUTDOOR installation (fully containerized). The technical details are found in Annexe to this offer.

The electrolyser produces hydrogen on site and on demand the flow needed, which means that the production is adjusted automatically to meet your demand.

This technology is proven and most competitive for the flow you requested. The efficiency is high at 4.8 kWh/Nm^3 (or 5.2 kWh/Nm^3 if we include all options supplying, for example, cooling water in a closed-loop, demineralised water, etc).

But mostly, the HySTAT™ is very low in maintenance. This is due to the minumum amount of moving parts and low operating temperatures.

The electrolyser is built in compliance with CE standards and used by all major industrial gas suppliers.

Fig: The HySTAT™-10 with Control Panel and Power Rack (indoor Version)

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

2) PRICING

The technical description and spare and consumable parts lists can be found in Annexe.

HYSTAT-10
INDOOR VERSION

Description	Qty	Unit price	Total Price (in EURO)

HySTAT™-10 Electrolyser – Indoor Version
For production of:
- 4 to 10 Nm^3/h of hydrogen
- Pressure of 10 barg
- Quality of 99.998%
  o < 5 ppm O2
  o < 1.2 ppm H_2O (dew point -75°C)
Including:
- HySTAT™-10 Electrolyser
- Deoxo-Dryer (H2 purification system)
- Complete Description in Annexe 1
	1	189,000	189,000

OPTIONS

o **ATEX Enclosure on process and purifier** (to allow the installation of the process enclosure and hydrogen purifier in a non-classified area)	1	6,500	6,500
o **Dry Cooler** (to supply cooling water in a closed-loop to the electrolyte solution)	1	18,200	18,200
o **Chiller** (to supply cooling water in a closed-loop to the hydrogen and oxygen gases)	1	7,900	7,900
o **Water Treatment System** (to allow the use of drinking water as process water for electrolysis)	1	13,500	13,500

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

Date: December 29 2008
Subject: H2 filling - Spain
To: Gasmedi
Ref: 08101-GME-A-01

HYDROGENICS

HYSTAT-10
OUTDOOR VERSION

Description	Qty	Unit price	Total Price (in EURO)

HySTAT™-10 Electrolyser – Indoor Version
For production of:
- 4 to 10 Nm^3/h of hydrogen
- Pressure of 10 barg
- Quality of 99.998%
  o < 5 ppm O2
  o < 1.2 ppm H_2O (dew point -75°C)
Including:
- **HySTAT™-10 Electrolyser**
- **Hydrogen Purification System**
- **Outdoor Housing (20-ft)**
(the HySTAT™ and all the included equipment comes installed in a 20-ft container)
- **Dry Cooler**
(to supply cooling water in a closed-loop to the electrolyte solution)
- **Chiller**
(to supply cooling water in a closed-loop to the hydrogen and oxygen gases)
- **Water Treatment System**
(to allow the use of drinking water as process water for electrolysis)
- Complete Description in Annexe 2
	1	270,000	270,000

OTHER AVAILABLE OPTIONS

o Upgrade to HYSTAT™-15 for 15 Nm3/h output.	1	20,000	20,000
o Online Purity Measurement (O2 in H2 and Dew point)	1	13,150	13,150
o Automatic Restart	1	1,900	1,900
o Automatic Purge	1	5,700	5,700

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

PARTS & SERVICES

○ Startup & Training ○ 5 days on-site ○ Excluding travel time and expenses ○ The daily rate for a service engineer is 1000 EUR/day	5	1,000	5,000
○ Spare Parts Kit (list is Annexe 3)	1	9,450	9,450
○ Consumables Parts Kit (list in Annexe 4)	1	2,600	2,600

3) COMMERCIAL CONDITIONS

Payment Terms

- 50% Down payment upon reception of order.
- 40% Upon Ex Works readiness of shipment, as confirmed by Hydrogenics.
- 10% After startup & commissioning, or, 4 months after Ex works delivery, whatever occurs sooner.

Delivery period

- < 6 months, with the following remark:
- Delivery time will be confirmed at time of purchase order and from the date of receipt of all the following:
  - Signed contract, or written acceptance by Hydrogenics of the order.
  - Receipt of down payment

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

Terms and Conditions

- All prices are quoted in EURO and valid for ninety (90) days.
- The total contract price is for goods delivered Ex Works, Oevel Belgium (Incoterms 2000), excluding freight and insurance, unless stated otherwise.
- Prices shown do not include any applicable taxes, insurance, duty and brokerage fees. All applicable taxes will be charged extra at the rate ruling at the date of invoice.
- This is a non- binding offer, prices can be reviewed when the final specifications are known.
- All payments to be made through an irrevocable letter of credit.
- If a bank guarantee is requested, an extra fee of 1% of the value of the bank guarantee will be charged.
- Invoices are due net 30 days after date of invoice.
- The warranty period is 12 months after commissioning or 18 months after delivery, whichever occurs sooner.
- This proposal and the final "order confirmation" are subject to the "General Conditions of Sale and Delivery of Hydrogenics Europe N.V.". These "General Conditions of Sale and Delivery of Hydrogenics Europe N.V." can be delivered, in the English language, on request. The purchaser acknowledges and agrees that this document is a "budgetary proposal" until the purchase has signed an "order confirmation".

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

4) BATTERY LIMITS

Electrolyser: Indoor Version

The battery limits for the HySTAT™ electrolyser are the:

- Process Skid (or ATEX enclosure, if included in Scope)
- Deoxo-Dryer Skid (or ATEX enclosure, if included in Scope)
- Power Rack enclosures
- Control Panel enclosure

- Electrical Interconnections:
  - 5 meters between the process skid and the power racks.
  - 5 meters between the power racks and control panels.

- Mechanical Interconnections: Not included.

- Electric Power: Circuit breaker on the power rack

- H2 and O2 Gases: Connection on the HySTAT process skid (H_2 and O_2) and deoxo-dryer skid/enclosure (H_2).

- O2 and H2 Vents: Connections on the HySTAT process skid. Vent lines not supplied.

- Feed Water: When included, the feed water treatment system is shipped in a separate box. The interconnection to the HySTAT is not included in the scope of supply.

- Instrument Air: Connection on the HySTAT process skid.

- Condensate Drain: Connection on the HySTAT process skid (waterlock included).

- Cooling Water (2 cooling loops):

  - Chiller (gas cooling):
    - ⇨ The chiller is shipped in a separate box. The interconnection to the HySTAT is not included in the scope of supply.

  - Dry Cooler (electrolyte cooling):
    - ⇨ The dry cooler is shipped in a separate box. The interconnection to the HySTAT is not included in the scope of supply.

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

Electrolyser: Outdoor Version

The battery limit for the HySTAT™ electrolyser is the outdoor housing. There are metal plates on the outside walls of the outdoor housing which include the following connections:

- Hydrogen gas user
- Feed water inlet
- Instrument Air inlet
- Oxygen vent (Vent line not included)
- Hydrogen vent (Vent line not included)
- Condensate drainage connection
- Inert gas (nitrogen) inlet

- Electrical Interconnections: Included inside the container
- Mechanical interconnections: Included inside the container

- Electrical Power: Circuit breaker on the electrolysis side.

- Cooling Water (2 loops):

  - Dry Cooler (electrolyte cooling):

    ⇨ The dry cooler is used for electrolyte cooling and is shipped in a separate box.
    ⇨ The dry cooler is designed to be installed on the roof of the outdoor housing and the scope includes provisions on the roof of the container for its installation.
    ⇨ The piping and cabling to connect the container to the inside of the container is included, but mounting the dry cooler on the roof and making the connections on site is to be performed by the customer.

  - Chiller (gas cooling):

    ⇨ The chiller comes fully interconnected in the outdoor housing.

  - Water Treatment Plant:

    ⇨ The water treatment plant comes fully interconnected in the outdoor housing.

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

5) EXCLUSIONS

Unless specified otherwise in the proposal, the following items are not included in the scope of this proposal:

- Any civil work
- Any consumables except as stated herein
- All utilities needed for the start up and operation of the equipment. These utilities must be available in the required quality, quantity and form at the time commissioning and start up begins.
- Any material/equipment outside the battery limits
- Materials for building, lighting, ventilation and heating
- Equipment foundation
- Pipe and conduit supports
- Walkways and drains
- Anchor bolts
- On site testing or testing equipment beyond Hydrogenics standard tests;
- Drawings, data, calculations of a proprietary nature;
- Heat tracing and insulation, if required;
- Hazop, FMEA or other design studies;
- Management of site preparation activities including design, permitting, inspections, and approvals;
- Any inspection, certificate etc. others than the standard document provided by Hydrogenics Europe NV.
- All tools necessary for the commissioning and start up of the equipment and training of the people.
- Service time exceeding 8 hours per day (overtime will be charged at 185€/hour. Overtime is limited to 2 hours/day. Weekends are not worked). Travel expenses and hotel lodging of the engineers of Hydrogenics Europe NV. Transportation between hotel and site during commissioning, start up and training.
- All figures, measurements, names, weights and/or other descriptions of the Products as stated by the Supplier have been carefully prepared but the Supplier cannot guarantee that no variations will occur. Models or drawings shown or supplied shall merely be indications of the Products concerned.

The copyright in this document is the exclusive property of HYGE and this document may not be copied, translated, modified or disclosed without the written authorisation of HYGE and must be kept in confidence.

Anexo I.2

Oferta electrolizador empresa Idroenergy

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

"ON SITE" GAS SYSTEMS

Milano, October 19th 2010

TO: ***GASMEDI***

Ka.: Mr. Pablo Sanz de la Torre

Subject: **Offer no. 90/MI/10**
Integrated system for ON-SITE high pure hydrogen generation

With reference to your request, please find here our below best quotation covering:

INTEGRATED SYSTEM FOR ON-SITE HIGH PURE HYDROGEN GENERATION
(99,999% - D.P. – 70 °C)

Capacity:
option A) 10 Std m3/h continuous, 12,66 STD m3/h peak
Option B) 18 Std m3/h continuous, 22 STD m^3/h peak

Application: Argon purification and Hydrogen for Fuel Cells

Delivery site: Spain

PART I – THE SYSTEM

1. Hydrogen generation systems:

Idroenergy systems will be composed of:

Option A)
- n. 1 generator model 19.0 - Hydrogen generation unit
- n. 1 Purifiers model PF 820
- N. 1 electric driving & control panel (included in machine frame)
- N. 1 electric transformer (internal to the machine)
- N. 1 osmo-demi device, to produce demineralized water (5 µS)
- N. 1 water tank, with water pump and logic control, depending from machine needs

A) Technical features

No. 1 Electrolytic generators mod 19.0

Max hydrogen flow	12,66 Std m^3/h
Continuous hydrogen flow	10 Std m^3/h
Pressure	4 bar
Supply voltage	400 Vac three-phases

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

Hydrogen generator model 19.0 (water cooling is requested)

Option B)

- n. 1 generator model 33.0 - Hydrogen generation unit
- n. 1 Purifiers model PF 820
- N. 1 electric driving & control panel (external to unit production)
- N. 1 electric transformer (external to unit production)
- N. 1 osmo-demi device, to produce demineralized water (5 µS)
- N. 1 water tank, with water pump and logic control, depending from machine needs

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

B) Technical features

No. 1 Electrolytic generators mod 33.0

Max hydrogen flow	22 Std m^3/h
Continuous hydrogen flow	18 Std m^3/h
Pressure	4 bar
Supply voltage	400 Vac three-phases

(Hydrogen production unit model 33.0)
Water cooling for unit production is requested

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

For the above mentioned machines (model 19.0 and 33.0)

"Long life" high-efficiency electrolytic cells, with internal components studied to increase their duration and efficiency.

PLC control & driving panel, able to control the main functioning parameters of the machine, and to give the possibility of remote controlling, adjusting and regulating them via modem – ICS (Idroenergy communication System) optional module.

Machines compose an highly automatic driving system that can be run without customer surveillance.

N. 1 High quality purification systems PF 820

Multifunction high level integrated system (purifying from oxygen and moisture) functioning with IPER DRYING DEOXI technology with zeolitic molecular sieves and/or activated alumina.

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

Output gas features

Purity	99,999% or higher
Dew Point	< - 70° C or better
CO – CO2	none
Hydrocarbons content	none
Sulphureus content	none

Purifier needs a quantity of nitrogen (15-20% of hydrogen flow) to drying towers automatic washing system.

No. 1 Water Deioni-demineralizer, with water tank, water pump and automatic charge system

2. Idroenergy technology advantages

MAIN FEATURES AND ADVANTAGES

- Idroenergy machines are specially engineered and built for metallurgy applications and needs; all their components are manufactured following strictly quality and safety standard and rules: our machines are TUV marked and certificate (see point n.3).

- The size of "big capacity" Idroenergy generator (22, 44, 80 m3/h) is extremely compact, reduced and closely-packed (reduced area occupancy)

- Idroenergy cells can work at pressure of 4 bar, without any compression device. This pressure can be supplied for peak of big capacity

- Idroenergy generator unit producing 12-44 m3/h or more H2 has only 1 or 2 special electrolytic cells inside (in the same machine frame): that's why the machine gives to the on-site system high reliability and flexibility. The internal components are studied to increase their duration and efficiency: all electrodes are coating and spraying with a special metal alloys.

