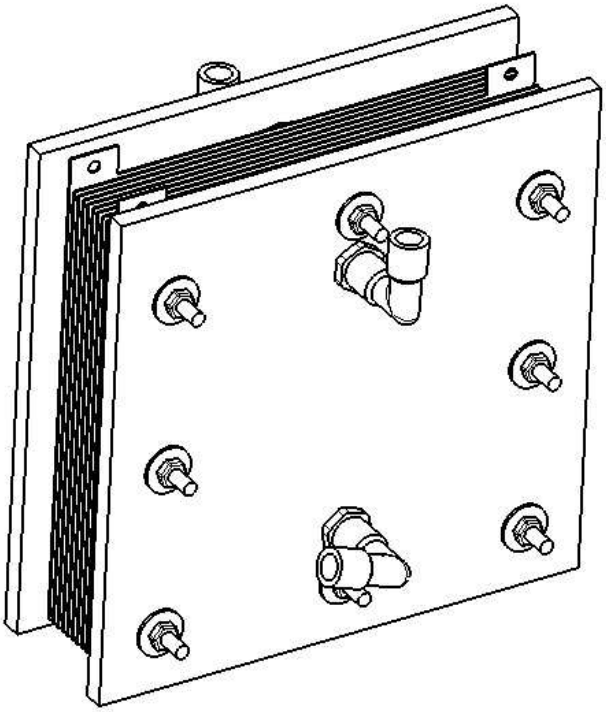
PROYECTO FINAL DE CARRERA

Estudio, diseño y construcción de un generador de hidrógeno por electrólisis.



Autor del proyecto: Héctor Holgado Secas
Director del proyecto: Manuel Rodríguez Castillo
Titulación: Ingeniería Técnica Naval en Propulsión y Servicios del Buque
Centro: Facultat de Nàutica de Barcelona, UPC
Curso: 2011 – 2012
Cuatrimestre: Primavera

Facultat de Nàutica de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

ÍNDICE

1. Introducción ---------- 7

2. Situación energética actual ---------- 9
   2.1. Carbón ---------- 10
      2.1.1. Tipos de carbón ---------- 12
      2.1.2. Producción ---------- 13
      2.1.3. Proceso de extracción ---------- 15
      2.1.4. Reservas ---------- 16
      2.1.5. Aplicaciones ---------- 17
      2.1.6. Problemas ---------- 19
   2.2. Gas ---------- 20
      2.2.1. Gas Natural ---------- 20
      2.2.2. Producción ---------- 22
      2.2.3. Proceso de extracción ---------- 23
      2.2.4. Transporte ---------- 23
      2.2.5. Reservas ---------- 24
      2.2.6. Aplicaciones ---------- 25
      2.2.7. Problemas ---------- 26
   2.3. Petróleo y derivados ---------- 27
      2.3.1. Composición ---------- 28
      2.3.2. Clasificación de los diferentes tipos de petróleo ------ 29
      2.3.3. Producción ---------- 30
      2.3.4. Proceso de extracción ---------- 31
      2.3.5. Refinado ---------- 32
      2.3.6. Transporte ---------- 35
      2.3.7. Reservas ---------- 36
      2.3.8. Consumo ---------- 37
      2.3.9. Aplicaciones ---------- 38
      2.3.10. Problemas ---------- 40

3. Energías alternativas ---------- 41
   3.1. Energía solar ---------- 42
      3.1.1. Energía solar fotovoltaica ---------- 43
      3.1.2. Energía solar térmica ---------- 44
   3.2. Energía eólica ---------- 47
      3.2.1. Ventajas e inconvenientes ---------- 49

3.3. Energía hidráulica ---------- 53
3.3.1. Ventajas e inconvenientes ---------- 56
3.4. Energía producida por el mar ---------- 58
3.4.1. Energía mareomotriz ---------- 59
3.4.2. Energía de las corrientes ---------- 61
3.4.3. Energía maremotérmica ---------- 62
3.4.4.Energía de las olas o undimotriz ---------- 63
3.4.5.Energía del gradiente salino ---------- 67
3.5. Energía geotérmica ---------- 68
3.5.1. Ventajas e inconvenientes ---------- 71
3.6. Biomasa ---------- 73

4. Hidrógeno ---------- 77
4.1. Historia del hidrógeno ---------- 78
4.2. Estructura atómica del hidrógeno ---------- 80
4.2.1. Niveles energéticos electrónicos ---------- 81
4.2.2. Isótopos ---------- 82
4.3. Dihidrógeno ---------- 84
4.4. Propiedades del hidrógeno ---------- 85
4.4.1. Propiedades físicas ---------- 85
4.4.2. Propiedades químicas ---------- 86
4.4.3. Tabla de propiedades y características ---------- 87
4.4.4. Características ---------- 88
4.5. Obtención del hidrógeno ---------- 90
4.6. Aplicaciones ---------- 95
4.7. Almacenamiento y transporte ---------- 98
4.7.1. Almacenamiento en forma gaseosa ---------- 98
4.7.2. Transporte en forma gaseosa ---------- 99
4.7.3. Almacenamiento en forma líquida ---------- 100
4.7.4. Transporte en forma líquida ---------- 103
4.7.5. Transporte en forma sólida ---------- 105

5. Diseño del generador de hidrógeno ---------- 107
5.1. Tipo de generador ---------- 108
5.1.1. Características a tener en cuenta ---------- 110
5.2. Cálculos ---------- 112
5.3. Diseño ---------- 114
5.3.1. Diseño del generador ---------- 115
5.3.1.1. Componentes del generador ---------- 120

5.3.2. Diseño del sistema ---------- 122
5.3.2.1. Circuito de gas ---------- 123
5.3.2.2. Elementos de seguridad ---------- 124
5.3.2.3. Componentes del circuito de gas ---------- 126
5.3.3. Circuito eléctrico ---------- 128
5.3.3.1. Componentes del circuito eléctrico ---------- 132
5.4. Planos ---------- 134
5.5. Construcción del prototipo ---------- 135
5.6. Ensayos ---------- 161
5.6.1. Fotos de los ensayos ---------- 170

6. Conclusión ---------- 177

7. Bibliografía ---------- 180

Anexo I: Especificaciones técnicas del generador ---------- 182

Anexo II: Planos ---------- 183

Anexo III: Costes ---------- 207

Anexo IV: Archivos adjuntos ---------- 209

"¿Se convertirá el hidrógeno en el combustible renovable e inagotable del futuro?"

1. INTRODUCCIÓN

La situación energética actual se fundamenta en un modelo energético insostenible, ya que gran parte de la energía consumida proviene de fuentes no renovables, básicamente combustibles fósiles como son el carbón, el gas o el petróleo además de la energía nuclear. Si añadimos que cada año aumenta la población mundial y también el consumo energético, esto provoca que estas fuentes energéticas se agoten más rápidamente y no se pueda abastecer de energía suficiente a toda la población para mantener el nivel de vida de los países desarrollados y los países emergentes.

Todo esto lo que provoca es el encarecimiento del precio de las materias primas, que al final repercute en el precio final de la energía. Además también tienen otro gran problema, los gases contaminantes que generan al quemarse. Estos gases son perjudiciales para la salud, ya que son los causantes de numerosas enfermedades pulmonares. También provoca varios efectos negativos para el planeta, como son el efecto invernadero, el calentamiento global, el oscurecimiento global, la lluvia ácida, etc., perjudiciales para la vida y el medio ambiente.

Por eso, una de las soluciones a este problema pasa por utilizar un modelo energético sostenible, utilizando fuentes renovables de energía como la energía eólica, solar, mareomotriz, o el hidrógeno como combustible. Estas fuentes energéticas son inagotables y limpias, ya que no producen ningún tipo de contaminante ni residuo durante la generación de energía.

Muchos países ya han empezado a apostar por las energías alternativas y se están haciendo investigaciones sobre estas energías, pero todavía se sigue dependiendo de los combustibles fósiles y de la energía nuclear.

Cuando hablamos del consumo de energía pensamos en la energía eléctrica, ya que es la principal energía que consumimos en el día a día. Pero no podemos olvidarnos de los vehículos. Estos también son principales consumidores de energía. En este caso de petróleo refinado, ya sea diesel oil o gasolina en vehículos terrestres, diesel-oil o fuel-oil en los barcos o queroseno en las aeronaves. Si tenemos en cuenta todos los vehículos existentes en el mundo, podemos observar que el consumo de petróleo no es poco. Y como hemos comentado antes, las reservas de petróleo se están agotando y además produce contaminación medioambiental.

Llegar a un modelo energético sostenible no solo pasa por generar energía eléctrica con fuentes limpias , sino también por cambiar el modelo energético de los vehículos.

Hay que investigar y buscar alternativas a los motores de combustión interna que consumen refinados del petróleo. Estas investigaciones ya se están llevando a cabo y ya empiezan a aparecer nuevas tecnologías, como los vehículos eléctricos.

Otra de las tecnologías que se desarrollará es la del hidrógeno, ya que es un combustible con unas excelentes propiedades, que en un futuro será una de las principales fuentes de energía. Ya sea en forma de pilas de hidrógeno y motores eléctricos, o motores de combustión interna que quemen hidrógeno.

Para que esto sea una realidad, aún tiene que pasar mucho tiempo y muchas investigaciones, ya que esta tecnología no está suficientemente desarrollada. El problema del carburante es un problema actual, que ya nos está afectando y hay que buscar soluciones de aplicación inmediata como es reducir el consumo. Hay que intentar reducir el consumo de petróleo hasta que en un futuro haya la tecnología suficiente para no depender de él.

Por eso el objetivo de este proyecto es realizar un estudio y diseño de un generador de hidrógeno, no para la producción de hidrógeno en cantidades industriales como será necesario en un futuro, sino un generador de pequeñas dimensiones y producción de hidrógeno reducida, para la aplicación en vehículos con motor de combustión interna. Con la energía eléctrica generada por el motor y la batería, se alimenta el generador de hidrógeno, que produce una cantidad pequeña de gas, que no sirve para mover el motor, pero que si lo utilizamos junto con el combustible normal, (gasolina o gasoil) podemos obtener un ahorro de combustible de 10-15%. Además también mejoramos la combustión, reduciendo así los gases contaminantes que se producen (NOx y CO2).