- The generator is built with the special "splitting towers" technology, containing special "distillation dishes" inside and having "no stripping condensers" on the top; that's why:
  - A) the electrolytic solution flow is **extremely lower** and one electrolytic charge goes on for many years
  - B) more efficiency in gas production and large quantity of continuous working hours are guaranteed.
  - C) the system is well indicated for high technology application and high pure gas distribution systems: traces of electrolityc solution or impurity are extremely reduced!

  This is a specific "Idroenergy technology"

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

- Idroenergy generators are "low & easy maintenance" (maintenance reduced and easy spare parts change) and they don't need any customer technician treatment: even if electrolytic technology is based on well-known criteria, the "closely packed" conception and Idroenergy innovations (a. m. splitting towers) give an easy control on the system.

- There aren't any pumps or other similar components working around generator and there aren't any tension live parts open or reachable from personnel.

- This set of Idroenergy machines are working for many years, and several of them produce hydrogen 24h per day, 365 days per year.

- Idroenergy machines has special high power PLC and ICS (Idroenergy communication software), capable of modem interconnection with our factory (for surveillance and regulation)

- The purifier doesn't have any heating external resistance that may damage and corrode the metal. Idroenergy purifier has "plug in" internal heating resistance, equipped by special bottom flow diffuser.

- The purifier Deoxi towers have been "heavy duty" construction engineered: big carbon steel metal thickness gives capacity to withstand at high temperature. That's why purifier efficiency in maximum and life is longer than other competitor ones (normally Idroenergy purifiers have dozen of working years life).

- Such as Idroenergy generators, Purifier are really compacts; they may be installed along a wall and the purifier occupancy area is reduced.

3. *Certifications*

- Our hydrogen dissociators are "**TÜV Product Service**" certified and manufactured according to severe safety rules

EN 60204-1: 1997
EN 294: 1992
EN 954-1: 1996
EN 349: 1993
BGV B6: 1997
BGV B7: 1997

· Our dissociators are manufactured conformingly to **PED European rules**

· Our dissociators are manufactured conformingly to radio frequency rules

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

TÜV PRODUCT SERVICE Production monitored Safety tested

PART II – ECONOMIC PROPOSAL

Prices:

On-site Hydrogen generation system, as above mentioned:

Option A)

- n. 1 generator model 19.0 - Hydrogen generation unit
- n. 1 Purifiers model PF 820
- N. 1 electric driving & control panel (included into machine frame)
- N. 1 electric transformer (internal to the machine)
- N. 1 osmo-demi device, to produce demineralized water (5 µS)
- N. 1 water tank, with water pump and logic control

Budgetary price **Euro 139.500**

Option B)

- n. 1 generator model 33.0 - Hydrogen generation unit
- n. 1 Purifiers model PF 820
- N. 1 electric driving & control panel (external to unit production)
- N. 1 electric transformer (external to unit production)
- N. 1 osmo-demi device, to produce demineralized water (5 µS)
- N. 1 water tank, with water pump and logic control

Budgetary price **Euro 199.800**

Supply terms

Installation, electric and gas interconnections:	ANIMA tarif (European International tarifs) discounted 10%;
Test:	included, at our factory, at the presence of customer technicians (training free of charge, excluding lodging and travel costs)
Delivery:	12-16 weeks from the advance payment reception (last 2 weeks of December not included)
Payment:	30 % at order, 20 % at test/training in our Company, 45% when delivery "ex-works" will be ready, by bank transfer, 5% at start-up (and however within 30 days from delivery)
Term:	Ex-works Livorno
Transport :	at your cost
Packaging :	at your cost
Offer validity:	30 days
Warranty:	12 months from start-up but no later than 18 months after delivery

TELEFONO: +39 0586 425668
FAX: +39 0586 444178
WEB SITE: www.idroenergy.it

Supply limit

Not included in the supply:

- goods unloading and handling
- masonry and hydraulic works, gas and electric connections
- Nitrogen for purifier
- everything not expressly indicated in this offer.

Waiting for your kind reply, yours faithfully,

Idroenergy spa

Anexo I.3

Oferta electrolizador empresa Piel

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

To the Kind attention of Mr. Diego Montaña Claver - Ingeniero Químico

Obj: Offer nr. PL10058 A MB / B MB Hydrogen Generators

Dear Mr Montaña Claver,

Following your kind request of quotation , please find as follow the offers for nr.2 Model of Hydrogen Generators :

- **Offer nr.PL10058 A MB** for Nr.1 Hydrogen Generator Mod. QUINDICIMILA for produce up to 10 Nm3/h of H2 .
-
- **Offer nr.PL10058 B MB** for Nr.1 Hydrogen Generator Mod. QUINDICIMILA for produce up to 12 Nm3/h of H2 .

Looking forward to hear from you soon, we remain at your total disposal for any further information you may need.

Best regards

Matteo Bruni – After Sales Manager
ILT Tecnologie S.r.l. - **PIEL** Division

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Generatori Idrogeno e Ossigeno
Generatori di Azoto

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

OFFER DESCRIPTION nr. PL10058 A MB

1. Generator

Q.ty	Description	Price Euro
1	**HYDROGEN & OXYGEN GENERATOR WITH GASES DELIVERED SEPARATELY** **QUINDICIMILA MODEL** Complete of flashback arrestors Technical specifications: Working pressure up to 3,5 bar Max hydrogen production 10.000 Lt/h Max oxygen production 5.000 Lt/h Gas purity 99,5 ± 0,1% Max electric energy consumption 52 kWh 400 V / 50 Hz Max demi water consumption 8,5 Lt/h Max cooling water consumption (25°) 1100 Lt/h Dimensions (LxWxH) 125x130x173 cm Weight 1.140 Kg	*44.290,00*
	Total	***44.290,00***

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

2. Plant Accessories

Q.ty	Description		Amount Euro
1	**Giant Dryer Filters with Cartridge** Couple of giant dryer filters with recharge of Molecular Sieves with cartridge		
	unit price	1.600,00	*1.600,00*
	Total		***1.600,00***

3. High Purity and Dew Point Optional

Q.ty	Description		Amount Euro
1	**Pieldryer** Hydrogen pre-drying system by condensation using 3 columns Stainless Steel filters with refrigerated casing. The system is complete of refrigerating chiller. This group is designed to obtain a constant hydrogen dew point during the time HYDROGEN DEW POINT ..... up to –25°C SUPPLY VOLTAGE ..... 220 V ac ELECTRIC CONSUMPTION ..... 1,55 kWh SIZE (cm): w x l x h ..... 60 x 130 x 170 WEIGHT (Kg) 280		*5.990,00*
1	**Deoxo 10** Hydrogen rectifying system by using specific catalitic reactor allowed to obtain hydrogen with purity level over 99,999% from oxygen. This system is particulary indicated in all the systems that requires an high purity level hydrogen GAS FLOW TO PURIFY ..... up to 10 Nmc/h PURITY LEVEL ..... over 99,999% SIZE: w x l x h ..... 60 x 60 x 170 WEIGHT (Kg) 140		
	unit price	3.700,00	*3.700,00*
1	**Automatic Dryer P.A.D. 5/10** Hydrogen automatic dryer thermoregenerated with Nitrogen up to 50 Nm^3/h flow able to abtain an hydrogen dew point up to –70°C (depending on rigenerating nitrogen dew point) HYDROGEN DEW POINT ..... up to –70°C GAS FLOW TO DRY ..... up to 10 Nmc/h of H_2 ELECTRIC SUPPLY ..... 380 V / 50Hz ELECTRIC CONSUMPTION ..... 1,2 KWh RIGENERATING NITROGEN FLOW ..... min. 0,8 Nm^3/h RIGENERATING NITROGEN PRESSURE ..... min. 5 barg SIZE (cm): w x l x h ..... 70 x 40 x 144 WEIGHT (Kg) 250		
	unit price	8.820,00	*8.820,00*

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

4. Additional Optional

Q.ty	Description	Amount Euro
1	**"PIELNET" Teleassistance System** Modem teleassistance system that allow PIEL Technical Department to remotely control the generator	*1.550,00*
1	***PIEL foreign countries kit MP*** **Spare Parts:** 1 equilibrator, 1 equaliser, 10 fuses, filters, 30 meters of pipe, 1 level sensor for reserve tank, 2 level sensors,fitting set, 3 manometers	*1.300,00*

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

SUPPLY SUMMARY PL10058 A MB

Description	Amount
	Euro
1. Generator n.01 Generator QUINDICIMILA model	*44.290,00*
2. Plant accessories n.01 Couple of Giant filters with molecular sieves	*1.600,00*
3. Installation The work of our technician for activation **420 €uro** per day included eventual days of travel. The Installation cost doesn't include the ticket for the flight and the costs of the staying (board and hotel) are to be charged to the customer Estimated 4 days	*1.680,00*
4. Packing n.01 in wooden boxes 420,- each	*420,00*
Supply total	***47.990,00***

SALES CONDITIONS

Packing: in wooden boxes

Delivery: 30 days from the order confirmation

Terms: Ex Works

Offer Validity: 30 days

Warranty: total for 12 Months or 2.000 working hours

note: the Warranty in the foreign countries includes free spare parts and the effective works done on generators. It doesn't include the hours of travel and the costs of Flight Ticket and Hotel

Payment: 30% in advance as per order confirmation, the balance before the shipment at ready goods ; All the payments have to be done at the following bank account and after each payment , please send us by fax the relative bank receipt:

in favour of: **ILT Tecnologie S.r.l.**
BANK NAME: BANCA POPOLARE DELL'ETRURIA E DEL LAZIO - PONTEDERA BRANCH (PI)
ABI : 05390 - **CAB** : 71130 -
ACCOUNT NUMBER : NR.000000005007
SWIFT CODE : ARBAIT33144
IBAN CODE : IT 24 L 05390 71130 000000005007

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Generatori Idrogeno e Ossigeno
Generatori di Azoto

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

OFFER DESCRIPTION PL10058 B MB

1. Generator

Q.ty	Description	Amount Euro
1	**HYDROGEN & OXYGEN GENERATOR WITH GASES DELIVERED SEPARATELY** **DICIOTTOMILA MODEL** Complete of flashback arrestors and Pielnet teleassistance system Technical specifications: • Working pressure up to 3,5 bar • Max hydrogen production 12.000 Lt/h • Max oxygen production 6.000 Lt/h • Gas purity 99,5 □□ 0,1% • Max electric energy consumption 63 kWh 400 V / 50 Hz • Max demi water consumption 9,3 Lt/h • Max cooling water consumption (20°) 750 Lt /h • Dimensions (LxWxH) 125x130x173 cm • Weight 1.340 Kg	*49.960,00*
	Total	***49.960,00***

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

2. Plant Accessories

Q.ty	Description		Amount Euro
1	**Giant Dryer Filters with Cartridge** Couple of giant dryer filters with recharge of Molecular Sieves with cartridge		
	unit price	1.600,00	*1.600,00*
		Total	***1.600,00***

3. High Purity and Dew Point Optional

Q.ty	Description		Amount Euro
1	**Pieldryer** Hydrogen pre-drying system by condensation using 3 columns Stainless Steel filters with refrigerated casing. The system is complete of refrigerating chiller. This group is designed to obtain a constant hydrogen dew point during the time HYDROGEN DEW POINT ..... up to –25°C SUPPLY VOLTAGE ..... 220 V ac ELECTRIC CONSUMPTION ..... 1,55 kWh SIZE (cm): w x l x h ..... 60 x 130 x 170 WEIGHT (Kg) 280		
			5.990,00
1	**Deoxo 10** Hydrogen rectifying system by using specific catalitic reactor allowed to obtain hydrogen with purity level over 99,999% from oxygen. This system is particulary indicated in all the systems that requires an high purity level hydrogen GAS FLOW TO PURIFY ..... up to 10 Nmc/h PURITY LEVEL ..... over 99,999% SIZE: w x l x h ..... 60 x 60 x 170 WEIGHT (Kg) 140		
	unit price	3.700,00	*3.700,00*
1	**Automatic Dryer P.A.D. 5/10** Hydrogen automatic dryer thermoregenerated with Nitrogen up to 50 Nm^3/h flow able to abtain an hydrogen dew point up to –70°C (depending on rigenerating nitrogen dew point) HYDROGEN DEW POINT ..... up to –70°C GAS FLOW TO DRY ..... up to 10 Nmc/h of H_2 ELECTRIC SUPPLY ..... 380 V / 50Hz ELECTRIC CONSUMPTION ..... 1,2 KWh RIGENERATING NITROGEN FLOW ..... min. 0,8 Nm^3/h RIGENERATING NITROGEN PRESSURE ..... min. 5 barg SIZE (cm): w x l x h ..... 70 x 40 x 144 WEIGHT (Kg) 250		
	unit price	8.820,00	*8.820,00*

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

4. Additional Optional

Q.ty	Description	Amount Euro
1	**"PIELNET" Teleassistance System** Modem teleassistance system that allow PIEL Technical Department to remotely control the generator	*1.550,00*
1	***PIEL foreign countries kit MP*** **Spare Parts:** 1 equilibrator, 1 equaliser, 10 fuses, filters, 30 meters of pipe, 1 level sensor for reserve tank, 2 level sensors,fitting set, 3 manometers	*1.300,00*

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506

www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu

www.piel.it
info@piel.it

Generatori Idrogeno e Ossigeno
Generatori di Azoto

Ponsacco , 02/02/2010

M/S
GASINDU 2000 S.L.U.
CALLE VELAZQUEZ, 4
MADRID - SPAIN

SUPPLY SUMMARY PL10058 B MB

Description	Amount
	Euro
1. Generator n.01 Generator DICIOTTOMILA model	*49.960,00*
2. Plant accessories n.01 Couple of Giant filters with molecular sieves	*1.600,00*
3. Installation The work of our technician for activation **420 €uro** per day included eventual days of travel. The Installation cost doesn't include the ticket for the flight and the costs of the staying (board and hotel) are to be charged to the customer Estimated 4 days	*1.680,00*
4. Packing n.01 in wooden boxes 420,- each	*420,00*
Supply total	***53.660,00***

SALES CONDITIONS

Packing: in wooden boxes

Delivery: 30 days from the order confirmation

Terms: Ex Works

Offer Validity: 30 days

Warranty: total for 12 Months or 2.000 working hours
note: the Warranty in the foreign countries includes free spare parts and the effective works done on generators. It doesn't include the hours of travel and the costs of Flight Ticket and Hotel

Payment: 30% in advance as per order confirmation, the balance before the shipment at ready goods ; All the payments have to be done at the following bank account and after each payment , please send us by fax the relative bank receipt:

in favour of: **ILT Tecnologie S.r.l.**
BANK NAME: BANCA POPOLARE DELL'ETRURIA E DEL LAZIO - PONTEDERA BRANCH (PI)
ABI : 05390 - **CAB** : 71130 -
ACCOUNT NUMBER : NR.000000005007
SWIFT CODE : ARBAIT33144
IBAN CODE : IT 24 L 05390 71130 000000005007

PIEL Division
of **ILT Tecnologie** S.r.l.

ILT Tecnologie srl
Via Torino, 1 – 56038 Ponsacco (PI) ITALY
Tel. +39.0587.73741 r.a. - Fax +39.0587.731671
Cap.Soc.: € 414.000 - Reg. Imprese di Pisa - REA : 147046
C.F.-P.I.-VAT:IT01689960506
www.ilttecnologie.eu
info@ilttecnologie.eu
www.piel.it
info@piel.it

Anexo I.4

Oferta compresor empresa Bauer

Sistemas de Alta Presión, S.L.

C. /Josep Ros i Ros, 2 – 4 nave 4
Pol. Ind. "La Clota"
08740 Sant Andreu de la Barca (Barcelona)

Tel: **93 660 28 75 / int. +34 93 660 28 75**
93 660 28 75 Servicio Técnico
67 840 42 25 Comercial
Fax: **93 660 19 17 / int. +34 93 660 19 17**

Fecha/Date/Datum: 22/06/11

Páginas/Pages/Seiten: 11

Nº OFERTA: 420110179

A/To/An GAS MEDI, S.A.
Atn. /Attn.: **Sr. Pablo Sanz de la Torre**

De/From/Von: Toni Pérez

Asunto/Subject/Betreff: Oferta compresor BAUER para Hidrógeno sin la caseta de hormigón.

A raíz de su petición por parte del Sr. Pablo Sanz, le adjuntamos oferta técnica y económica del compresor BAUER para Hidrógeno para instalar en una sala que ustedes construyan según normativa.

Se tienen que tener en cuenta los siguientes puntos:

- La zona donde se instale el compresor debe ser Ex
- Debe estar debidamente aireada y con ventilación forzada para extraer el aire caliente. Los electroventiladores deben ser Ex
- El cuadro eléctrico y de control se entrega por separado para instalar fuera de la zona Ex.
- El compresor viene acompañado por un sensor para instalar en la sala de montaje para detectar las fugas de gas y que pare automáticamente el compresor, se entrega por separado.

Esperando que nuestra oferta les sea útil aprovecho la oportunidad para saludarles

Atentamente,

Sistemas de Alta Presión, S.L.
Dpto. Comercial
Toni Pérez

OFERTANTE: SISTEMAS DE ALTA PRESION, S.L.

DATOS DEL OFERTANTE

Fabricante: **BAUER KOMPRESSOREN GMBH**
Domicilio social: DRYGALSKI ALLEE 37
D-81477 MÜNCHEN

Representante para España y ofertante:

SISTEMAS DE ALTA PRESION, S.L.

Domicilio social: c./ Josep Ros i Ros, 2 – 4 nave 4
Pol. Ind. "La Clota"
08740 Sant Andreu de la Barca (Barcelona)

Persona de contacto: Toni Pérez
Teléfono: 93 660 28 75 ó 678 40 42 25
Fax: 93 660 19 17

NIF: B 61171625

Resumen de los equipos que se ofertan:

1. Sistema de compresión de hidrógeno

1 x compresor CH 120

1 x sistema de tratamiento del gas comprimido

2. Sistema de control y pilotaje eléctrico / electrónico

Sistemas de Alta Presión, S.L.

BAUER KOMPRESSOREN

Modelo HTA 120 – 5,5 – 5

Datos técnicos del compresor:

Medio:	gas hidrógeno. Punto de rocío atmosférico: <-20ºC
Presión de aspiración:	20 mbar a 300 mbar (presiones manométricas)
Temp. de aspiración:	+5 hasta +45º C
Temp. Ambiental:	+5 hasta +45º C
Presión nominal:	330 bar ajustados en la válvula de seguridad
Presión de trabajo:	300 bar ajustados en el sensor de presión final según el deseo del cliente (histéresis mínima admisible 5 bar)
Caudal:	7,5 m³/h con 300 mbar presión aspiración 30,1 m³/h con 5 bar presión aspiración (Referencias con 0ºC y 1013 mbar) Caudal según la norma VDMA 4362 Tolerancia +/-5% medido con un medidor de caudal x 0,8.
Revoluciones:	1340 / min
Etapas de compresión:	3
Cilindros:	3
Dimensiones de los cilindros:	diám. 88/36/14 mm
Recorrido del pistón:	40 mm
Velocidad media del pistón:	1,8 m/s
Potencia absorbida con presión nominal:	5,2 kw con 5 bar de presión de aspiración
Accionamiento:	por correas
Caudal de aire de refrigeración:	min. 1.600 m³/h

Sistemas de Alta Presión, S.L.

Datos del motor eléctrico:

Tipo:	motor eléctrico trifásico EEx II T1
Potencia nominal:	5,5 kw
Revoluciones:	2900 r/min
Tensión nominal:	400 V (+/-5%)
Frecuencia:	50 Hz
Funcionamiento:	continuo, arranque estrella triángulo
Forma de contrucción:	B3
Protección:	IP 54
Protección contra explosiones:	EExe II T1
Clase de aislamiento:	F

Tramo de aspiración (Ex):

- tubería conexión gas G1
- válvula cierre
- electroválvula de cierre (Ex)
- válvula anti-retorno
- manómetro presión de aspiración
- depósito de aspiración (volumen geométrico: 100l) para la recogida del caudal de gas alojado durante la ventilación de la caja del cigüeñal y de las purgas automáticas
- filtro de aspiración "MICRONIC", 10µ
- válvula de descarga
- presostatos (Ex) para el control de la presión de entrada mínima 5 mbar / máxima 400 mbar.
- válvula de seguridad

Bloque compresor:

- bomba de aceite para la lubricación por presión
- descarga de la caja del cigüeñal con retorno del gas al depósito de aspiración
- refrigerador intermedio refrigerado por aire después de cada etapa (excepto 1ª etapa)
- refrigerador posterior, refrigerado por aire, temp. salida del aire ca. 10ºC a 25ºC sobre la temperatura del aire de refrigeración
- separador final agua / aceite
- válvulas de seguridad después de cada etapa, con ventilación de retorno hacia el depósito de aspiración
- válvula de seguridad para la presión final homologado por el TÜV
- válvula para el mantenimiento de la presión y anti-retorno

Sistema de purga automático:

- descarga de los condensados del separador final durante el funcionamiento de la planta en ciclos fijados. La descarga se realiza a través de una válvula neumática. El pilotaje de este sistema se realiza mediante una electroválula (Ex).
- descarga de arranque incluido en el sistema de la descarga de los condensados
- conexión para un sistema de almacenamiento de los condensados
- sistema de almacenamiento de los condensados depósito de 200 litros para la separación de aceite y agua del gas, retorno del gas a la aspiración a través de una electroválvula (Ex)

Configuración del compresor:

- la planta está instalada sobre un bastidor con elementos amortiguadores de vibraciones para una colocación sin necesidad de fundación y construcción vertical

Carcasa “SUPER SILENT” para el compresor:

Consiste en una carcasa para el aislamiento del ruido a aprox. 72 dB (A) (+/- 2 dB (A) tolerancia medido a 1 metro de distancia según DIN 45635, 1ª parte.

Sistema de tratamiento de gas a alta presión:

- el sistema de tratamiento de gas está instalado después del compresor y trabaja con una presión entre 150 bar hasta 350 bar
- los cartuchos para el secado del gas están cargados con tamiz molecular y carbón activado y pueden ser recargados completamente. Duración del cambio aprox: 25 minutos, durante este tiempo el compresor estará parado

Calidad del gas de salida del filtro:

Temperatura del gas:	de 0º C a +50º C
Caudal:	7,5 a 30,1 m³/h
Humedad a la entrada:	40 mg/m³
Humedad a la salida:	punto de rocío a presión: < -20º C a 250 bar
Contenido residual de aceite:	aprox. Entre 8 y 10 mg/m^3

Si la calidad del hidrógeno de entrada suministrado varía, los tiempos de duración de los cartuchos filtrantes pueden acortarse o alargarse respectivamente.

El sistema de filtración se compone de los siguientes elementos:

- separador de aceite y agua con válvula automática de condensados
- válvula anti-retorno
- válvula de ventilación con manómetro
- 2 x carcasa (PN350) con 2 cartuchos de larga duración (1 de tamiz molecular y 1 de carbón activado
- 1 x llave para abertura del recipiente del cartucho

Sistemas de Alta Presión, S.L.

BAUER KOMPRESSOREN

Pilotaje eléctrico FS Control:

La FS Control se encarga del pilotaje y el control de todos los elementos y parámetros del compresor. Si se produce una desviación en el funcionamiento el compresor se desconecta automáticamente y indica la causa en el DISPLAY. Este cuadro se debe instalar fuera de la Zona Explosiva y además debe estar protegido de las inclemencias del tiempo. Es un cuadro preparado para INDOOR.

Temp. ambiente:	+5 º C hasta +45ºC
Tensión de trabajo:	400 V (+/-5%), 50 Hz
Tensión de pilotaje:	24 V, AC/DC
Protección:	IP54

Fuente de alimentación:

- interruptor principal
- estrella triángulo con relee térmico de sobrecarga
- transformador con fusibles de protección primario y secundario
- interruptor de emergencia

PLC de control está instalado dentro del panel eléctrico del compresor con todos los relés y terminales auxiliares necesarias.

Pantalla de control, con LCD-Display de 8 líneas y 21 dígitos para la indicación de los siguientes parámetros:

- mensajes de operación y estado de la unidad compresora
- contador de horas
- parámetros de configuración
- aviso para realización de los mantenimientos
- indicaciones de erroes

Selección de operaciones:

- operación totalmente automática o semiautomática
- test de fugas y test de válvulas
- cuenta horas de funcionamiento

Cable eléctrico suministrado:

- cable con un largo aproximado de 5 metros
- conector CEE sólo para trabajar con voltaje 400 V / 50 Hz. Tres fases, neutro y tierra

Unidad electrónica de control de los siguientes estados del compresor:

Los sensores de temperatura, termostatos y sensores de presión están ubicados en los lugares adecuados en el compresor.

Esta unidad nos permite la visualización de los siguientes parámetros:

- presión de aspiración mín./máx.
- presión del aceite
- presión final
- temperatura de la última etapa
- temperatura del aire de refrigeración
- temperatura ambiental
- sobrecorriente del motor
- intervalos de mantenimiento
- contador de ciclos del separador final

Dimensiones y pesos:

2.350 mm de largo x 1.000 mm de ancho x 1.700 mm de alto
Peso aproximado de 455 Kgs

Ejecución

corresponde al último estado técnico de acuerdo con CE, DIN, VDE, TÜV, UV y DVGW
UV = norma alemana "protección contra accidentes”

Pruebas en taller

Según BAUER Standard de acuerdo con DIN 10204 – 3.1B.

- test del funcionamiento
- test de fugas

Garantía

El período de garantía empezará a contar una vez tenga lugar la firma del Acta de Recepción.
El período de garantía será de 1 año.

Sistemas de Alta Presión, S.L.