Esta sería una posible medida para reducir el consumo de petróleo hasta el día en que la tecnología esté suficientemente desarrollada y el modelo energético global sea sostenible y no dependa de los combustibles fósiles como el petróleo.

2. SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

La energía y los servicios que proporciona son un factor básico para el desarrollo de la humanidad y poder disponer de ella es muy favorable para el bienestar de la sociedad. La historia muestra claramente cómo el desarrollo económico de las últimas décadas, y particularmente en los últimos años, ha ido acompañado de un crecimiento de la demanda energética en sus diferentes formas. Actualmente la demanda mundial de energía está incrementándose a una tasa promedio de 2%. Se anticipa que este incremento ha de continuar, y por tanto, el consumo de energía será el doble de 1995 en el 2030 y el triple en el 2050. Cobran fuerza, en este escenario, fuentes energéticas tales como la biomasa (12%) y la energía nuclear (20%). La participación del carbón se proyecta cercana al 40% para el año 2100, donde el petróleo prácticamente habrá desaparecido como fuente energética.

Los suministros adecuados de energía son esenciales para que las naciones del mundo mantengan su expansión industrial y económica. En el mundo en desarrollo, la primera señal de mejora de los estándares de vida es la disponibilidad de electricidad. Inicialmente, ésta puede utilizarse solamente para proveer luz, pero es inmediatamente requerida para encender artefactos electrodomésticos de todo tipo para uso residencial e industrial. Las economías de los países en desarrollo, con su desarrollo industrial y el aumento en los estándares de vida, están consumiendo electricidad, a una tasa que aumenta rápidamente. En Indonesia, por ejemplo, la generación de energía se ha duplicado cada 5 años en los últimos 25 años y se espera que siga creciendo como mínimo a este ritmo.

Como se ha comentado antes, hoy en día las principales fuentes de energía no son limpias ni renovables .Los combustibles utilizados en la actualidad básicamente son cuatro: Carbón, gas, petróleo y energía nuclear.

2.1. Carbón

El carbón o carbón mineral es una roca sedimentaria de color negro, muy rica en carbono, utilizada como combustible fósil. Suele localizarse bajo una capa de pizarra y sobre una capa de arena y arcilla. Se cree que la mayor parte del carbón se formó durante el período Carbonífero (hace 280 a 345 millones de años).

El carbón se origina por la descomposición de vegetales terrestres, hojas, maderas, cortezas, y esporas, que se acumulan en zonas pantanosas, lagunares o marinas, de poca profundidad. Los vegetales muertos se van acumulando en el fondo de una cuenca. Quedan cubiertos de agua y, por lo tanto, protegidos del aire que los destruiría. Comienza una lenta transformación por la acción de bacterias anaerobias, un tipo de microorganismos que no pueden vivir en presencia de oxígeno. Con el tiempo se produce un progresivo enriquecimiento en carbono. Posteriormente pueden

Imagen de una roca de carbón

cubrirse con depósitos arcillosos, lo que contribuirá al mantenimiento del ambiente anaerobio, adecuado para que continúe el proceso de carbonificación. Los geólogos estiman que una capa de carbón de un metro de espesor proviene de la transformación por el proceso de diagénesis de más de diez metros de limos carbonosos.

Los depósitos de carbón están frecuentemente asociados con el mercurio. Hay otra teoría que explica que el carbón se forma con emanaciones continuas de gas metano en las profundidades de la tierra.

En las cuencas carboníferas las capas de carbón están intercaladas con otras capas de rocas sedimentarias como areniscas, arcillas, conglomerados y, en algunos casos, rocas metamórficas como esquistos y pizarras. Esto se debe a la forma y el lugar donde se genera el carbón.

Si, por ejemplo, un gran bosque está situado cerca del litoral y el mar invade la costa, el bosque queda progresivamente sumergido, por descenso del continente o por una transgresión marina, y los vegetales muertos y caídos se acumulan en la plataforma litoral. Si continúa el descenso del continente o la invasión del mar, el bosque queda totalmente inundado. Las zonas emergidas cercanas comienzan a erosionarse y los productos resultantes, arenas y arcillas, cubren los restos de los vegetales que se van transformando en carbón. Si se retira el mar, puede desarrollarse un nuevo bosque y comenzar otra vez el ciclo.

En las cuencas hulleras se conservan, tanto en el carbón como en las rocas intercaladas, restos y marcas de vegetales terrestres que pertenecen a especies actualmente desaparecidas. El tamaño de las plantas y la exuberancia de la vegetación permiten deducir que el clima en el que se originó el carbón era probablemente clima tropical.

2.1.1. Tipos de carbón

Existen diferentes tipos de carbones minerales en función del grado de carbonificación que haya experimentado la materia vegetal que originó el carbón. Estos van desde la turba, que es el menos evolucionado y en que la materia vegetal muestra poca alteración, hasta la antracita que es el carbón mineral con una mayor evolución. Esta evolución depende de la edad, así como de la profundidad y condiciones de presión, temperatura, entorno, etc., en las que la materia vegetal evolucionó hasta formar el carbón mineral.

El rango de un carbón mineral se determina en función de criterios tales como su contenido en materia volátil, contenido en carbono fijo, humedad, poder calorífico, etc. Así, a mayor rango, mayor es el contenido en carbono fijo y mayor el poder calorífico, mientras que disminuyen su humedad natural y la cantidad de materia volátil. Existen varias clasificaciones de los carbones según su rango. Una de las más utilizadas divide a los carbones de mayor a menor rango en:

- Antracita
- Bituminoso bajo en volátiles
- Bituminoso medio en volátiles
- Bituminoso alto en volátiles
- Sub-bituminoso
- Lignito
- Turba

La hulla es un carbón mineral de tipo bituminoso medio y alto en volátiles.

2.1.2. Producción

A continuación podemos observar dos tablas con la producción mundial de carbón hasta el año 2009 y los principales países productores de carbón.

La producción mundial de carbón de 2001 a 2009 ha sido (en millones de toneladas):

	Carbón bituminoso y antracita	**Carbón sub-bituminoso y lignito**
2009	5 990 Mt	913 Mt
2008	5 794 Mt	965 Mt
2007	5 542 Mt	956 Mt
2006	5 205 Mt	937 Mt
2005	4 934 Mt	906 Mt
2004	4 631 Mt	893 Mt
2003	4 231 Mt	893 Mt
2002	3 910 Mt	882 Mt
2001	3 801 Mt	897 Mt

La lista de países por producción de carbón en 2007, basada en el Statistical Review of World Energy 2008 publicado por BP en 2008. Clasifica a los países con una producción de carbón de más de 3 millones de toneladas.

Rango	País/Región	producción de carbón (Mt)	Porcentaje (%)
	Mundo	6,395.6	99
1	República Popular China	2,536.7	39,7
2	Estados Unidos	1,039.2	16.2
3	Unión Europea	590,5	9,2
4	India	478,2	7,5
5	Australia	393,9	6,2
6	Rusia	314,2	4,9
7	Sudáfrica	269,4	4.2
8	Alemania	201,9	3,2
9	Indonesia	174,8	2,7
10	Polonia	145,8	2.3
11	Kazajistán	94,4	1.5
12	Turquía	76,6	1.2
13	Ucrania	76.3	1.2
14	Colombia	71,7	1.1
15	Canadá	69,4	1.1

16	República Checa	62,6	1,0
17	Grecia	62,5	1,0
18	Vietnam	41,2	0,6
19	Rumania	35,4	0,6
20	Bulgaria	30,4	0,5
21	Tailandia	18.3	0.3
22	España	18.2	0.3
23	Reino Unido	17,0	0,3
24	México	12.2	0.2
25	Hungría	9.8	0.2
26	Venezuela	8,0	0,1
27	Brasil	5,9	0,1
28	Nueva Zelanda	4,6	0,1
29	Pakistán	3,7	0,1

Las reservas de carbón se encuentran muy repartidas, con 70 países con yacimientos aprovechables. Al ritmo actual de consumo se calcula que existen reservas seguras para 133 años, por 42 y 60 del petróleo y el gas, respectivamente. Además, el 67% de las reservas de petróleo y el 66% de las de gas se encuentran en Oriente Medio y Rusia.

El hombre extrae carbón desde la Edad Media. En los yacimientos poco profundos la explotación es a cielo abierto. Sin embargo, por lo general las explotaciones de carbón se hacen con minería subterránea ya que la mayoría de las capas se encuentran a cientos de metros de profundidad.

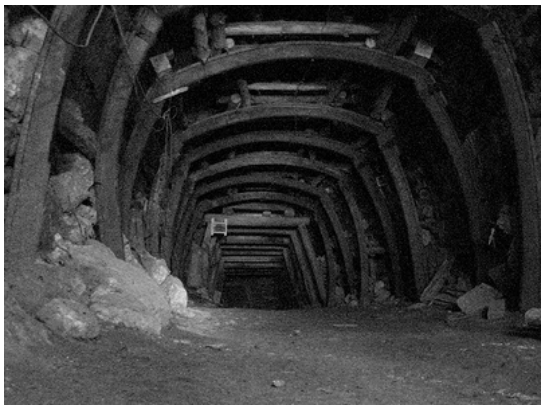
2.1.3. Proceso de extracción

El carbón se puede extraer de canteras a cielo abierto o en minas subterráneas. En la actualidad quedan pocos yacimientos al aire libre porque ya se han agotado, de modo que lo normal es que se extraiga del subsuelo y a bastante profundidad.

A la hora de abrir una mina es importante hacer primero una prospección del terreno para averiguar si resultará rentable. En ocasiones, el carbón se encuentra a tanta profundidad que el coste de extracción es superior al precio final de venta. O se trata de un carbón con un contenido tan bajo en carbono que tampoco resulta rentable su extracción.