Oferta económica:

Sistema de compresión de hidrógeno
Modelo HTA 120 – 5,5 – 5 95.236,83 €

Los precios se entienden:

- sin IVA
- portes a su fábrica en Épila
- embalaje incluido
- puesta en marcha en su empresa
- interconexión eléctrica entre compresor y cuadro eléctrico a una distancia máxima de 3 metros
- plazo de entrega de 16 a 20 semanas a concretar con fábrica en caso de pedido

Queda excluido:

- descarga del camión de transporte
- interconexión de nuestro compresor con el suministro de gas hidrógeno
- materiales y mano de obra necesaria para la interconexión y comunicación necesaria entre nuestros equipos y sus equipos (hidrogenerador, rampas de carga, etc)
- proyecto de legalización y homologación
- obra civil, como la sala del compresor, cimentación, alumbrado, vallados, tubería para instalaciones eléctricas, etc.
- acometida general hasta nuestro cuadro eléctrico
- instalación de tubería de alta presión de salida de nuestro compresor hasta su sistema de llenado de racks de botellas

Forma de pago:

30% con el pedido al contado por transferencia bancaria

40% con la disposición de la maquinaria en fábrica al contado por transferencia bancaria

30% con la puesta en marcha de las máquinas al contado o máximo 30 días después de la descarga de la maquinaria

Atentamente,
Sistemas de Alta Presión, S.L.
Dpto. Comercial
Toni Pérez

Anexo II

Catálogos

Anexo II.1

Catálogo equipos de regulación

1.BASIC PRODUCT INFORMATION

1.1 Product range 2
1.2 Product basics 3
1.3 Product selection guide 5
1.4 Order codes 6
1.5 Regulators overview 7

2. STANDARD EQUIPMENT

2.1 Regulators series 500 11
2.2 Regulators series 320 37
2.3 Cylinder regulator FMD 300 40
2.4 Ultra High Purity Gas Supply 41
2.5 Gas panels DGS 43
2.6 Acetylene-/Propane- gas supply 44
2.7 Valves 47

3. SPECIAL GAS EQUIPMENT

3.1 Laser Gas Supply Equipment 53
3.2 Calibration Gas Measuring 52
3.3 Laboratory Equipment 57

4. ACCESSORIES

4.1 Gas Management System DGM 62
4.2 Gas monitoring System GasCom 65
4.3 Gas Safety Protection System GSPS 67
4.4 Gas cylinder cabinets 68
4.5 Filtration 70
4.7 Gas preheaters 74
4.8 Diverse accessory 75

5. CHARTS

5.1 Regulator Performance and Flow charts 88
5.2 Empfehlung Rohrdimensionen 92
5.3 Conversion tables 94
5.4 Gas data 95

6. GCE

6.1 The GCE GmbH and the GCE Group 96
6.2 Your contact person 97
6.3 Quote request form 98

PLEASE NOTE:
YOU WILL ALWAYS FIND THE LATEST PRODUCT INFORMATION FIRST IN THE INTERNET AT OUR WEBSITE:

HTTP://GERMANY.GCEGROUP.COM/DE/REINSTGASVERSORGUNG/

Standard equipment

1. Pressure stage
Brass or stainless steel
Cylinder pressure regulators FMD
Single cylinder gas panelsSMD :
- Single-stage
- Duel-stage
- With internal or external gas purging

Multi cylinder gas panels BMD
- Single-stage, with manual switch over
- Single-stage, with automatic switch over
- With internal or external gas purging

2. Pressure stage

Line pressure regulators LMD
Point-of-use pressure regulators EMD
Accessory for wall mounted supply pressure regulators:
- Tube fittings
- Hose nozzles
- Flame arrestors
- Flow control

Regulating and shut-off valves
Valves, brass:
- Diaphragm valves
- Pneumatic valves

Valves, stainless steel:
- Packed valves
- Diaphragm valves
- Pneumatic valves
- Valve tableout
- Cylinder valves

Solenoid valves, brass + stainless steel

Ball valves, brass + stainless steel

Accesories

Connection material
Assembling material:
- Tube fittings
- C-profile guides
- Valve mounting
- 90°-angle tube fittings
- Straight tube fittings
- Adapter fittings
- Hose nozzles

Others
Pressure gauges:
- Bourdon gauges
- Contact gauges

Cylinder connections:
- Flexibe hoses
- Spiral hoses
- Extensions for multi cylinder installations
- Screwed connections

Accessory for wall mounted point-of-use tableout
- Flame arrestors
- Flow control
- Filters

Cylinder cabinets:
- Safety cabinets nach DIN 14470-2
- Sheet steel cabinets, TRG 280

Electric and electronic device:
- Gas insufficency warning system
- Signal boxes
- Control device
- Gas warning systems
- Cylinder scales
- Heating device for cylinder cabinets
- Monitoring device for pressure and flow

Gas management
- Devices
- Software
- Gas safety systems

Ultra High Purity equipment

- Pressure regulators, 316L, AOD/VAR
- Line pressure regulators
- Supply pressure regulators

Diaphragm valves

Pneumatic valves

Process panels (1. pressure stage)
Accessory:
- Spirals
- Screwed connections, VCR-type

Connection adapters
- Vacuum generators
- Filters
- Welding fittings

Electric and electronic devices:
- Monitoring systems

Laboratory equipment

Valves, brass and stainless steel:
- Shut-off and regulating diaphragm valves

Point-of-use pressure regulators
Point-of-use equipment for laboratory furniture mounting
Point-of-use panels
Accessory for laboratory furniture
- Screwed connections
- Tube fittings
- Hose nozzles
- Connection adapters
- Flame arrestors
- Flow metering

Installation

International Certification and Product Testing Institutes

GCE high purity gas systems have been developed and certified in accordance with diverse national and international product safety guidelines.
For further details please contact our offices.

BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

The BAM – Federal Agency for materials research and testing - is a scientific, technical federal authority for the business sector of the Federal Ministry for business and technology.

TSSA is a Canadian, non-profit, self-financed; administratively-similar agency which administers und promotes the safety laws, the technical norms and the safety regulations.

GOST: Certificates and licenses are issued through the Institute und testing laboratories for quality assurance and safety, which are accredited through the Russian agency for standardisation, metrology and certification: ROSTECHREGULATION.

U.S. Food and Drug Administration
Protecting and Promoting Your Health

The FDA - Food and Drug Administration - is an agency inside the "US Department of Health and Human Services". FDA is responsible for protection of the public health through verifying the safety of medicines, vaccines, biological products from medical production, food supply, cosmetics, dietary supplements and production, radiation emission.

Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

GCE GmbH, V0310, Tel.: 06221-7921-0, Fax: -32, info-hp-de@gcegroup.com

High-purity gases require high-quality regulators

Proper handling of expensive high-purity gases requires highest quality of valves and pipelines, not at least of the conception, planning, installation and putting into service of the entire gas distribution system.

The fulfillment of user-specific demands such as pressure stability, flow-capacity and maintaining of the gas composition needs to be guaranteed in the same way as the prevention of contamination from the gas source down to the „point-of-use".

Handling of compressed gases presupposes intensive knowledge of regulations and technical rules which form the basis for a safe layout of any gas-supply system.

The quality of GCEDruVa High-Purity Gas distribution system is determined by a large number of features:
- leak-tightness,
- dead-space-minimized design,
- high safety due to Hastelloy diaphragms,
- patented damping system,
- purgeability,
- well thought out concept for joining and safety aspects.

These points require the same attention as the final assembly and preventive maintenance.

Point-of-use pressure regulator EMD

A close cooperation with our customers is very important to us

A close dialogue with our customers and designers enables us to develope today products which suit the market requirements of tomorrow.

Years of experience, the latest tests and measuring equipment and CAD-Technology build a basis for solutions beyond the usual expectations. Advanced product quality guarantees continuous process supply and avoids unnecessary system downtime.

Therefore the GCEDruVa technology is the sure basis for solutions matching the customer's individual needs

Cylinder pressure regulator FMD

Fine controllablility of pressure and flow

The quality control of all components guarantees a trouble-free, safe, process gas supply, avoids unnecessary extra costs and protects the continuing efficiency of a GCEDruVa Special Gas Supply System.

Minimized leakage guarantees the necessary safety during operation, that process gases are not contaminated and assure gas purity at the point-of-use.

Accuracy and safety are the basic rules for the handling of high purity gases

The selection of gas resistant and gas neutral materials, combined with precision manufacturing on numeric controlled machining centres, guarantees utmost accuracy during the entire production process.

The mechanical manufacturing process is followed by an automated cleaning bath carefully removing any grease, emulsion, debris and solvents from the gas wetted surface.
Assembly and pressure testing is performed in clean rooms using high purity test gases.
Diverse quality inspections such as material examinations, surface roughness measurements, dimensional control, functional tests with nitrogen, pressure examinations and leakage test examinations with helium, and quality inspection of TIG-welding, safeguard the function and safety of all components and systems.

Multi-stage regulators BMD

Pressure regulators, valves and accessories of high purity and accuracy

GCEDruVa products meet the special requirements of high quality pure-gas distribution systems in terms of purity, pressure stability and operational safety.

The supervision and control of the material quality is decisive for quality and safety of the products. Components which undergo electro -polishing and multi stage cleaning processes achieve highest quality surface, are generally ECD-suitable and in combination with 316L, Hastelloy inner parts and properly purged, are extremely corrosion resistant.

Minimal leakage rates avoid any gas contamination and increase the safety for the operators.

Both the design of the metal diaphragm, valves and regulators as well as solely using HASTELLOY material for the diaphragms, guarantees highest safety against leakage in the regulator or damage to the.

Line regulator LMD

Application areas for GCEDruVa Special Gas Equipment

Analysis technology
Gas chromatography
Atom-Adsorption-Spectrometry
Exhaust-gas measurement for environmental control
Chemical process technology
Laser technology
Pharmaceutical industry
Petrochemical industry
Food / drugs sector
Semiconductor technology
Fibre optical industry

Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

GCE Quality Management

GCEDruVa clean-gas systems prove its quality by performance and reliability. The production process of the regulators is certified according to DIN EN ISO 9001 and DIN EN ISO 46001 at regular intervals. This certification is considered by GCEDruVa as only one step in the long path towards not only gaining and keeping the confidence of our customers in our products but also to strengthen it. Unannounced re-audits by internal and external supervisors assure a continuous quality level.

Therefore our customers can rely on these certificates not being used as a basis to relax but as a stepping stone to new heights with regards to quality and performance. It is our aim to be a reliable partner to our customers in all questions about pure gas technology with economical solutions to their individual problems through well engineered technology.
The most important steps for the fulfilment of these expectations are:

- optical measurement control max. 100%,
- microscopic and endoscopic test of all bored holes,
- multi-stage special cleaning with DI-water cleaning process, clean air flushing and material friendly drying,
- functional tests,
- 12-hour-pressure test at inlet pressure level,
- Helium-leakage-test with mass spectrometer.
- 100% function and tightness control of basic components.

Servicing

To guarantee the safety, dependability and longevity of an installed special gas supply system every company should make sure that the necessary safety-related equipment-parts are tested , for condition and functionality at reasonable intervals, not more than one year, in accordance with BGV B6 §53 Abs. 2.

Helium leak testing

Helium leak rate certification

Helium leak testing is performed using a mass spectrometer. This technique is particularly effective at detecting and quantifying very small leaks. For example a typeical regulator might have a helium leak rate of 3 x 10-9 mbar l/sec He equivalent. This is equal to a leak of just 1 cm^3 in 30 years with a pressure difference of 1 bar at the component. Some products for the electronics industry or high corrosion service will be separately helium leak tested and certified as standard to guarantee maximum integrity. Many other components are given a guaranteed but uncertified maximum leak rate. For these components helium leak testing is available upon request and certification is an optional.

Flow capabilities - performance charts

For regulators the concept of flow coefficient is only partially useful in demonstrating the performance (Kv is dependent upon udstream and downstream pressure). GCEDruVa uses, as a rule, performance charts pursuant of ISO 2503 (upstream pressure of approximately double the downstream pressure. E.g. : $p_1 = 101$ bar and $p_2 = 50$ bar) as a result the performance of the GCEDruVa regulator flow charts are based on a comparable test method. Since the upstream pressure of a regulator is usually higher than double the downstream pressure (pursuant ISO) the resulting actual flow rates to be expected will be considerably higher than in the ISO performance charts are showed. For more detailed information concerning maximum and minimum obtainable flow rates, dependent upon type of gas, temperature etc. - please contact our technical division.

Purge

Purge utilises a sequence of pressurisation followed by de-pressurisation by venting. It is recommended to repeat this simple sequence 10 times.
The so called **Internal gas purging** uses the process gas for purging, **External gas purging** is performed with an inert gas through a special inlet connection.
Purging with an external inert gas is an extremely important factor when changing cylinders for the following reasons:
1. Purging the gas rest remaining in the system before cylinder changing improves the safety level for the operator.
2. Maintaining gas purity by purging the atmospheric air which has penetrated the system after cylinder changing.
3. Purging with dry inert gas reduces humidity and extends the expected lifespan, when corrosive gases are used.
For **high purity gases** purging will remove air/moisture from the system before process gas is introduced in order to preserve the purity of the gas and to promote system reliability.
For **toxic gases** purging will remove process gas out of the system before the system is opened to atmosphere and will therefore minimise the risk of operator's exposure.
For **corrosive gases** purging will remove moisture from the system. Moisture can produce strong acids and potentially solid material which can coute system failure through corrosion and/or particular contamination.

Pressure regulators denotation

Cylinder regulators (FMD)
Cylinder regulators are used to reduce the cylinder pressure to a lower usable level.
Line regulators (LMD)
Line regulators are designed to reduce line pressure subsequent equipment
Point-of-use regulators (EMD)
Point-of-use regulators are used to give maximum accuracy and shut-off capability at the Point-Of-Use - POU.
Gas panels (SMD, BMD)
Gas supply panels are installed in the gas storage area (cylinder stock room or gas cabinet). They reduce cylinder / tank pressure the desired line pressure for in-house use. Via the subsequent piping system the gas will be guided to the point-of-use.

Ultra high purity regulators

These Ultra high purity regulators were specially designed to maintain the ultra high purity of the gas inside the regulators. Polished surfaces, the use of metal diaphragms, minimized dead space and specially designed seals and seats minimizes or rather eliminates the risk of out gassing and inboard diffusion or gasket contamination.

Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

GCE GmbH, V0310, Tel.: 06221-7921-0, Fax: -32, info-hp-de@gcegroup.com

Questions to be answered selecting a regulator

Do you need a standard regulator/valve (gas purity < 6.0) for ultra high-purity use (higher 6.0)?
Do you need a single-stage or two-stage regulator?
Do you need a purge system?
See information on previous page.
The construction material does not need be specified as it depends on gas type.
GCEDruVa will automatically gear it's proposal to makes a proposal to the gas type specified,
Which outlet pressure range is required (specification in "Technical data")?
Which flow rate is required (Specification on product specific flow charts, precise informatin for specific gases and types can be obtained from our technical department)?
Do you have a 200 or a 300 bar gas supply level?
Which type of inlet connection (cylinder connection) do you need, DIN or another national norm?
Which kind of outlet connections do you need: tube fittings, hose nozzles etc.?

Gas purity values

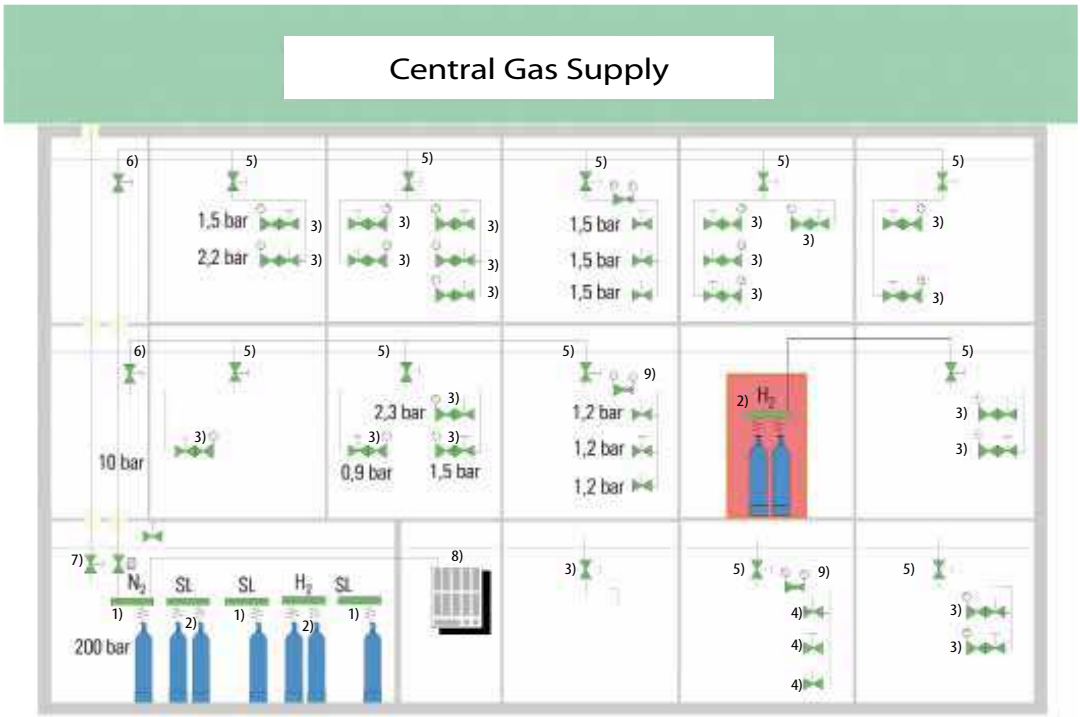
Gas type	Purity-[degrees]	Purity	Max. Contamination (ppm)
Pure gas	2.5	99.5%	5000
	3.0	99.9 %	1000
High purity gas	3.5	99.95 %	500
	4.0	99.99 %	100
	4.5	99.995 %	50
	5.0	99.999 %	10
	5.5	99.9995 %	5
	6.0	99.9999 %	1.0
Ultra pure gas	7.0	99.99999 %	0.1

Single-stage regulators

High pressure mediums enter though the inlet of the regulator to the high pressure chamber. When the hand wheel is turned clockwise, it compresses the spring and creates a force on the diaphragm, which pushes the valve stem open. This releases the gas into the low-pressure chamber, exerting an opposing force on the diaphragm which then closes the passage. Equilibrium is reached, when the spring force on the diaphragm is equal to the opposing force of the gas in the low-pressure chamber. In a single-stage regulator, delivery pressure increases as cylinder pressure falls, becoute there is less gas pressure exerted on the diaphragm. Thus, frequent adjustment of the control knob is required to maintain a constant delivery pressure. Therefore a two-stage regulator is recommended for applications requiring constant outlet pressure,
With the two stage regulator the point of use pressure stays practically constant, irrespectively of the cylinder pressure which sinks progressively as the cylinder empties.

Duel-stage regulators

A duel-stage regulator functions like two single-stage regulators connected in line. The first stage reduces the inlet pressure to a preset intermediate pressure. By adjusting the control knob the second stage reduces the intermediate pressure to the desired delivery pressure.
Like the single-stage regulator, outlet pressure from the first stage of the two-stage regulator rises as cylinder pressure decreases. However, the second-stage of the duel-stage regulator regulates, according to the preset level entered with the control knob, the point of use pressure as desired. Thus, delivery pressure remains constant even as the cylinder pressure lowers, eliminating the need for frequent control knob adjustment needed for a single-stage regulator.



1) Gas panel SMD,
2) Gas panel BMD,
3) Point/of/use regulator EMD,
4) Point-of-use shut- off,
5) Room shut-off,
6) Floor shut-off
7) Central shut-off,
8) Gas management,
9) Line regulator

Order code for your pressure regulators

Series	500	3100	320	100
Purity	≤ 6.0	≤ 6.0	≤ 5.0	for techn. Gases and Laser gases
Application	Standard	Laboratory	diverse	diverse

FMD	50	0	-16	B	F	200	DIN	CL6	BC	0	Gas

Application area

FMD = cylinder pressure regulator
SMD = gas supply panel for 1 cylinder
BMD = gas supply panel for 2 or more cylinder
LMD = line regulator
EMD = point-of-use regulator

Type of pressure reducing

50 = standard regulators
51/52 = supply into vacuum
54/56 = low outlet pressure
53 = special 315 bar inlet pressure regulators

Pressure stages

0 = single-stage
2 = duel-stage

Type (identified by outlet and purging)

-14 = with outlet tube fitting
-16 = outlet shut-off valve
-18 = outlet metering valve
-21 = external gas purging
-24 = panel with internal purge
-25 = panel with internal gas purge and downstream shut-off valve
-26 = external gas purging
-27 = external gas purging and downstream shut-off valve
-29 = for acetylene (C_2H_2)
-30 = panel with outlet shut-off valve, no purge
-32 = panel with outlet shut-off valve, with internal purge
-34 = panel with semi-automatic switch-over, with external gas purge
-35 = panel with semi-automatic switch-over, with internal gas purge
-39 = panel with semi-automatic switch-over, without purge

Material

B = brass
BC = brass chrome-plated
SS = stainless steel

Outlet pressure levels (depends on series type)

bar	psi
0.02 - 0.25	0.3 - 2
0.2 - 1	3 - 15
0.2 - 2 abs	3 - 30 abs
0.2 - 2.2	3 - 33
0.2 - 3	3 - 45
0.2 - 3 abs	3 - 45 abs
0.2 - 4	3 - 60
0.5 - 6	7 - 85
1 - 10.5	15 - 150
1 - 14	15 - 200
2.5 - 28	35 - 400
2.5 - 50	35 - 720
10 - 200	145 - 2900

Cylinder connection

DIN = DIN
A = ANSI
F = AFNOR
B = NBN
UK = BS 341
US = CGA
NL = NEN
others on request

Outlet fitting Assembly

CL0 = without,
CL3, CL6, CL8*, CL10, CL12
(CL6 = NPT-tube fitting for tube outside diam. 6 mm)
NO6, NO8, NO10 = hose nozzle for tube with inside diameter 6/8/10 mm

Material of Outlet fitting Assembly

B = brass
BC = chrome-plated brass
SS = stainless steel

Optional

0 = without
KI = contact gauge

Gas type

Inlet pressure (depends on series type)

	bar	psi
C =	6	85
D =	12/14	175/200
E =	40/50	600/720
F =	230	3300
G =	315	4500

Example Order Code

Armature	Type	Material	inlet pressure	Outlet pressure	inlet	Outlet	Contact-gauge	Vent-piping	Gas type
FMD 532	**-14***	**BC**	**G**	**10**	**DIN**	**CL6 BC**	**Ki**	**A**	
	-14	BC = brass-chrome plated	G = 315 bar	3 = 0.2 - 3 bar	DIN	CL6 (standard)	0 = without	0 = without	**Gas**
	-16			6 = 0.5 - 6 bar	ANSI	CL 1/8"	Ki = with	A = with (only in conjunction with AV)	Please specify
	-18	SS = stainless steel		10 = 1 - 10.5 bar	AFNOR	CL 1/4"			
					NBN	BC = brass-chrome pl.			
						SS = stainless steel			

* recommended Standard model = printed in BOLD

Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

GCE GmbH, V0310, Tel.: 06221-7921-0, Fax: -32, info-hp-de@gcegroup.com

Cylinder pressure regulators 500

Outlet: tube fitting
Brass or stainless steel

Outlet: shut-off valve
Brass or stainless steel

Outlet: regulating valve
Brass or stainless steel

With external purging
Stainless steel

Type -27 with shut-off valve
Type -26 without

Single-stage - 200 bar

FMD 500-14
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50, 200 bar
85, 200, 400, 720, 2900 psi

FMD 500-16
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50, 200 bar
85, 200, 400, 720, 2900 psi

FMD 500-18
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50 bar
85, 200, 400, 720 psi

FMD 500-26/-27
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50, 200 bar
85, 200, 400, 720, 2900 psi

FMD 510-14
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 510-16
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 510-18
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 510-26/-27
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 540-14
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

FMD 540-16
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

FMD 540-18
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

FMD 540-26/-27
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

Duel-stage - 200 bar

FMD 502-14
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

FMD 502-16
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

FMD 502-18
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

FMD 502-26/-27
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

FMD 522-14
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 – 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 522-16
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 – 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 522-18
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 – 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 522/-27
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 to 3 bar abs
3 – 45 psi abs

FMD 562-14
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

FMD 562-16
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

FMD 562-18
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

FMD 562/-27
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure: 0.2 – 2 bar
3 – 30 psi

Single-stage - 300 bar

FMD 530-14
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50, 200 bar
85, 200, 400, 720, 2900 psi

FMD 530-16
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50 bar
85, 200, 400, 720 psi

FMD 530-18
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50 bar
85, 200, 400, 720 psi

FMD 530-26/-27
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 6, 14, 28, 50 bar
85, 200, 400, 720 psi

Duel-stage - 300 bar

FMD 532-14
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

FMD 532-16
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

FMD 532-18
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

FMD 532-26/-27
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

Gas supply panels, series 500 and Acetylene

SMD 500/532-16
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 28, 50, 200 bar
/ 200, 400, 720, 2900 psi

SMD 502/532-16
Duel-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

SMD 500/532-24
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 28, 50, 200 bar
/ 200, 400, 720, 2900 psi

SMD 500/532-25
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 28, 50, 200 bar
/ 200, 400, 720, 2900 psi

SMD 500/532-27
Single-stage, with External gas purging
Stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 28, 50, 200 bar

SMD 502/532-24
Duel-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

SMD 502/532-27
Duel-stage, with external purge
Stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10.5 bar
45, 85, 150 psi

BMD 500/532-30
Single-stage, max. 2 x 4 cylinders
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 28, 50, 200 bar
200, 400, 725, 2900 psi

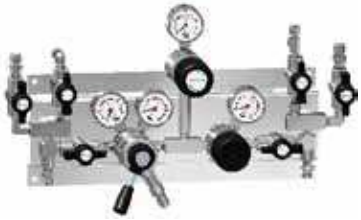
BMD 500/532-32
Single-stage, max. 2 x 4 cylinders
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 28, 50, 200 bar
/ 200, 400, 720, 2900 psi

BMD 500/532-34
Single-stage, max. 2 x 5 cylinders
With external gas purging
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 50 bar
/ 200, 720 psi

BMD 500/532-35
Single-stage, max 2 x 5 cylinders
With internal purging
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 50 bar
/ 200, 720 psi

BMD 500/532-39
Single-stage, max. 2 x 5 cylinders
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 14, 50 bar
/ 200, 720 psi

BMD 502/532-34
Duel-stage, max. 2 x 5 cylinders
With external gas purging
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10 bar
/ 45, 85, 145 psi



BMD 502/532-35
Duel-stage, max. 2 x 5 Cylinder
With internal purging
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 3, 6,10 bar
/ 45, 85/ 145psi

BMD 502/532-39
Duel-stage, max. 2 x 5 cylinders
Without purging
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Outlet pressure: 3, 6, 10 bar
/ 45, 85, 145 psi

BMD 200-29
Single-stage,
For Acetylene
Brass
Outlet pressure: 1.5 bar / 22 psi

SMD 200-29
Single-stage,
For Acetylene
Brass
Outlet pressure: 1.5 bar / 22 psi

BMD 202-39
Single-stage,
For Acetylene
Brass
Outlet pressure: 1.5 bar / 22 psi

Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

Line regulators series 500

LMD 500-01/-03/-04/-05
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure:
0.2 - 3 / 0.5 - 6 / 1 - 14 bar
3 - 45 / 7.5 - 85 / 36 - 725 psi

LMD 510-01/-03/-04/-05
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 12 bar / 175 psi
Outlet pressure:
0.2 - 2 / 0.2 - 3 bar abs.
3 - 22 / 3 - 45 psi abs.