El carbón, tal y como sale de las minas, se debe lavar para eliminar las impurezas de azufre. Después se muele y tritura hasta pulverizarlo. Por último se procede a cribarlo y a clasificarlo, separando los distintos tipos de carbón.

La extracción del carbón supone grandes riesgos para los trabajadores (posibilidad de derrumbes, explosiones causadas por el gas grisú que se acumula en las minas, enfermedades debidas a la inhalación del polvo de sílice, etc.).



Imágenes de una cantera de carbón abierta a la superficie (1) y la de una galería de una mina de carbón subterránea (2).

2.1.4. Reservas

El carbón es el combustible fósil más abundante en el mundo. Se encuentra sobre todo en el Hemisferio Norte, porque durante el período Carbonífero los continentes que ahora están en el Hemisferio Sur, es decir África, América del Sur y Australia, estaban juntos formando un gran súper continente llamado Gondwana, que estaba situado muy cerca del polo sur, con un clima poco propicio para la formación de grandes bosques. En cambio lo que ahora son Asia, Europa y América del Norte estaban situados junto al ecuador en una zona cálida, muy adecuada para el desarrollo de las grandes masas vegetales que formaron las capas de carbón.

Los mayores depósitos de carbón están en América del Norte, Rusia y China, aunque también se encuentra en cantidades considerables en algunas islas del Ártico, Europa occidental, India, África del Sur, Australia y la zona este de América del Sur.

Con el actual ritmo de consumo se calculan reservas de carbón para algo más de 200 años, aunque si se tienen en cuenta las que no son fáciles de explotar en el momento actual, las reservas podrían llegar para otros mil años.

2.1.5. Aplicaciones

El carbón suministra el 25% de la energía primaria consumida en el mundo, sólo por detrás del petróleo. Además es de las primeras fuentes de energía eléctrica, con 40% de la producción mundial. Las aplicaciones principales del carbón son:

1. Generación de energía eléctrica. Las centrales térmicas de carbón pulverizado constituyen la principal fuente mundial de energía eléctrica. En los últimos años se han desarrollado otros tipos de centrales que tratan de aumentar el rendimiento y reducir las emisiones contaminantes, entre ellas las centrales de lecho fluido a presión. Otra tecnología en auge es la de los ciclos combinados que utilizan como combustible gas de síntesis obtenido mediante la gasificación del carbón.

2. Coque. El coque es el producto de la pirólisis del carbón en ausencia de aire. Es utilizado como combustible y reductor en distintas industrias, principalmente en los altos hornos (coque siderúrgico). Dos tercios del acero mundial se producen utilizando coque de carbón, consumiendo en ello 12% de la producción mundial de carbón.

3. Siderurgia. Mezclando minerales de hierro con carbón se obtiene una aleación en la que el hierro se enriquece en carbono, obteniendo mayor resistencia y elasticidad. Dependiendo de la cantidad de carbono, se obtiene:
    1. Hierro dulce: menos del 0,2 % de carbono
    2. Acero: entre 0,2% y 1,2% de carbono
    3. Fundición: más del 1,2% de carbono.

4. Industrias varias. Se utiliza en las fábricas que necesitan mucha energía en sus procesos, como las fábricas de cemento y de ladrillos.

5. Uso doméstico. Históricamente el primer uso del carbón fue como combustible doméstico. Aún hoy sigue siendo usado para calefacción, principalmente en los países en vías de desarrollo, mientras que en los países desarrollados ha sido desplazados por otras fuentes más limpias de calor (gas natural, propano, butano, energía eléctrica) para rebajar el índice de contaminación.

6. Carboquímica. La carboquímica es practicada principalmente en África del Sur y China. Mediante el proceso de gasificación se obtiene del carbón un gas llamado gas de síntesis, compuesto principalmente de hidrógeno y monóxido de carbono. El gas de síntesis es una materia prima básica que puede transformarse en numerosos productos químicos de interés como, por ejemplo:
    1. Amoniaco
    2. Metanol

   3. Gasolina y gasóleo de automoción a través del proceso Fischer-Tropsch (proceso químico para la producción de hidrocarburos líquidos a partir de gas de síntesis, CO y H2).

7. Petróleo sintético. Mediante el proceso de licuefacción directa, el carbón puede ser transformado en un crudo similar al petróleo. La licuefacción directa fue practicada ampliamente en Alemania durante la Segunda Guerra Mundial pero en la actualidad no existe ninguna planta de escala industrial en el mundo.

Estas dos últimas aplicaciones antiguas son muy contaminantes y requieren mucha energía, desperdiciando así un tercio del balance energético global. Debido a la crisis del petróleo se han vuelto a utilizar.

2.1.6. Problemas

La minería del carbón y su combustión causan importantes problemas ambientales y tienen también consecuencias negativas para la salud humana.

Las explotaciones mineras a cielo abierto tienen un gran impacto visual y los líquidos que de ellas se desprenden suelen ser muy contaminantes. En la actualidad , en los países desarrollados, las compañías mineras están obligadas a dejar el paisaje restituido cuando han terminado su trabajo. Lo normal suele ser que conforme van dejando una zona vacía al extraer el mineral, la rellenen y reforesten para que no queden a la vista los grandes agujeros, las tierras removidas y las acumulaciones de derrubios de ganga que, hasta ahora, eran la herencia típica de toda industria minera. También es muy importante controlar y depurar el agua de lixiviación, es decir el agua que, después de empapar o recorrer las acumulaciones de mineral y derrubios, sale de la zona de la mina y fluye hacia los ríos o los alrededores. Este agua va cargada de materiales muy tóxicos, como metales pesados y productos químicos usados en la minería, y es muy contaminante, por lo que debe ser controlada cuidadosamente.

En el proceso de uso del carbón también se producen importantes daños ambientales porque al quemarlo se liberan grandes cantidades de gases responsables de efectos tan nocivos como la lluvia ácida, el efecto invernadero, la formación de smog , etc. El daño que la combustión del carbón causa es mucho mayor cuando se usa combustible de mala calidad, porque las impurezas que contiene se convierten en óxidos de azufre y en otros gases tóxicos.

2.2. Gas

Un gas combustible es un gas que se utiliza como combustible para producir energía térmica mediante un proceso de combustión.

El gas natural (cuyo mayor componente es el metano) es el más habitual, pero existen otros como:

- Gas licuado del petróleo (GLP), como propano o butano. Se obtienen mayoritariamente en la destilación fraccionada del petróleo. Otra parte es obtenida al separarlos del gas natural.

- Hidrógeno. Se obtiene a partir de la electrólisis del agua invirtiendo energía eléctrica, o a partir de gas natural. Es un vector energético y no una fuente de energía primaria. Puede llegar a ser utilizado en el futuro como gas combustible con una mejora de la tecnología.

- Gas de alumbrado (H_2 y CO_2), también conocido como gas de hulla o gas ciudad.

2.2.1. Gas Natural

El gas natural es una de las varias e importantes fuentes de energía no renovables formada por una mezcla de gases ligeros que se encuentra en yacimientos de petróleo, disuelto o asociado con el petróleo o en depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función del yacimiento del que se saca, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 ó 95% (p. ej., el gas no-asociado del pozo West Sole en el Mar del Norte), y suele contener otros gases como nitrógeno, CO_2, H_2S, helio y mercaptanos. Como ejemplo de contaminantes cabe mencionar el gas no-asociado de Kapuni (NZ) que contiene hasta 49% de CO_2. Como fuentes adicionales de este recurso natural, se están investigando los yacimientos de hidratos de metano que, según estimaciones, pueden suponer una reserva energética muy superiores a las actuales de gas natural.

Puede obtenerse también con procesos de descomposición de restos orgánicos (basuras, vegetales - gas de pantanos) en las plantas de tratamiento de estos restos (depuradoras de aguas residuales urbanas, plantas de procesado de basuras, de desechos orgánicos animales, etc.). El gas obtenido así se llama biogás.

Algunos de los gases que forman parte del gas natural cuando es extraído se separa de la mezcla porque no tienen capacidad energética (nitrógeno o CO_2) o porque pueden depositarse en las tuberías usadas para su distribución debido a su alto punto de ebullición. Si el gas fuese criogénicamente licuado para su almacenamiento, el dióxido de carbono (CO_2) solidificaría interfiriendo con el proceso criogénico. El CO_2 puede ser determinado por los procedimientos ASTM D 1137 o ASTM D 1945.

El propano, butano e hidrocarburos más pesados en comparación con el gas natural son extraídos, puesto que su presencia puede causar accidentes durante la combustión del gas natural. El vapor de agua también se elimina por estos motivos y porque a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente y presiones altas forma hidratos de metano que pueden obstruir los gasoductos. Los compuestos de azufre son eliminados hasta niveles muy bajos para evitar corrosión y olores perniciosos, así como para reducir las emisiones de compuestos causantes de lluvia ácida. La detección y la medición de H_2S se puede realizar con los métodos ASTM D2385 o ASTM D 2725.

Para uso doméstico, al igual que al butano, se le añaden trazas de compuestos de la familia de los mercaptano entre ellos el metil-mercaptano, para que sea fácil detectar una fuga de gas y evitar su ignición espontánea.

2.2.2. Producción

Esta es una lista de países según su producción de gas natural en millones de metros cúbicos (m^3). La lista está actualizado según The World Factbook al 14 de octubre de 2010.