LMD 530-01/-03/-04/-05
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure:
0.2 - 3 / 0.5 - 6 / 1 - 10.5 bar
3 - 45 / 7.5 - 85 / 14 - 150 psi

LMD 545-01/-03
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 40 / 12 bar
- 580 /175 psi
Outlet pressure: 0.20 / 1.3 bar
- 3/ 19 psi
40 bar Type: 0.5 / 3.0 bar
- 7 / 45 psi

LMD 500-PA
Single-stage, remote control
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 200, 40, 20 bar / 2900, 580, 290 psi
Outlet pressure: 0.5 - 6 bar/ 7.5 - 85 psi

LMD 502-03/-05
Duel-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure:
0.2 - 3 / 0.5 - 6 / 1 - 10.5 bar
3 - 45 / 7.5 - 85 / 14 - 150 psi

LMD 522-03/-05
Duel-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 230 bar / 3300 psi
Outlet pressure:
0.2 - 2 / 0.2 - 3 bar abs.
3 - 22 / 3 - 45 psi abs.

LMD 532-03/-05
Duel-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 315 bar / 4500 psi
Outlet pressure:
0.2 - 1 / 0.5 - 3 / 0.5- 6 / 1 - 10.5 bar
3 - 15 / 3 - 45 / 7 - 85 / 15 - 150 psi

LMD 545-01
4-Port-Type

LMD 545-03
6-Port-Type

Single-stage Type -01 | Single-stage Type -04 | Duel-stage Type -03 | Duel-stage Type-05

Single-stage Type -03 | Single-stage Type -05

Point-of-use regulators series 500

EMD 500-06
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 40 bar / 600 psi
Outlet pressure:
0.2 - 1.5 / 0.2 - 6 / 0.5 - 10.5 bar
3 - 22 / 3 - 85 / 7 - 150 psi

EMD 510-06
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 12 bar /175 psi
Outlet pressure:
0.2 - 2 / 0.2 - 3 bar abs.
3 - 22 / 3 - 45 psi abs.

Laboratory gas supply

Point-of-use regulators EMD 3100
Single-stage
Brass or stainless steel
Inlet pressure: 40 bar / 600 psi
Outlet pressure:
0.2 - 1.5 / 0.2 - 4 / 0.5 - 10.5 bar
3 - 22 / 3 - 60 / 7 - 150 psi
Analysis Version:
Inlet pressure: 10 bar / 145 psi
Outlet pressure: 2.2/4.4 bar - 33/66 psi

Basic body

Plate mounted

Wall assembly with wall adaptor

Wall assembly

Bench version

Hanging version

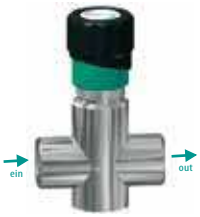
Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

Diaphragm shut-off valve
MVA 500/530
Model: In-line
Material: Brass chrome-plated/
Stainless steel
Upstream pressure: 230 /315 bar
3300/4500 psi
Nominal width: DN5 - Kv-Value: 0.25
Inlet/Outlet: NPT 1/4"

Diaphragm shut-off valve
MVA 400 G
Model: Straight
Material: Brass chrome-plated /
Stainless steel
Upstream pressure: 40 bar / 600 psi
Nominal width: DN5 - Kv-Value: 0.2
Inlet/Outlet:
G3/8"f - G3/8"m

MVA 400 G

Diaphragm regulating valve
MVR-A 500 G
Model:In-line
Material: Brass chrome-plated /
Stainless steel
Upstream pressure: 40 bar (O2) /50 bar
600/725 psi
Nominal width: DN2 - Kv-Value: 0.02
Inlet/Outlet: NPT 1/4"



Diaphragm shut-off valve
MVA 400 W
Model: Elbow design
Material: Brass chrome-plated/
Stainless steel
Upstream pressure: 40 bar / 600 psi
Nominal width: DN5 - Kv-Value: 025
Inlet/Outlet: G1/4"f - G3/8"m

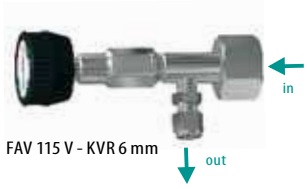
MVA 400 W

Diaphragm shut-off valve
MVA 501 G
Model: In-line
Material: Brass / Brass chrome-plated /
Stainless steel
Upstream pressure: 40 bar (O2) / 50 bar
600 (O2) / 725 psi
Nominal width: DN8 - Kv-Value: 0.5
Inlet: NPT 1/4"f or G3/8"f
Outlet: NPT 1/4"f or G3/8"f

Diaphragm regulating valve
MVR-A 400 W
Model: Elbow design
Material: Brass chrome-plated /
Stainless steel
Upstream pressure: 40 bar / 600 psi
Nominal width: DN2 - Kv-Value: 0.2
Inlet - outlet: G1/4"m - G1/4"f

MVR-A 400 W

Stuffing box regultaing valve
FAV 115
Model: Elbow design
Material: Stainless steel
Upstream pressure: 230 bar /2900 psi
Nominal width: DN2
inlet: cylinder connector DIN 477
Outlet: tube fitting 6mm or hose nozze
8 mm



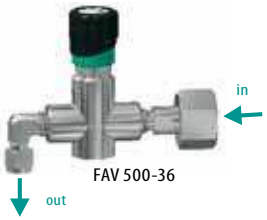
FAV 115 V - KVR 6 mm

FAV 115 T - ST 8 mm

Diaphragm regulating valve
MVR-A 400 G
Model: Straight
Material: Brass chrome-plated /
Stainless steel
Upstream pressure: 40 bar / 600 psi
Nominal width: DN2 - Kv-Value: 0.2
inlet - outlet: G1/4"f - G1/4"f

MVR-A 400 G

Cylinder connection valve
FAV 500-36
Model: Elbow design
Material: Brass chrome-plated /
Stainless steel
Upstream pressure: 50 bar / 725 psi
Nominal width: DN2 - Kv-Value: 0.02
inlet: cylinder connector DIN 477
Outlet: tube fitting 6mm



FAV 500-36

Cylinder connection valve
FAV 500-37
with gauge
Model: Elbow design
Material: Brass chrome-plated /
Stainless steel
Upstream pressure: 50 bar / 725 psi
Nominal width: DN2 - Kv-Value: 0.02
inlet: cylinder connector DIN 477

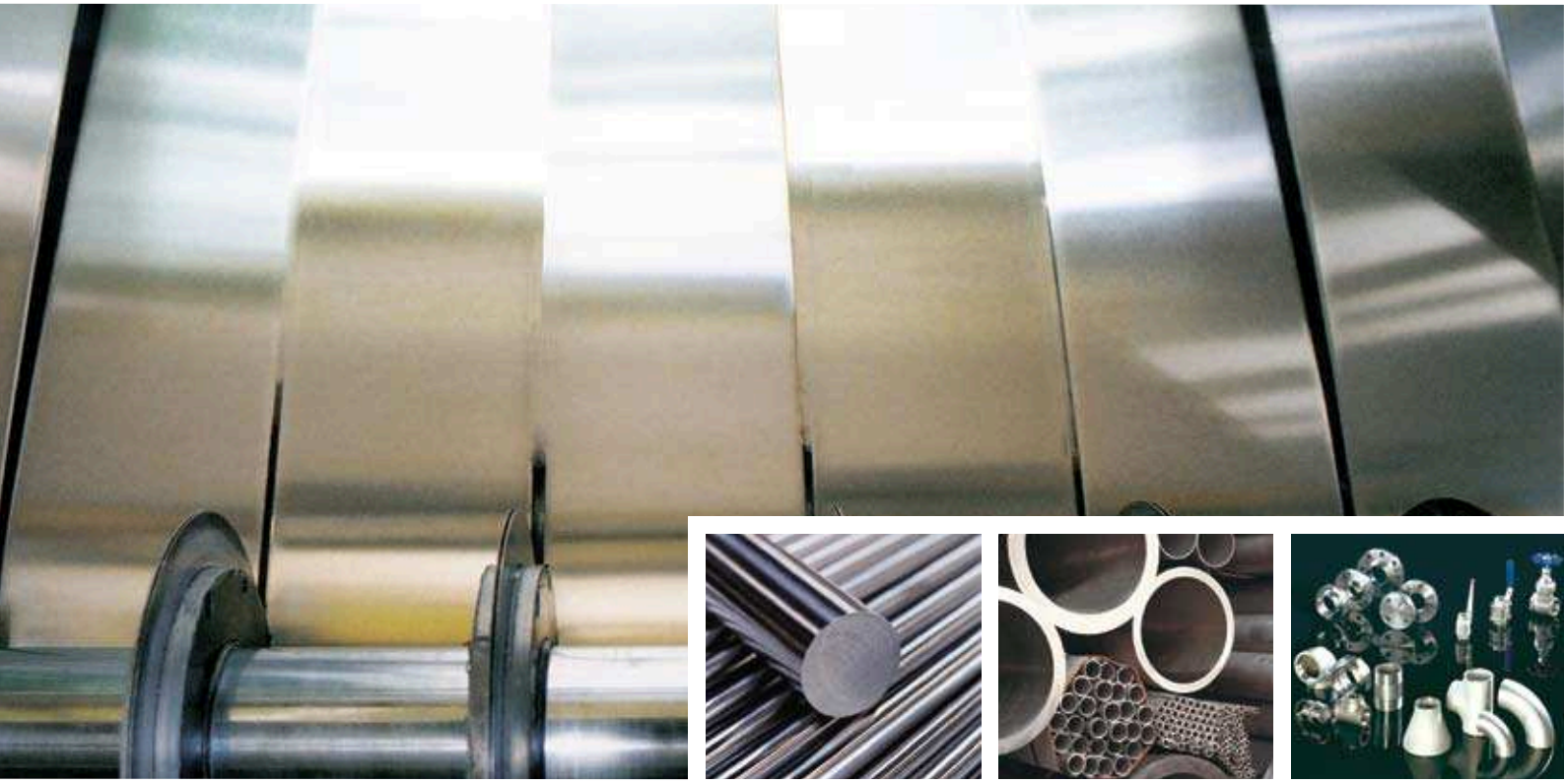
FAV 500-37

Änderungen vorbehalten.Ausg.130111.©GCE GmbH, Fulda.

Anexo II.2

Catálogo productos acero inoxidable

Aceros Inoxidables
Guía de productos



Una empresa del grupo ThyssenKrupp Services

ThyssenKrupp Fortinox S.A.

ThyssenKrupp

Parámetros de producción

Por dimensiones fuera de los parámetros mencionados, consultar con departamento técnico.

		Espesor	Ancho	Largo
Corte y Planchado de chapas	Máximo	4.00 mm	1500 mm	7.000 mm
	Mínimo	0.40 mm	400 mm	500 mm
Flejados	Máximo	4.00 mm	1500 mm	N.A
	Mínimo	0.30 mm	4.75 mm	N.A
Esmerilado	Máximo	3.00 mm	1500 mm	6.000 mm
	Mínimo	0.50 mm	550 mm	1.500 mm
Blanks	Máximo	1.20 mm	1500 mm	4.000 mm
	Mínimo	0.40 mm	300 mm	500 mm

Peso de chapa por m²

Fórmula de calculo chapa:
ancho x largo x espesor x p.e. (7.85)

Espesor (mm.)	Peso (m²)	Espesor (mm.)	Peso (m²)
0.30	2.40	7.00	56.00
0.40	3.20	8.00	64.00
0.50	4.00	9.00	72.00
0.60	4.80	9.35	74.80
0.70	5.60	10.00	80.00
0.80	6.40	12.00	96.00
0.90	7.20	12.70	101.60
1.00	8.00	15.00	120.00
1.20	9.60	15.80	126.40
1.50	12.00	16.00	128.00
2.00	16.00	18.00	144.00
2.50	20.00	19.00	152.00
3.00	24.00	20.00	160.00
3.50	28.00	22.00	176.00
4.00	32.00	25.00	200.00
4.50	36.00	25.40	203.20
5.00	40.00	30.00	240.00
6.00	48.00	32.00	256.00
6.35	50.80	35.00	280.00

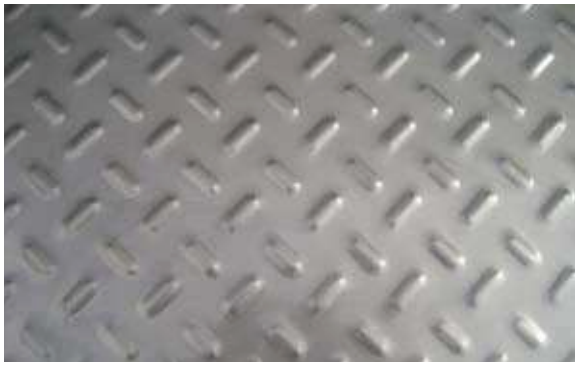
Chapas antideslizantes y rejillas estampadas

Semilla de melón

Calidad AISI 304
Chapas laminadas en caliente

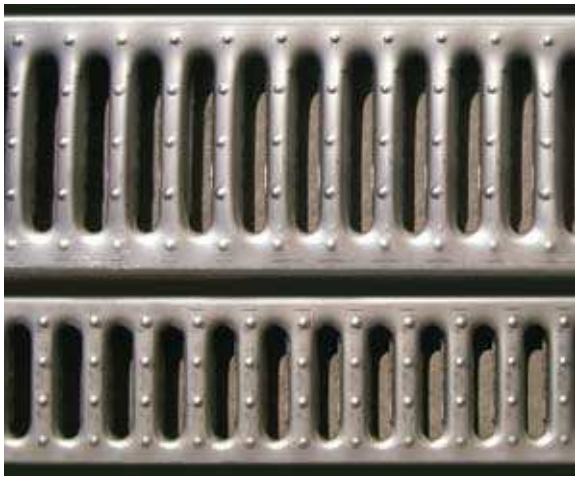
Dimensiones
3.00 x 1000 x 2000 mm.
3.00 x 1250 x 2500 mm.
3.00 x 1250 x 3000 mm.