Posición	País / Región	Producción (M m^3)
	Mundo	3.186.158,425
1	Estados Unidos	593.400
2	Rusia	546.800
3	Unión Europea	181.600
4	Canadá	161.300
5	Irán	116.300
6	Noruega	103.500
7	Argelia	86.500
8	China	82.940
9	Países Bajos	79.580
10	Arabia Saudita	77.100
11	Catar	76.980
12	Indonesia	70.000
13	Uzbekistán	67.600
14	Egipto	62.700
15	México	60.350
16	Reino Unido	58.560
17	Malasia	57.300
18	Emiratos Árabes Unidos	50.240
19	Australia	42.330
20	Argentina	41.360
21	Trinidad y Tobago	39.300
22	India	38.650
23	Pakistán	37.500
24	Kazajistán	35.610
25	Turkmenistán	34.000
26	Nigeria	32.820
27	Tailandia	28.760
28	Omán	24.000
29	Venezuela	23.060

2.2.3. Proceso de extracción

El proceso de extracción y producción del gas natural es simple, y muy parecido al proceso de extracción del petróleo.

Primero se realiza una exploración del terreno. Para encontrar el lugar ideal para realizar una excavación de gas, es importante analizar antes la composición de las rocas del suelo. Cuanto más precisas sean las técnicas de exploración ,mayor será la posibilidad de descubrir gas durante la perforación.

Para extraer el gas natural se hace perforando el suelo hasta encontrar la bolsa de gas. Esto puede realizarse en tierra o mar.

Una vez que se ha encontrado el gas debe ser extraído. Normalmente el gas está a presión. El gas sale a la superficie gracias a la propia presión de la bolsa de gas. Cuando la presión no es lo suficientemente elevada, se utilizan bombas de extracción.

Una vez extraído, el gas es tratado para eliminar las impurezas y quitarle la humedad.

2.2.4. Transporte

El gas natural se transporta entre los yacimientos y las áreas de consumo mediante gaseoductos, tuberías de acero de gran diámetro, normalmente enterradas.

Cuando se hace necesario el transporte por mar y no es posible, técnica o económicamente, el tendido de gaseoductos submarinos, el gas natural se licúa a 160ºC bajo cero, su volumen queda reducido 600 veces y se transporta en buques metaneros entre los países productores y consumidores. En el puerto receptor es descargado en las plantas o terminales de almacenamiento y regasificación, donde tras ser almacenado a presión atmosférica en grandes tanques criogénicos, es impulsado a alta presión y transformado de nuevo a su fase gas antes de ser inyectado en la red de gaseoductos para su transporte a los centros de consumo.

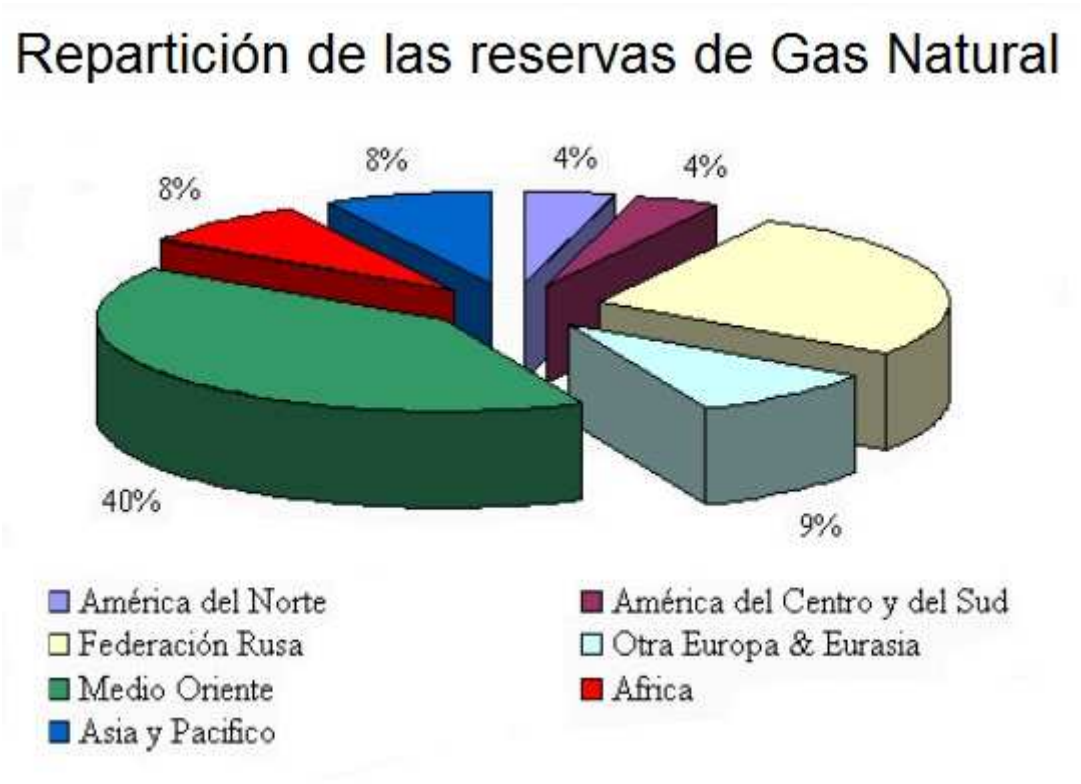
2.2.5. Reservas

Las reservas de gas natural son abundantes pero limitadas, y están ampliamente distribuidas por el planeta. Se estima que puede quedar muchos yacimientos de gas por descubrir.

Las mayores reservas mundiales de gas se encuentran en la antigua Unión Soviética, junto con el Medio Oriente. En conjunto representan las tres cuartas partes de las reservas mundiales.

Las reservas mundiales de gas natural se han multiplicado por dos en el transcurso de los últimos 20 años.

En el siguiente gráfico podemos ver en qué proporción están repartidas las reservas mundiales de gas según los diferentes territorios.



2.2.6. Aplicaciones

El gas natural tiene diversas aplicaciones en la industria, el comercio, la generación eléctrica, el sector residencial y el transporte de pasajeros. Ofrece grandes ventajas en procesos industriales donde se requiere de ambientes limpios, procesos controlados y combustibles de alta confiabilidad y eficiencia.

Adicionalmente, el gas natural es utilizado como materia prima en diversos procesos químicos e industriales. De manera relativamente fácil y económica puede ser convertido a hidrógeno, etileno, o metanol; los materiales básicos para diversos tipos de plásticos y fertilizantes.

En el cuadro siguiente podemos ver las aplicaciones más comunes del gas natural.

Sector	Aplicaciones/Procesos
Industrial	Generación de vapor
	Industria de alimentos
	Secado
	Cocción de productos cerámicos
	Fundición de metales
	Tratamientos térmicos
	Temple y recocido de metales
	Generación eléctrica
	Producción de petroquímicos
	Sistema de calefacción
	Hornos de fusión
Energía	Cogeneración eléctrica
	Centrales térmicas
Comercio y Servicios	Calefacción central
	Aire acondicionado
	Cocción/preparación de alimentos
	Agua caliente
Residencial	Cocina
	Calefacción
	Agua caliente
	Aire acondicionado
Transporte de pasajeros	Taxis
	Buses

2.2.7. Problemas

El principal problema del gas natural es el impacto ambiental que produce el CO_2 generado por la combustión del gas.

El gas natural produce mucho menos CO_2 que otros combustibles como los derivados del petróleo, y sobre todo el carbón. Además es un combustible que se quema más limpia y eficazmente.

La razón por la cual produce poco CO_2 es que el principal componente, metano, contiene cuatro átomos de hidrógeno y uno de carbono, produciendo 2 moléculas de agua por cada una de CO_2, mientras que los hidrocarburos de cadena larga (líquidos) producen sólo 1 molécula de agua por cada 1 de CO_2 (recordemos que el calor de formación del agua es muy alto).

El CO_2 expulsado a la atmósfera en la combustión del gas natural contribuye decisivamente al denominado calentamiento global del planeta, puesto que es un gas que produce el denominado efecto invernadero. El CO_2 es transparente a los rayos visibles y ultravioletas que calientan la Tierra por el día, pero absorbe los rayos infrarrojos que ésta emite al espacio exterior, ralentizando el enfriamiento nocturno del planeta. No obstante, el impacto medioambiental del gas natural es menor que el de otros combustibles fósiles como los carbones o los derivados del petróleo, puesto que apenas emite otros gases contaminantes como los óxidos de azufre (que son emitidos en mayores cantidades en la combustión de los demás combustibles fósiles). Gases que contribuyen, entre otros efectos, a la producción de la denominada lluvia ácida. Su combustión tampoco produce partículas sólidas (cenizas).

2.3. Petróleo y derivados

El petróleo, del griego: πετρέλαιον, "aceite de roca", es una mezcla homogénea de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua. También es conocido como petróleo crudo o simplemente crudo.

Es de origen fósil, fruto de la transformación de materia orgánica depositada en grandes cantidades en fondos anóxicos de mares o zonas lacustres y que fueron posteriormente enterrados bajo pesadas capas de sedimentos. La transformación química (craqueo natural) debida al calor y a la presión durante la diagénesis produce, en sucesivas etapas, desde betún a hidrocarburos cada vez más ligeros (líquidos y gaseosos). Estos productos ascienden hacia la superficie, por su menor densidad, gracias a la porosidad de las rocas sedimentarias. Cuando se dan las circunstancias geológicas que impiden dicho ascenso (trampas petrolíferas como rocas impermeables, estructuras anticlinales, márgenes de diapiros salinos, etc.) se forman entonces los yacimientos petrolíferos.

En condiciones normales es un líquido bituminoso que puede presentar gran variación en diversos parámetros como color y viscosidad (desde amarillentos y poco viscosos como la gasolina hasta líquidos negros tan viscosos que apenas fluyen), densidad (entre 0,75 g/ml y 0,95 g/ml), capacidad calorífica, etc. Estas variaciones se deben a la diversidad de concentraciones de los hidrocarburos que componen la mezcla.

Es un recurso natural no renovable y actualmente también es la principal fuente de energía en los países desarrollados. El petróleo líquido puede presentarse asociado a capas de gas natural, en yacimientos que han estado enterrados durante millones de años, cubiertos por los estratos superiores de la corteza terrestre.