Bastón trabado



Dimensiones
1000 x 2000 mm.
1250 x 2500 mm.
1000 x 3000 mm.
1250 x 3000 mm.
1500 x 3000 mm.
Medidas especiales consultar
Espesores 0.80 a 4mm.

Rejillas estampadas



Las rejillas ecológicas estampadas en calidad AISI 304, son aplicables a todo tipo de obra:

- Frigoríficos
- Bodegas
- Laboratorios
- Curtiembres
- Pescaderías
- Estaciones de servicio
- Petroquímica
- Astilleros
- Aeronáutica
- Centrales eléctricas
- Refinerías
- Lavaderos

Carga por M.L.:

Espesor	Ancho	Largo	Carga central	Distribuída
1.50	100 mm.	1000 mm./ 3000 mm.	kg. 160	kg. 330
1.50	150 mm.	1000 mm./ 3000 mm.	kg. 140	kg. 290

Normas de fabricación de caños y tubos de acero inoxidable

Normas		A-554	A-312	A-269	A-249	A-778	A-409	A-358
Aplicación		Trabajos donde se requieren propiedades mecánicas, buenas terminaciones y resistencia a la corrosión	Trabajos en altas o bajas temperaturas Conducción de líquidos corrosivos	Trabajos en altas y bajas temperaturas Trabajos en ambientes corrosivos	Calderas, condensadores, intercambiadores de calor y calentadores	Trabajos en bajas y moderadas temperaturas	Trabajos en altas temperaturas Trabajos en ambientes corrosivos	Trabajos en altas y bajas temperaturas Trabajos en ambientes corrosivos
Tolerancia	Diámetro mm.	De 12.7 ± 0.10 12.70 a 25.4 (incl) ± 0.13 25.4 a 38.1 (incl) ± 0.20 38.10 a 50.8 (incl) ± 0.25 50.8 a 63.5 (incl) ± 0.30 63.5 a 88.9 (incl) ± 0.36 88.9 a 127.0 (incl) ± 051 127.0 a 4064 (incl) ± 0.64	De 10.29 a 48.26 (incl) + 0.4/-0.8 48.26 a 114.3 (incl) ± 0.8 114.3 a 219.08 (incl) + 1.6/-0.8 219.08 a 457.2 (incl) + 1.6/-0.8 457.2 a 660 (incl) + 3.2 /- 0.8 660.4 a 762 (incl) + 4/-0.8	Hasta 38.10 (excl) ± 0.13 38.1 a 76.2 (excl) ± 0.25 6.20 a 127 (excl) ± 0.38 127 a 203.2 (excl) + 0.76	Hasta 25.40 (excl) ± 0.1 25.40 a 38.1 (incl) ± 0.15 38.10 a 50.8 a 63.5 (excl) ± 0.25 63.5 a 76.20 (excl) ± 0.3 76.20 a 101.6 (incl) + 0.38 101.6 a 127 (incl) + 0.38/-0.64	De 10.29 a 48.26 (incl) + 0.4/-0.8 48.26 a 114.3 (incl) + 0.8 114.3 a 219.08 (incl) + 1.6/-0.8 219.08 a 457.2 (incl) + 2.4/-0.8 457.2 a 660.4 a 863 (incl)+ 4/-0.8 863.6 a 1219.2 (incl) + 4.8/-0.8	Para espesor hasta 4.8 (excl) ± 0.20 del O especificado. Para espesores mayores a 4.8 (incl) ± 0.40% del O especificado	± 0.50% del diámetro exterior especificado
	Espesor	+10% del espesor especificado	-12.5% del espesor especificado	Hasta 1/2" (excl) ± 15% Mayor de 1/2" (incl) ± 10	± 10% del espesor especificado	+4.5% -12.5% del espesor especificado	-0.46 mm del espesor especificado	-0.3 mm del espesor especificado
	Longitud	>3000 E < 7300 4.8	-0+6 mm	hasta 38.1 (excl) -0/+3.2 38.1 a 203.2 (excl) -0/+4.8	Hasta 50.8 (incl) -0 /+3 mayor de 50.8 0/+5	-0/+6 mm en largos especif. ± 100 mm en largos no especif.	-0/+6 mm en largos especif. ± 100 mm en largos no especif.	-0/+6 mm en largos especif. ± 100 mm en largos no especif.
	Ovalización	1.5% del diámetro exterior especificado	1.5% del diámetro exterior especificado	Doble de la variación permitida del diámetro para espesores hasta 3.8 mm (excl)	Hasta 25.40 (incl) ± 0.5 mayor de 25.4 ± 2%	1.5% del diámetro exterior especificado	1.5% del diámetro exterior especificado	1.5% del diámetro exterior especificado
	Flecha	0.76 mm por cada 900 mm	3.0 mm por cada 3 metros	Rectos	0.8 mm por cada 900 mm	6.0 mm por cada 3 metros	4.8 mm por cada 3 metros	3.00 mm por cada 3 metros
	Extremos	Planos libres de rebarbas	Planos o cuando requerido biselados 37.1/2º + 2.1/2º	Planos	Planos	Planos o cuando requerido biselados 37.1/2º ± 2.1/2º	Planos o cuando requerido biselados 37.1/2º ± 2.1/2º	Biselados 37.1/2º ± 2.1/2°
Proceso de Soldadura		Soldadura automática por fusión sin aporte de metal	Soldadura automática por fusión sin aporte de metal	Soldadura automática por fusión sin aporte de metal	Soldadura automática por fusión sin aporte de metal	Soldadura manual automática con o sin aporte de metal	Soldadura manual automática con o sin aporte de metal	Soldadura manual con aporte de metal
Dirección de Soldadura		Longitudinal	Longitudinal	Longitudinal	Longitudinal	Longitudinal	Longitudinal	Longitudinal
Tratamiento Térmico		Sin tratamiento	A 1040º mínimo Enfriado brusco	A 1040º mínimo Enfriado brusco	A 1040º mínimo Enfriado brusco	Sin tratamiento	A 1040º mínimo Enfriado brusco	A 1040º mínimo Enfriado brusco
Trabajo en Frío		-	-	-	Laminación interna de soldadura	-	-	-
Terminación		Decapado, libre de rebarbas y superficie lisa	Decapado, libre de rebarbas y superficie lisa	Decapado, libre de rebarbas y superficie lisa	Decapado, libre de rebarbas y superficie lisa	Decapado, libre de rebarbas y superficie lisa	Decapado, libre de rebarbas y superficie lisa	Decapado, libre de rebarbas y superficie lisa
Ensayo	Destructivo	Expansión / Aplastamiento	Tracción Aplastamiento = / Ø hasta 8" (incl) Doblado =P/ Ø Más de 8"	Dureza Aplastamiento inverso, abridado	Tracción, dureza Aplastamiento abridado, doblado inverso	Tracción Aplastamiento = / Ø hasta 6" (incl) Doblado =P/ Ø Más de 6"	Tracción y doblado	Tracción y doblado
	No destructivo	-	Prueba Hidráulica	Prueba Hidráulica o Eddy Current	Prueba Hidráulica o Eddy Current		Prueba Hidráulica	Prueba Hidráulica radiografiado para clases 1.3 y 4 100% Clase 5 spot

Tabla de presión de trabajo admisible en kg/cm²

Diám. nominal del caño	Sch. S N	Espesor de pared en mm.	Temperaturas de trabajo que no excedan de						
			29-38ºC 20-100ºF	93ºC 200ºF	204ºC 400ºF	260ºC 500ºF	316ºC 600ºF	399ºC 750ºF	482ºC 900ºF
1/2”	5	1.65	161	142	117	107	99	89	80
	10	2.1	208	185	151	139	129	116	104
	40	2.8	329	292	239	220	203	182	165
	80	3.75	460	409	335	307	287	255	231
3/4”	5	1.65	127	113	91	85	78	71	64
	10	2.1	164	146	119	109	102	97	82
	40	2.9	268	239	195	179	166	149	135
	80	3.9	377	335	275	251	233	209	189
1”	5	1.65	100	89	73	67	62	56	50
	10	2.8	173	153	125	115	106	96	86
	40	3.4	251	223	182	168	155	140	126
	80	4.5	347	308	253	232	215	192	172
1”1/4	5	1.65	79	70	57	52	49	44	40
	10	2.1	135	120	98	90	83	75	68
	40	3.5	207	184	151	138	128	115	104
	80	4.9	289	256	210	192	178	160	144
11/2”	5	1.65	69	61	50	46	42	38	34
	10	2.8	117	104	85	78	73	65	59
	40	3.7	186	172	135	124	115	103	93
	80	5	262	233	191	175	162	145	131
2”	5	1.65	54	49	40	36	33	30	27
	10	2.8	93	83	68	62	57	52	47
	40	4	156	139	114	104	97	87	78
	80	5.5	226	201	165	151	140	125	114
2”1/2	5	2.1	58	51	42	38	35	32	29
	10	3	84	75	61	56	52	47	42
	40	5.5	171	152	125	114	106	95	86
	80	7	237	211	173	159	147	132	119
3”	5	2.1	47	42	34	31	29	26	23
	10	3	69	61	50	46	42	38	34
	40	5.5	149	132	109	99	92	83	75
	80	7.65	211	187	153	140	130	116	105
3”1/2	5	2.1	41	37	30	27	25	23	20
	10	3	62	53	44	40	37	33	30
	40	5.75	135	121	99	90	94	76	68
	80	8.1	194	173	142	130	120	108	91
4”	5	2.1	37	32	26	24	22	20	18
	10	3	53	47	39	35	33	29	26
	40	6	126	112	92	84	78	70	63
	80	8.6	182	162	132	121	113	101	97
5”	5	2.8	39	34	28	26	24	21	19
	10	3.5	48	42	35	32	29	26	24
	40	6.5	111	96	80	73	69	62	55
	80	9.5	163	145	118	109	101	90	82
5”	5	2.8	32	29	23	21	20	18	16
	10	3.5	40	35	29	26	24	22	20
	40	7.1	100	89	73	67	62	56	50
	80	11	158	140	115	105	97	87	79
8”	5	2.8	25	22	18	16	15	14	12
	10	3.75	34	30	24	22	21	19	17
	40	8.2	88	78	64	59	54	49	45
	80	12.7	140	124	102	93	86	77	70
10”	5	3.4	24	21	18	16	15	13	12
	10	4.2	30	27	22	20	18	16	17
	40	9.3	80	71	59	54	50	45	45
	80	12.7	111	99	80	74	69	61	70
12”	5	4	25	22	18	17	15	14	12
	10	4.5	28	24	0	18	47	15	14
	40	9.5	69	61	50	76	42	38	34
	80	12.7	93	83	68	62	57	52	47

Presión de trabajo admisible aproximado
Para temperaturas de trabajo indicadas, sin sobreespesor para corrosión ni esfuerzo mecánico.

1kg / cm²
= 0.98 BAR
= 14.22 PSI
= 980.7 HPASCAL

Caños y tubos de acero inoxidable

Tubos diámetro exterior con costura (Stainless steel mechanical tubes)

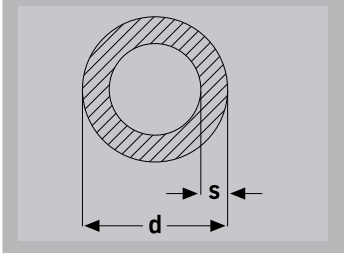
TP 304 - 304L - 316L - Según Norma ASTM A554

Terminación
2B
pulido exterior gritt 180
pulido exterior gritt 240
pulido exterior gritt 400

Aplicación
Muebles, carpintería metálica, ornamentación, estructura, autopartes y múltiples aplicaciones.
Largo estándar: 6000 mm.
Consultar por otros diámetros, espesores y largos especiales

Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)									
Pulgadas	mm.	0.5	0.7	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	4
1/4”	6.35	0.070	0.100	0.110							
	7.2	0.080	0.110	0.130							
5.16”	7.94	0.090	0.130	0.140							
3/8”	9.53	0.110	0.155	0.176	0.214	0.251	0.303				
7/16”	11.1		0.183	0.207	0.231	0.297	0.360				
1/2”	12.7		0.221	0.239	0.294	0.347	0.422				
5/8”	15.8		0.266	0.302	0.372	0.477	0.539				
11.16”	17.2			0.330	0.407	0.483	0.592				
3/4”	19.05			0.367	0.454	0.538	0.662	0.857			
7/8”	22.2				0.533	0.633	0.780	1.015			
1”	25.4				0.693	0.730	0.901	1.196	1.439	1.689	
	28.6				0.694	0.826	1.022	1.337	1.640	1.930	
1”1/4	31.7				0.773	0.921	1.140	1.495	1.838	2.485	
1”3/8	35.0				0.849	1.019	1.256	1.649	2.030	2.398	
1”1/2	38.1				0.932	1.113	1.380	1.815	2.237	2.646	
1”3/4	44.4				1.092	1.304	1.619	2.133	2.635	3.904	
1”7/8	47.6					1.391	1.728	2.279	2.818	3.434	
2”	50.8				1.252	1.496	1.859	2.453	3.018	3.604	4.705
2”1/4	57.1					1.672	2.084	2.754	3.411	4.055	5.307
2”1/2	63.5				1.570	1.679	2.337	3.091	3.811	4.562	5.947
3”	76.2				1.887	2.259	2.812	3.725	4.604	5.512	7.216
3”1/4	82.5						3.036	4.023	4.998	5.960	7.846
3”1/2	88.9						3.276	4.343	5.398	6.440	8.486
4”	101.6						3.774	5.086	6.190	7.434	9.755
5”	127							6.283	7.777	9.349	12.294
6”	152.4							7.560	9.364	11.265	14.833
8”	203.2							10.113	12.538	15.095	19.910
10”	254							12.667	15.711	16.925	24.987
12”	304.6							15.210	18.872	22.740	30.045

Peso aprox. kg/mt.



Caños y tubos de acero inoxidable

Tubos diámetro exterior con costura (Stainless steel welded tubes)

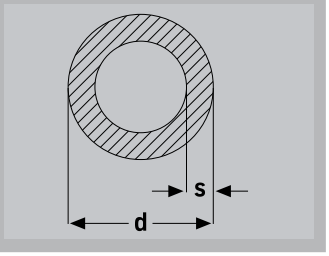
TP 304 - 304L - 316L - Según Norma ASTM A269 - A249 - A270

Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)	
Pulgadas	mm.	1.5	2.0
1”	25.4	0.901	1.176
1”1/4	31.7	1.140	1.495
1” 1/2	38.1	1.330	1.815
2”	50.8	1.659	2.453
2”1/2	63.5	2.337	3.091
3”	76.2	2.812	3.725
4”	101.6	3.752	5.086

Terminación
Decapado, superficie lisa
Pulido gritt 180, pulido gritt 400
Pulido interior sanitario por solicitud
Aplicación
Intercambiadores de calor
Conducción de fluídos, industria farmacéutica, alimenticia, etc.
Largo estándar: 6000 mm.

Consultar por otros diámetros, espesores y largos especiales

Peso aprox. kg/mt.



Caños diámetro exterior nominal con costura (Stainless steel welded pipes)

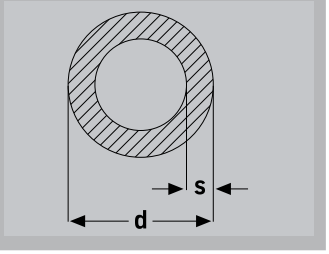
TP 304 - 304L - 316L - Según Norma ASTM A554 - Espesores Milimétricos

Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)							
Pulgadas	mm.	1	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5	4
1/8”	10.3	0.233	0.273						
1/4”	13.75	0.319	0.377	0.460					
3/8”	17.2	0.407	0.483	0.592					
1/2”	21.5		0.612	0.754	0.980	1.187	1.395		
3/4”	26.6		0.766	0.946	1.237	1.505	1.779		
1”	33.4		0.968	1.119	1.573	1.930	2.285		
1”1/4	42.2		1.237	1.594	2.021	2.480	2.956		
1”1/2	48.3		1.421	1.764	2.327	2.661	3.416	3.918	
2”	60.3		1.782	2.217	2.930	3.632	4.320	4.967	5.627
2”1/2	73			2.680	3.569	4.404	5.247	6.078	6.896
3”	88.9			3.275	4.368	5.397	6.477	7.469	8.486
3”1/2	101.6			3.774	5.086	6.191	7.434	8.579	9.755
4”	114.3				5.695	6.984	8.392	9.690	11.024
5”	141.3				1.002	8.671	10.428	12.051	13.723
6”	168.3				8.359	10.418	12.463	14.413	16.422
8”	219.1				10.913	13.609	16.284	18.85	21.450
10”	273.1				13.627	16.904	20365	23.578	26.896
12"	323.80						24.188	28.812	31.964
14"	355.60						26.540	30.793	35.142
16"	406.40						30.204	35.936	40.220

Terminación
Decapado, superficie lisa
Pulido exterior gritt 180-240
Aplicación
Muebles, carpintería metálica, autopartes, etc.
Largo estándar: 6000 mm

Consultar por otros diámetros, espesores y largos especiales

Peso aprox. kg/mt.



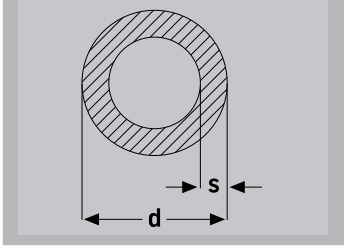
Caños y tubos de acero inoxidable

Caños diámetro exterior nominal con costura

TP 304 - 304L - 316L - Según Norma ASTM A312 - A409 - A778

Terminación
Decapado y Pasivado, superficie lisa
Aplicación
Conducción en altas y bajas temperaturas y en ambientes corrosivos
Largo estándar: 6000 mm
Dimensiones según
ANSI B 36.19 y ANSI B 36.10

Peso aprox. kg/mt.



Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)					
Pulgadas	mm.	sch 5S	kg./mt.	sch10S	kg./mt.	sch 40S	kg./mt.
1/8”	10.3				0.280	1.73	0.370
1/4”	13.75			1.65	0.510	2.24	0.670
3/8”	17.2			1.65	0.660	2.31	0.880
1/2”	21.5	1.65	0.817	2.11	1.040	2.77	1.330
3/4”	26.6	1.65	1.038	2.11	1.330	2.87	1.750
1”	33.4	1.65	1.317	2.77	2.170	3.38	2.590
1”1/4	42.2	1.65	1.671	2.77	2.770	3.56	3.500
1”1/2	48.3	1.65	1.933	2.77	3.200	3.69	4.170
2”	60.3	1.65	2.433	2.77	4.040	3.91	5.590
2”1/2	73	2.11	3.761	3.05	5.340	5.16	8.860
3”	88.9	2.11	4.602	3.05	6.540	5.49	11.052
3”1/2	101.6	2.11	5.248	3.05	7.514	5.74	13.900
4”	114.3	2.11	5.949	3.05	8.6640	6.02	16.840
5”	141.3	2.77	9.644	3.40	11.820	6.55	22.260
6”	168.3	2.77	11.522	3.40	14.130	7.11	26.080
8”	219.1	2.77	15.066	3.76	20.390	8.18	43.560
10”	273.1	3.40	22.092	4.19	28.163	9.27	61.131
12”	323.8	3.97	31.837	4.57	36.677	9.53	74.811
14”	355.6	3.97	34.812	4.78	41.923	11.13	82.367
16”	406.4	4.2	42.131	4.78	47.994	12.70	94.457

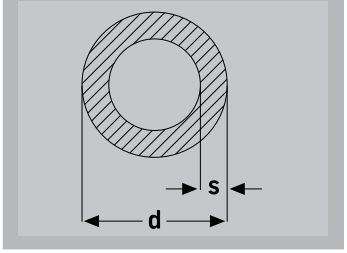
Caños diámetro exterior nominal sin costura (Stainless steel seamless pipes)

TP 304 - 304L - Según Norma ASTM A312

Terminación
2B
Decapado y Pasivado
Aplicación
Conducción
Largo estándar: 6000 mm

Dimensiones según
ANSI B 36.19 y ANSI B 36.10

Peso aprox. kg/mt.



Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)									
Pulgadas	mm.	sch 5S	kg./ mt.	sch 10S	kg./ mt.	sch 40S	kg./ mt.	sch 80S	kg./ mt.	sch 160S	kg./ mt.
1/8”	10.3				0.280	1.73	0.370				
1/4”	13.75			1.65	0.510	2.24	0.670	3.02	0.840		
3/8”	17.2			1.65	0.660	2.31	0.880	3.20	1.160		
1/2”	21.5	1.65	0.817	2.11	1.040	2.77	1.330	3.73	1.690	4.78	1.980
3/4”	26.6	1.65	1.038	2.11	1.330	2.87	1.750	3.91	2.200	5.56	2.942
1”	33.4	1.65	1.317	2.77	2.170	3.38	2.590	4.55	3.350	6.35	4.300
1”1/4	42.2	1.65	1.671	2.77	2.770	3.56	3.500	4.85	4.600	6.35	5.690
1”1/2	48.3	1.65	1.933	2.77	3.200	3.69	4.170	5.08	5.570	7.14	7.350
2”	60.3	1.65	2.433	2.77	4.040	3.91	5.590	5.54	7.680	8.74	11.100
2”1/2	73	2.11	3.761	3.05	5.340	5.16	8.860	7.01	11.700	9.52	15.140
3"	88.90	2.11	4.578	3.05	6.546	5.49	11.448	7.62	15.510	11.13	21.670
3"1/2	101.60	2.11	5.248	3.05	7.514	5.74	13.756	8.08	18.920		
4"	114.30	2.11	5.918	3.05	8.483	6.02	16.296	8.56	22.660	13.49	34.050
5"	141.30	2.77	9.593	3.40	11.722	6.55	22.065	9.53	31.410	15.88	49.870
6"	168.30	2.77	11.462	3.40	14.015	7.11	28.648	10.97	43.210	18.26	68.590
8"	219.10	2.77	14.979	3.76	20.240	8.18	43.129	12.70	65.630	23.01	112.96
10"	273.10	3.40	22.920	4.19	28.163	9.27	61.131	92.70	83.120		

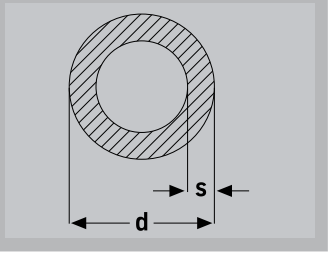
Caños y tubos de acero inoxidable

Tubos sin costura (Stainless steel seamless tubing)

TP 304L - 316L - Según ASTM A269

Diámetro ext. (d)		Espesor de Pared (s)		
		BWG 20 0.89	BWG 18 1.24	BWG 16 1.65
1/4"	6.35	0.12	0.16	
5/16"	7.94	0.16	0.21	
3/8"	9.53	0.19	0.26	
1/2"	12.7	0.26	0.36	0.46
3/4"	19.05		0.55	0.72
1"	25.4		0.73	0.98
1"1/2	38.1			1.51
2"	50.8			2.03

Peso aprox. kg/mt.

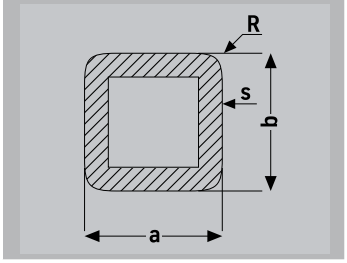


Tubos estructurales cuadrados

TP 304 - 304L - Según Norma ASTM A554

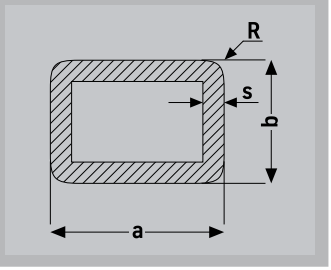
Dimensiones mm (a-b)	Espesor de Pared (s) 1	1.2	1.5	2	3
10 x 10	0.294	0.377			
12 x 12	0.372	0.440	0.565		
15 x 15	0.454	0.538	0.662		
20 x 20	0.628	0.730	0.901		
25 x 25	0.785	0.921	1.140		
30 x 30	0.939	1.143	1.38	1.884	
40 x 40	1.252	1.496	1.859	2.453	3.604
50 x 50			2.337	3.091	4.562
60 x 60			2.812	3.725	5.512
80 x 80			3.774	5.006	7.434
100 x 100				6.283	9.418

Terminación
2B
Pulido exterior gritt 180
Aplicación
Muebles, carpintería metálica
Largo estándar: 6000 mm.
Consultar por otros diámetros, espesores y largos especiales



Tubos estructurales rectangulares

TP 304 - 304L - Según Norma ASTM A554

Dimensiones mm (a-b)	Espesor de Pared (s) 1	1.2	1.5	2	3
20 x 10	0.454	0.538			
30 x 15	0.694	0.826			
40 x 20	0.932	1.113	1.380		
50 x 20		1.304	1.619		
50 x 25		1.421	1.764		
60 x 30			2.104		
60 x 40			2.337	3.091	4.562
80 x 40			2.812	3.725	5.512
80 x 60			3.305	4.382	6.497
100 x 50			3.545	4.702	7.069
100 x 60			3.774	5.006	7.434

Terminación
2B
Pulido exterior gritt 180
Aplicación
Muebles, carpintería metálica
Largo estándar: 6000 mm.
Consultar por otros diámetros, espesores y largos especiales