En los Estados Unidos, es común medir los volúmenes de petróleo líquido en barriles (de 42 galones estadounidenses, equivalente a 158,987294928 litros), y los volúmenes de gas en pies cúbicos (equivalente a 28,316846592 litros); en otras regiones ambos volúmenes se miden en metros cúbicos.

2.3.1. Composición

El petróleo está formado principalmente por hidrocarburos, que son compuestos de hidrógeno y carbono, en su mayoría parafinas, naftenos y aromáticos. Junto con cantidades variables de derivados saturados homólogos del metano (CH_4). Su fórmula general es C_nH_{2n+2}.

- **Cicloalcanos o cicloparafinas-naftenos:** hidrocarburos cíclicos saturados, derivados del ciclopropano (C_3H_6) y del ciclohexano (C_6H_{12}). Muchos de estos hidrocarburos contienen grupos metilo en contacto con cadenas parafínicas ramificadas. Su fórmula general es C_nH_{2n}.

- **Hidrocarburos aromáticos:** hidrocarburos cíclicos insaturados constituidos por el benceno (C_6H_6) y sus homólogos. Su fórmula general es C_nH_n.

- **Alquenos u olefinas:** moléculas lineales o ramificadas que contienen un enlace doble de carbono (-C=C-). Su fórmula general es C_nH_{2n}. Tienen terminación -"eno".
    - **Dienos:** Son moléculas lineales o ramificadas que contienen dos enlaces dobles de carbono. Su fórmula general es C_nH_{2n-2}.

- **Alquinos:** moléculas lineales o ramificadas que contienen un enlace triple de carbono. Su fórmula general es: C_nH_{2n-2}. Tienen terminación -"ino".

Además de hidrocarburos, el petróleo contiene otros compuestos orgánicos, entre los que destacan sulfuros orgánicos, compuestos de nitrógeno y de oxígeno. También hay trazas de compuestos metálicos, tales como sodio (Na), hierro (Fe), níquel (Ni), vanadio (V) o plomo (Pb). Asimismo, se pueden encontrar trazas de porfirinas.

2.3.2. Clasificación de los diferentes tipos de petróleo

La industria petrolera clasifica el petróleo crudo según su lugar de origen y también en base a su densidad o gravedad API (ligero, medio, pesado, extrapesado); los refinadores también lo clasifican como "crudo dulce", que significa que contiene relativamente poco azufre, o "ácido", que contiene mayores cantidades de azufre y, por lo tanto, se necesitarán más operaciones de refinamiento para cumplir las especificaciones actuales de los productos refinados.

Crudos de referencia

- Brent Blend, compuesto de quince crudos procedentes de campos de extracción en los sistemas Brent y Ninian de los campos del Mar del Norte, este crudo se almacena y carga en la terminal de las Islas Shetland. La producción de crudo de Europa, África y Oriente Medio sigue la tendencia marcada por los precios de este crudo.
- West Texas Intermediate (WTI) para el crudo estadounidense.
- Dubái se usa como referencia para la producción del crudo de la región Asia-Pacífico.
- Tapis (de Malasia), usado como referencia para el crudo ligero del Lejano Oriente.
- Minas (de Indonesia), usado como referencia para el crudo pesado del Lejano Oriente.

Clasificación del petróleo según su gravedad API

Relacionándolo con su gravedad API el *American Petroleum Institute* clasifica el petróleo en "liviano", "mediano", "pesado" y "extra pesado":

- Crudo liviano o ligero: tiene gravedades API mayores a 31,1 °API
- Crudo medio o mediano: tiene gravedades API entre 22,3 y 31,1 °API.
- Crudo pesado: tiene gravedades API entre 10 y 22,3 °API.
- Crudo extra pesado: gravedades API menores a 10 °API.

2.3.3. Producción

Esta es una lista de países según su producción de petróleo en barriles por día. La lista está actualizado según “The World Factbook”.

Posición	País / Región	Barriles / Día
1	Rusia	10,120,000
2	Arabia Saudita	9,764,000
3	Estados Unidos	9,056,000
4	Irán	4,172,000
5	China	3,991,000
6	Venezuela	3,524,000
7	Canadá	3,289,000
8	México	3,001,000
9	Emiratos Árabes Unidos	2,798,000
10	Brasil	2,572,000
11	Kuwait	2,494,000
12	Irak	2,399,000
13	Unión Europea	2,383,000
14	Noruega	2,350,000
15	Nigeria	2,211,000
16	Argelia	2,125,000
17	Angola	1,948,000
18	Libia	1,790,000
19	Kazajistán	1,540,000
20	Reino Unido	1,502,000
21	Catar	1,213,000
22	Indonesia	1,023,000
23	Azerbaiyán	1,011,000
24	Colombia	1,000,000
25	India	878,700
26	Omán	816,000
27	Argentina	723,700
28	Egipto	680,500
29	Australia	589,200
30	Sudán	486,700

2.3.4. Proceso de extracción

El petróleo se extrae mediante la perforación de un pozo sobre el yacimiento. Si la presión de los fluidos es suficiente, forzará la salida natural del petróleo a través del pozo que se conecta mediante una red de oleoductos hacia su tratamiento primario, donde se deshidrata y estabiliza eliminando los compuestos más volátiles. Posteriormente se transporta a refinerías o plantas de mejoramiento. Durante la vida del yacimiento, la presión descenderá y será necesario usar otras técnicas para la extracción del petróleo. Esas técnicas incluyen la extracción mediante bombas, la inyección de agua o la inyección de gas, entre otras.

Los componentes químicos del petróleo se separan y obtienen por destilación mediante un proceso de refinamiento. De él se extraen diferentes productos, entre otros: propano, butano, gasolina, queroseno, gasóleo, aceites lubricantes, asfaltos, carbón de coque, etc. Todos estos productos, de baja solubilidad, se obtienen en el orden indicado, de arriba abajo, en las torres de fraccionamiento.

Debido a la importancia fundamental para la industria manufacturera y el transporte, el incremento del precio del petróleo puede ser responsable de grandes variaciones en las economías locales y provoca un fuerte impacto en la economía global.

2.3.5. Refinado

El petróleo es una mezcla de productos que para poder ser utilizado en las diferentes industrias y en los motores de combustión debe sufrir una serie de tratamientos diversos. Muy a menudo la calidad de un Petróleo crudo depende en gran medida de su origen . En función de dicho origen sus características varían: color, viscosidad, contenido. Por ello, el crudo a pie de pozo no puede ser utilizado tal cual. Se hace, por tanto, indispensable la utilización de diferentes procesos de tratamiento y transformación para la obtención del mayor número de productos de alto valor comercial. El conjunto de estos tratamientos constituyen el proceso de refino de petróleo o refinación del petróleo.

Destilación fraccionada del petróleo

El petróleo natural no se usa como se extrae de la naturaleza, sino que se separa en mezclas más simples de hidrocarburos que tienen usos específicos, a este proceso se le conoce como destilación fraccionada. El petróleo natural cuando hierve (a unos 400 grados Celsius) se introduce a la parte baja de la torre, todas las sustancias que se evaporan a esa temperatura pasan como vapores a la cámara superior algo más fría y en ella se condensan las fracciones más pesadas que corresponden a los aceites lubricantes. De este proceso se obtienen las fracciones:

- Gases: metano, etano y gases licuados del petróleo (propano y butano)
- Nafta, ligroína o éter de petróleo
- Gasolina
- Queroseno
- Gasóleo (ligero y pesado)
- Fuelóleo
- Aceites lubricantes
- Asfalto
- Alquitrán

La industria petroquímica elabora a partir del petróleo varios productos derivados, además de combustibles, como plásticos, derivados del etileno, pesticidas, herbicidas, fertilizantes o fibras sintéticas.

Métodos de mejoramiento de octanaje

Reforming

Es la reformación de la estructura molecular de las naftas. Las naftas extraídas directamente de la destilación primaria suelen tener moléculas lineales por lo que tienden a detonar por presión. Por eso el *reforming* se encarga de "reformar" dichas moléculas lineales en ramificadas y cíclicas. Al ser más compactas no detonan por efecto de la presión. La reformación puede realizarse de dos maneras distintas, mediante calor (lo cual es muy poco usual y se realiza en menor medida; se denomina reformación térmica) o mediante calor y la asistencia de un catalizador (reformación catalítica).

Reforming catalítico (sin aditivos antidetonantes)

Se deshidrogenan alcanos tanto de cadena abierta como cíclicos para obtener aromáticos, principalmente benceno, tolueno y xilenos, empleando catalizadores de platino -renio -alúmina. En la reformación catalítica el número de átomos de carbono de los constituyentes de la carga no varía. Es posible convertir ciclohexanos sustituidos en bencenos sustituidos; parafinas lineales como el n-heptano se convierten en tolueno y también los ciclopentanos sustituidos pueden convertirse en aromáticos. La reformación catalítica es una reacción a través de iones carbono.

Alquilación

Proceso para la producción de un componente de gasolinas de alto octanaje por síntesis de butilenos con isobutano. El proceso de alquilación es una síntesis química por medio de la cual se une un alcano ramificado al doble enlace de un alqueno, extraído del craking o segunda destilación. Al resultado de la síntesis se le denomina alquilado o gasolina alquilada, producto constituido por componentes isoparafínicos. Su objetivo es producir una fracción cuyas características tanto técnicas (alto octano) como ambientales (bajas presión de vapor y reactividad fotoquímica) la hacen hoy en día, uno de los componentes más importantes de la gasolina reformulada. La alquilación es un proceso catalítico que requiere de un catalizador de naturaleza ácida fuerte, y se utilizan para este propósito ya sea ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico.

Isomerización

Convierte la cadena recta de los hidrocarburos parafínicos en una cadena ramificada. Se hace sin aumentar o disminuir ninguno de sus componentes. Las parafinas, son hidrocarburos constituidos por cadenas de átomos de carbono asociados a hidrógeno, que poseen una gran variedad de estructuras; cuando la cadena de átomos de carbono es lineal, el compuesto se denomina parafina normal, y si la cadena es ramificada, el compuesto es una isoparafina. Las isoparafinas tienen número de octano superior a las parafinas normales, de tal manera que para mejorar la calidad del producto se utiliza un proceso en el que las parafinas normales se convierten en isoparafinas a través de reacciones de isomerización. La práctica es separar por destilación la corriente de nafta en dos cortes, ligero y pesado; el ligero que corresponde a moléculas de cinco y seis átomos de carbono se alimenta al proceso de isomerización, mientras que el pesado, con moléculas de siete a once átomos de carbono, es la carga al proceso de reformación antes descrito. Las reacciones de isomerización son promovidas por catalizador de platino.

2.3.6. Transporte

Los medios por excelencia para el transporte de petróleo son los oleoductos y los buques-tanque.

El paso inmediato al descubrimiento y explotación de un yacimiento es su traslado hacia los centros de refinación o a los puertos de embarque. Para ello se construye un oleoducto, trabajo que consiste en unir tubos de acero a lo largo de un trayecto determinado, desde el campo productor hasta el punto de refinación y/o de embarque. Estas líneas de acero pueden ir sobre la superficie o bajo tierra y atraviesan la más variada topografía.

En la parte inicial del oleoducto una estación de bombeo impulsa el petróleo y, dependiendo de la topografía por donde éste pase, se colocan estratégicamente otras estaciones para que le permitan superar sitios de gran altura. Los oleoductos disponen también de válvulas que permiten controlar el paso del petróleo y atender oportunamente situaciones de emergencia.

Los buques-tanque son a su vez enormes barcos dotados de compartimientos y sistemas especialmente diseñados para el transporte de petróleo crudo, gas, gasolina o cualquier otro derivado. Son el medio de transporte más utilizado para el comercio mundial del petróleo. La capacidad de estas naves varía según el tamaño de las mismas y de acuerdo con el servicio y la ruta que cubran.

2.3.7. Reservas

Si la extracción continúa al mismo ritmo que en el 2008, salvo que se encontrasen nuevos yacimientos, las reservas mundiales durarían aproximadamente 30 años. Se calcula que quedan unas 143.000 millones de toneladas.

Hay entre 6,8 y 7,2 barriles de petróleo por tonelada, en dependencia de la densidad del petróleo. Por tanto, las reservas de crudo se calculan entre 0,97 y 1,003 billones de barriles de petróleo.

Sin embargo el límite de las reservas podría estar más cercano aún si se tienen en cuenta modelos de previsión con un consumo creciente como ha venido siendo norma a lo largo de todo el siglo pasado. Los nuevos descubrimientos de yacimientos se han reducido drásticamente en las últimas décadas haciendo insostenible por mucho tiempo los elevados niveles de extracción actuales, sin incluir la futura demanda de los consumidores asiáticos. Por otra parte, la mayoría de las principales reservas mundiales han entrado en declive y solo las de Oriente Medio mantienen un crecimiento sostenido. Se espera que incluso esos yacimientos entren en declive hacia el 2015, lo que provocaría que toda la producción mundial disminuyera irremediablemente, conduciendo a la mayor crisis energética que haya sufrido el mundo industrializado.

Según la Teoría del pico de Hubbert, actualizada con datos recientes por la "*Asociación para el estudio del pico del petróleo"*, el inicio de dicho declive se habría producido en torno a 2007. La Agencia Internacional de la Energía reconoció en 2010 que el cénit de la extracción mundial de petróleo convencional se había producido en 2006.

Existen otros tipos de reservas de hidrocarburos, conocidos como bitúmenes, el cual es petróleo extra pesado, cuyas reservas más conocidas son las de bitumen de las Arenas de Atabasca en Canadá, y la faja petrolífera del Orinoco en Venezuela. Según cálculos de la estatal venezolana PDVSA, la unión de estas reservas no convencionales con reservas convencionales le da a Venezuela el primer puesto como el país con mayores reservas de hidrocarburos en el planeta.

2.3.8. Consumo

Durante el año 2004, el consumo mundial de petróleo se elevó un 3,4% y alcanzó los 82,4 millones de barriles al día. Los responsables de casi la mitad del aumento son Estados Unidos y China, que en la actualidad utilizan 20,5 y 6,6 millones de barriles diarios, respectivamente.

La demanda mundial de crudo prevista para 2012 será de 89,3 millones de barriles diarios.

Esta es una lista de países según su consumo de barriles de petróleo por día.

Posición	País / Región	Consumo (Barriles / día)
	Mundo	85.980.000
1	Estados Unidos	20,800,000
2	Unión Europea	12.680.000
3	China	6,930,000
4	Japón	5,353,000
5	Alemania	2.650.000
6	Rusia	2.500.000
7	India	2.450.000
8	Canadá	2.294.000
9	Corea del Sur	2.149.000
10	Brasil	2.100.000
11	Francia	1.970.000
12	México	1.970.000
13	Italia	1.881.000
14	Arabia Saudita	1.845.000
15	Reino Unido	1.827.000
16	España	1.573.000
17	Irán	1.510.000
18	Indonesia	1.168.000
19	Taiwán	965.000
20	Países Bajos	946.700
21	Tailandia	900.000
22	Australia	877.300
23	Singapur	800.000
24	Turquía	715.100
25	Bélgica	641.000
26	Egipto	590.000
27	Venezuela	505.000
28	Malasia	515.000
29	Sudáfrica	502.000

2.3.9. Aplicaciones

Del petróleo obtenemos muchos subproductos diferentes, como son la gasolina y el gasoil, diferentes gases, etc. Lo usamos para generar electricidad, obtener energía calorífica y diversos lubricantes para maquinaria y vehículos.

Pero también podemos obtener otras aplicaciones del petróleo aparte de la transformación en otros productos.

Algunas de las utilidades y usos del petróleo y sus derivados son:

Sector	Aplicaciones/Procesos
Industrial	Plásticos
	Fabricación de aceros y electrodos
	Aislamiento material eléctrico
	Cable comunicación y fibra óptica
	Aceites y lubricantes
	Etc.
Alimentación	Colorantes
	Antioxidantes
	Conservantes
	Envasado de alimentos
	Latas y botellas
	Etc.
Textil	Fibras sintéticas
	Nailon
	Tratamiento de pieles
	Suelas zapatos
	Etc.
Limpieza	Champú
	Fabricación de detergentes
	Productos de limpieza
	Etc.
Agricultura	Insecticidas
	Herbicidas
	Fertilizantes
	Etc.

Medicina	Prótesis
	Implantes de odontología
	Gafas
	Pomadas
	Ungüentos
	Etc.
Combustible	Calefacción
	Automóviles
	Aviones
	Barcos
	Etc.
Construcción	Carreteras
	Pavimentos
	Cementos
	Hormigón
	Pinturas
	Etc.
Muebles	Aglomerados
	Productos laminados
	Etc.
Papel	Libros
	Tratamiento de papel y cartones.
	Etc.

Otros productos de uso cotidiano: alfombras, cortinas para baño, bolsas de basura, fósforos, mangueras, chalecos salvavidas, tiendas de campaña, raquetas de tenis, juguetes, bolígrafos, pegamento, etc.

2.3.10. Problemas

Contaminación

El petróleo tiene el problema de ser insoluble en agua y por lo tanto, difícil de limpiar. Además, la combustión de sus derivados produce productos residuales: partículas, CO_2, SO_x (óxidos de azufre), NO_x (óxidos nitrosos), etc.

En general, los derrames de hidrocarburos afectan profundamente a la fauna y flora del lugar, razón por la cual la industria petrolera mundial debe cumplir normas y procedimientos estrictos en materia de protección ambiental.

Casi la mitad del petróleo y derivados industriales que se vierten en el mar, son residuos que vuelcan las ciudades costeras. El mar es empleado como un accesible y barato depósito de sustancias contaminantes.

Otros derrames se deben a accidentes que sufren los grandes barcos contenedores de petróleo, que por negligencia transportan el combustible en condiciones inadecuadas.

De cualquier manera, los derrames de petróleo representan una de las mayores causas de la contaminación oceánica. Ocasionan gran mortandad de aves acuáticas, peces y otros seres vivos de los océanos, alterando el equilibrio del ecosistema. En las zonas afectadas, se vuelven imposibles la pesca, la navegación y el aprovechamiento de las playas con fines recreativos.

Cambio climático

La combustión de los derivados del petróleo es una de las principales causas de emisión de CO2, cuya acumulación en la atmósfera genera el cambio climático.

Conflictos geopolíticos

El control del petróleo se ha vinculado a diversos conflictos bélicos desde la Segunda Guerra Mundial hasta los más recientes en Iraq (1991 y 2004).

3. ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Como se ha comentado en el apartado anterior, la energía es un factor básico para el progreso y el bienestar de una sociedad. En una sociedad como la actual, en permanente desarrollo y crecimiento, exige también una demanda creciente de energía. En un sistema energético como el actual, que las principales fuentes de energía son los combustibles fósiles y la energía nuclear, y sabiendo que estos son finitos, es inevitable que en un determinado momento la demanda energética global no pueda ser abastecida y todo el sistema se colapse, produciéndose una crisis energética. Para evitar esto, la solución es investigar y desarrollar nuevos métodos para obtener energía, las energías alternativas.

Las diferentes energías renovables, son aquellas que se obtienen de fuentes naturales inagotables, ya sea porque son capaces de regenerarse por medios naturales o por el gran poder energético que contienen. Además durante el proceso de transformación de estas energías no se producen ningún tipo de residuos ni contaminantes.

El concepto de energía alternativa, es similar pero no idéntico al de energía renovable. La alternativa, o fuente alternativa es aquella que puede suplir a las fuentes energéticas actuales, ya sea por su posibilidad de renovación o por su menos efecto contaminante. Según esta definición, algunos autores incluyen la energía nuclear dentro de las alternativas, ya que generan muy pocos gases de efecto invernadero.

El Sol está en el origen de todas las energías renovables ya que su calor provoca en la Tierra las diferencias de presión que dan origen a los vientos, fuente de la energía eólica. El Sol ordena el ciclo del agua, causa de la evaporación que predispone la formación de nubes y, por tanto, las lluvias. También del Sol procede la energía mareomotriz. Las plantas se sirven del Sol para realizar la fotosíntesis, vivir y crecer.

Toda esa materia vegetal es la biomasa. Por último, el Sol se aprovecha directamente en las energías solares, tanto la térmica como la fotovoltaica.

El hidrógeno no es una fuente de energía, como tampoco lo es la electricidad, pero es sin duda el combustible limpio del futuro y algún día se producirá fundamentalmente a partir de energías renovables.

En este apartado, se explicaran las diferentes energías renovables que existen actualmente y sus características principales.

3.1. Energía solar

Como bien sabemos, la energía solar es un tipo de energía que no contamina, y sobre todo que no se acaba, por lo que a día de hoy es uno de los tipos de energía que más se está investigando, sobre todo teniendo en cuenta que es inagotable, no como las fuentes de energía que se usan actualmente.

En primer lugar, hay que recordar que la energía solar es recogida del sol, y se transforma en energía útil para el ser humano y sus necesidades.

Debemos decir que el sol nos manda a la tierra algo más de 4000 mil veces más de energía de la que necesitamos, por lo que hay que intentar aprovechar este exceso de energía para nuestro beneficio. Debido a esto, cada vez más empresas luchan por el desarrollo de este tipo de energía.

Lo malo según los expertos de este tipo de energía es que dicha energía no es continua, es decir, varía según la época del año, el tiempo… lo que hace que la producción de la misma no sea continua, lo que obliga a pensar en nuevas medidas para hacer que cuando los paneles solares no sean capaces de producir apenas energía, otras fuentes sí sean capaces. El futuro podría desarrollarse de la mano de dos o más fuentes renovables, lo que garantizaría que el ser humano tuviese la energía que necesita de una manera continuada, que es lo que finalmente se busca en cualquier tipo de modelo energético.

La energía solar la podemos dividir en dos apartados diferentes según la manera de aprovechar la energía; energía solar térmica y energía solar fotovoltaica.

3.1.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es un tipo de electricidad renovable (energía eléctrica, -voltaica) obtenida directamente de los rayos del sol (foto-) gracias a la foto-detección cuántica de un determinado dispositivo; normalmente una lámina metálica semiconductora llamada célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada capa fina. También están en fase de laboratorio métodos orgánicos.

Se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas y para producir electricidad para redes de distribución.

Los módulos o paneles fotovoltaicos están formados por un cristal o lámina transparente superior y un cerramiento inferior entre los que queda encapsulado el sustrato conversor y sus conexiones eléctricas. La lámina inferior puede ser transparente, pero lo más frecuente es un plástico de tedlar. Para encapsular se suele añadir unas láminas finas y transparentes de EVA que se funden para crear un sellado anti humedad, aislante, transparente y robusto.

La corriente eléctrica continua que proporcionan los módulos fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna mediante un aparato electrónico llamado inversor e inyectarla en la red eléctrica, operación actualmente sujeta a subvenciones en muchos lugares para una mayor viabilidad.

El proceso, simplificado, sería el siguiente: Se genera la energía a bajas tensiones (380-800 V) y en corriente continua. Se transforma con un inversor en corriente alterna. Mediante un centro de transformación se eleva a Media tensión (15 ó 25 kV) y se inyecta en las redes de transporte de la compañía.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica.

Ejemplo de los paneles fotovoltaicos de una central eléctrica.

3.1.2. Energía Solar Térmica

La energía solar térmica o energía termosolar consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para cocinar alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, ya sea agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, de energía eléctrica. Este es el punto en el que nos centraremos, la generación de electricidad mediante la energía solar térmica.

Una central térmica solar o central termosolar es una instalación industrial en la que, a partir del calentamiento de un fluido mediante radiación solar y su uso en un ciclo termodinámico convencional, se produce la potencia necesaria para mover un alternador y así generar energía eléctrica como en una central térmica clásica.

Constructivamente, es necesario concentrar la radiación solar para que se puedan alcanzar temperaturas elevadas, de 300 º C hasta 1000 º C, y obtener así un rendimiento aceptable en el ciclo termodinámico, que no se podría obtener con temperaturas más bajas. La captación y concentración de los rayos solares se hacen por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta el fluido, o con mecanismos más pequeños de geometría parabólica. El conjunto de la superficie reflectante y su dispositivo de orientación se denomina heliostato.

Los fluidos y ciclos termodinámicos escogidos en las configuraciones experimentales que se han ensayado, así como los motores que implican, son variados, y van desde el ciclo Rankine (centrales nucleares, térmicas de carbón) hasta el ciclo Brayton (centrales de gas natural) pasando por muchas otras variedades como el motor de Stirling, siendo las más utilizadas las que combinan la energía termosolar con el gas natural.

Existen diferentes tipos de centrales térmicas solares

- Las centrales de colectores distribuidos

Estas centrales estas formadas por los colectores de concentración, que pueden ser cilíndricos o de discos parabólicos.

Estos colectores concentran la radiación solar que recibe la superficie captadora en un elemento receptor de superficie muy reducida (un punto, una línea). Al ser el receptor pequeño, puede estar fabricado a partir de materiales sofisticados y caros que permiten una mejor absorción de la energía solar. Por otro lado, al recibir la radiación solar de manera concentrada, los colectores de concentración son capaces de proporcionar temperaturas de hasta 300ºC con buenos rendimientos.

Las centrales de colectores de concentración se utilizan para generar vapor a alta temperatura con destino a procesos industriales, para producir energía eléctrica, etc.

Hay colectores de concentración de varios tipos. Pero todos ellos tienen en común que exigen estar dotados, para ser eficientes, de un sistema de seguimiento que les permita permanecer constantemente situados en la mejor posición para recibir los rayos del sol a lo largo del día.

Los sistemas de seguimiento del sol de estos colectores son de varios tipos. El colector de concentración cilíndrico-parabólico (uno de los más difundidos) suele utilizar un reloj o sensor óptico. Este último combinado con un servomotor, hace girar al colector siguiendo la dirección del sol.

Uno de los inconvenientes de la mayoría de los colectores de concentración (y entre ellos, del cilíndrico parabólico) es que sólo aprovechan la radiación directa del Sol, es decir, que sólo aprovechan los rayos solares que realmente inciden sobre su superficie. No son capaces, por el contrario, de captar la radiación solar difusa. Por ello, no resultan convenientes en zonas climáticas que, aunque reciben una aceptable cantidad de radiación solar, son relativamente nubosas. Sólo resultan realmente eficaces en zonas auténticamente soleadas.

Ejemplo de colectores cilíndricos(1) y de discos parabólicos(2) en una central de colectores distribuidos.

- Las centrales de torre

Una central de torre, también conocida como sistema de receptor central, está compuesta por un sistema concentrador o campo de heliostatos, que capta y concentra la componente directa de la radiación solar sobre un receptor, donde se produce la conversión de la energía radiante en energía térmica y que suele instalarse en la parte superior de una torre. El fluido de trabajo puede ser, entre otros, aire, vapor de agua, sodio fundido o sales fundidas, según la tecnología escogida. En las de vapor de agua, este mueve directamente una turbina. En los otros, el fluido transporta el calor a un generador de vapor de agua, con el que se hace funcionar una turbina que mueve al generador eléctrico.

Uno de los componentes más críticos de las centrales de torre es el receptor, situado en lo alto de la misma, debido a las altas temperaturas y gradientes que puede alcanzar, lo cual está además íntimamente ligado al rendimiento del ciclo termodinámico. Los estudios actuales se centran básicamente en la elección de materiales y la disposición de estos de forma que existan las menores pérdidas de calor posibles, incrementando así no sólo la eficiencia global del ciclo sino la del receptor en sí. Existen receptores volumétricos, de tubos, abiertos, de cavidad, circulares, etc.

En cuanto al sistema óptico, éste es la principal característica que distingue la tecnología termosolar de otras convencionales de producción de electricidad. Debido a las grandes extensiones de superficie reflectante necesaria, una parte importante de los costes de una planta están ligados a los helióstatos, o los colectores cilindro parabólicos en su caso. El sistema de apunte es crítico a fin de optimizar el campo, maximizando la radiación anual reflejada incidente en el receptor de la torre evitando gradientes en el mismo. El seguimiento solar se lleva a cabo mediante un sistema de control automático que puede estar más o menos centralizado, el cual hace funcionar pequeños motores eléctricos que mueven la superficie reflectora con dos grados de libertad, esto son, dos ejes. Se están llevando a cabo también estudios de mejora del sistema de control, intentando reducir los costes totales de las plantas.

Ejemplo de una central solar térmica de torre.

3.2. Energía Eólica

La energía eólica es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en energía eléctrica, energía útil para las actividades humanas.

El término *eólico* viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

En la actualidad es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores.

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar. Entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento. De día, las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales. Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva. El aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que éste alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "*cut-in speed*", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "*cut-out speed*".

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red, es conocido como aerogenerador.

En la actualidad se utiliza, sobre todo, para mover aerogeneradores. En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce electricidad. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos.

Ejemplo de un parque eólico.

3.2.1. Ventajas e inconvenientes de la energía eólica

Ventajas de la energía eólica:

- Es un tipo de energía renovable ya que tiene su origen en procesos atmosféricos debidos a la energía que llega a la Tierra procedente del Sol.

- Es una energía limpia ya que no produce emisiones atmosféricas ni residuos contaminantes.

- No requiere una combustión que produzca dióxido de carbono (CO_2), por lo que no contribuye al incremento del efecto invernadero ni al cambio climático.

- Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, próximas a la costa, en laderas áridas y muy empinadas para ser cultivables.

- Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como trigo, maíz, patatas, remolacha, etc.

- Su instalación es rápida, entre 4 meses y 9 meses.

- La situación actual permite cubrir la demanda de energía en España un 30% debido a la múltiple situación de los parques eólicos sobre el territorio, compensando la baja producción de unos por falta de viento con la alta producción en las zonas de viento. Los sistemas del sistema eléctrico permiten estabilizar la forma de onda producida en la generación eléctrica solventando los problemas que presentaban los aerogeneradores como productores de energía al principio de su instalación.
- Posibilidad de construir parques eólicos en el mar, donde el viento es más fuerte, más constante y el impacto social es menor, aunque aumentan los costes de instalación y mantenimiento. Los parques offshore son una realidad en los países del norte de Europa, donde la generación eólica empieza a ser un factor bastante importante.

Inconvenientes de la energía eólica:

- Debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica. Por lo tanto, para salvar los "valles" en la producción de energía eólica es indispensable un respaldo de las energías convencionales.

- Para evacuar la electricidad producida por cada parque eólico (que suelen estar situados además en parajes naturales apartados) es necesario construir unas líneas de alta tensión que sean capaces de conducir el máximo de electricidad que sea capaz de producir la instalación. Sin embargo, la media de tensión a conducir será mucho más baja. Esto significa poner cables 4 veces más gruesos, y a menudo torres más altas, para acomodar correctamente los picos de viento.

- Es necesario suplir las bajadas de tensión eólicas "instantáneamente" (aumentando la producción de las centrales térmicas), pues si no se hace así se producirían, y de hecho se producen apagones generalizados por bajada de tensión. Este problema podría solucionarse mediante dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica. Pero la energía eléctrica producida no es almacenable: es instantáneamente consumida o perdida.

- Técnicamente, uno de los mayores inconvenientes de los aerogeneradores es el llamado hueco de tensión. Ante uno de estos fenómenos, las protecciones de los aerogeneradores con motores de jaula de ardilla se desconectan de la red para evitar ser dañados y, por tanto, provocan nuevas perturbaciones en la red, en este caso, de falta de suministro. Este problema se soluciona bien mediante la modificación de los aparatos eléctricos de los aerogeneradores, lo que resulta bastante costoso, bien mediante la utilización de motores síncronos aunque es bastante más fácil asegurarse de que la red a la que se va a conectar sea fuerte y estable.

- Uno de los grandes inconvenientes de este tipo de generación, es la dificultad intrínseca de prever la generación con antelación. Dado que los sistemas eléctricos son operados calculando la generación con un día de antelación en vista del consumo previsto, la aleatoriedad del viento plantea serios problemas. Los últimos avances en previsión del viento han mejorado muchísimo la situación, pero sigue siendo un problema. Igualmente, grupos de generación eólica no pueden utilizarse como nudo oscilante de un sistema.

- Además de la evidente necesidad de una velocidad mínima en el viento para poder mover las aspas, existe también una limitación superior: una máquina puede estar generando al máximo de su potencia, pero si el viento aumenta lo justo para sobrepasar las especificaciones del aerogenerador, es obligatorio desconectar ese circuito de la red o cambiar la inclinación de las aspas para que dejen de girar, puesto que con viento de altas velocidades la estructura puede resultar dañada por los esfuerzos que aparecen en el eje. La consecuencia inmediata es un descenso evidente de la producción eléctrica, a pesar de haber viento en abundancia, y otro factor más de incertidumbre a la hora de contar con esta energía en la red eléctrica de consumo.

También se deben tener en cuenta los aspectos medioambientales

- Generalmente se combina con centrales térmicas, lo que lleva a que existan quienes critican que realmente no se ahorren demasiadas emisiones de dióxido de carbono. No obstante, hay que tener en cuenta que ninguna forma de producción de energía tiene el potencial de cubrir toda la demanda y la producción energética basada en renovables es menos contaminante, por lo que su aportación a la red eléctrica es netamente positiva.

- Existen parques eólicos en España en espacios protegidos como ZEPAs (Zona de Especial Protección de Aves) y LIC (Lugar de Importancia Comunitaria) de la Red Natura 2000, lo que es una contradicción. Si bien la posible inserción de alguno de estos parques eólicos en las zonas protegidas ZEPAS y LIC tienen un impacto reducido debido al aprovechamiento natural de los recursos, cuando la expansión humana invade estas zonas, alterándolas sin que con ello se produzca ningún bien.

- Al comienzo de su instalación, los lugares seleccionados para ello coincidieron con las rutas de las aves migratorias, o zonas donde las aves aprovechan vientos de ladera, lo que hace que entren en conflicto los aerogeneradores con aves y murciélagos. Afortunadamente los niveles de mortandad son muy bajos en comparación con otras causas como por ejemplo los atropellos, aunque algunos expertos independientes aseguran que la mortandad es alta. Actualmente los estudios de impacto ambiental necesarios para el reconocimiento del plan del parque eólico tienen en consideración la situación ornitológica de la zona. Además, dado que los aerogeneradores actuales son de baja velocidad de rotación, el problema de choque con las aves se está reduciendo.

- El impacto paisajístico es una nota importante debido a la disposición de los elementos horizontales que lo componen y la aparición de un elemento vertical como es el aerogenerador. Producen el llamado *efecto discoteca*: este efecto aparece cuando el sol está por detrás de los molinos y las sombras de las aspas se proyectan con regularidad sobre los jardines y las ventanas, parpadeando de tal modo que la gente denominó este fenómeno: "efecto discoteca". Esto, unido al ruido, puede llevar a la gente hasta un alto nivel de estrés, con efectos de consideración para la salud. No obstante, la mejora del diseño de los aerogeneradores ha permitido ir reduciendo el ruido que producen.

- La apertura de pistas y la presencia de operarios en los parques eólicos hace que la presencia humana sea constante en lugares hasta entonces poco transitados. Ello afecta también a la fauna.

Ejemplo de un parque eólico en el mar.

3.3. Energía hidráulica

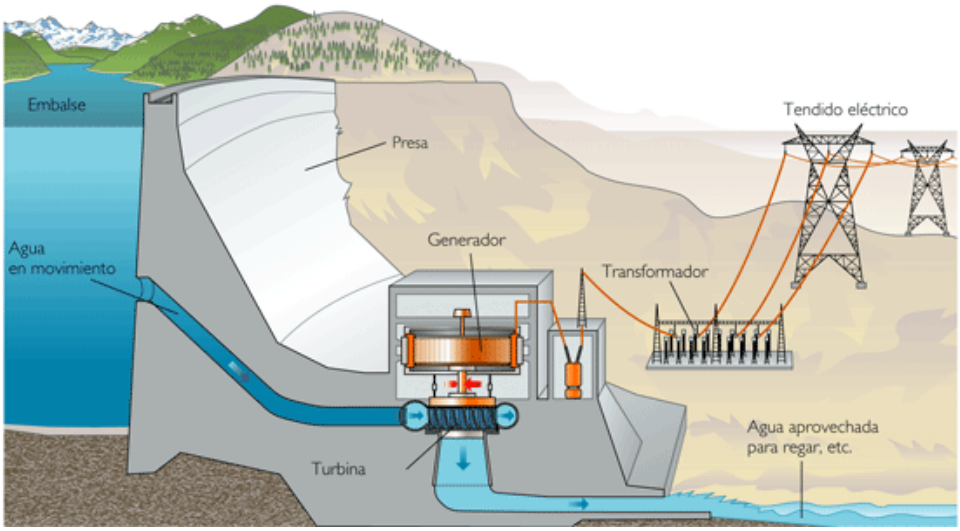
Se denomina energía hidráulica o energía hídrica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. Es un tipo de energía verde cuando su impacto ambiental es mínimo y usa la fuerza hídrica sin represarla, en caso contrario es considerada sólo una forma de energía renovable.

Se puede transformar a muy diferentes escalas. Existen desde hace siglos pequeñas explotaciones en las que la corriente de un río mueve un rotor de palas y genera un movimiento aplicado, por ejemplo, en molinos rurales. Sin embargo, la utilización más significativa la constituyen las centrales hidroeléctricas de presas, aunque estas últimas no son consideradas formas de energía verde por el alto impacto ambiental que producen.

Cuando el Sol calienta la Tierra, además de generar corrientes de aire, hace que el agua del mar, principalmente, se evapore y ascienda por el aire y se mueva hacia las regiones montañosas, para luego caer en forma de lluvia. Esta agua se puede colectar y retener mediante presas. Parte del agua almacenada se deja salir para que se mueva los álabes de una turbina engranada con un generador de energía eléctrica, en lo que llamamos central hidroeléctrica.

Las centrales hidroeléctricas son el resultado actual de la evolución de los antiguos molinos que aprovechaban la corriente de los ríos para mover una rueda.

En general, estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua de un cauce natural en virtud de un desnivel, también conocido como salto geodésico. El agua en su caída entre dos niveles del cauce se hace pasar por una turbina hidráulica la cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica.



Las formas más frecuentemente utilizadas para explotar la energía hidráulica son:

- Desvío del cauce de agua

El principio fundamental de esta forma de aprovechamiento hidráulico de los ríos se basa en el hecho de que la velocidad del flujo de estos es básicamente constante a lo largo de su cauce, el cual siempre es descendente. Este hecho revela que la energía potencial no es íntegramente convertida en cinética como sucede en el caso de una masa en caída libre, la cual se acelera, sino que ésta es invertida en las llamadas pérdidas, es decir, la energía potencial se "pierde" en vencer las fuerzas de fricción con el suelo, en el transporte de partículas, en formar remolinos, etc.. Entonces esta energía potencial podría ser aprovechada si se pueden evitar las llamadas pérdidas y hacer pasar al agua a través de una turbina. El conjunto de obras que permiten el aprovechamiento de la energía anteriormente mencionada reciben el nombre de central hidroeléctrica o Hidráulica.

El balance de energía arriba descrito puede ser ilustrado mejor a través del principio de Bernoulli.

- Interceptación de la corriente de agua

Este método consiste en la construcción de una presa de agua que retenga el cauce de agua causando un aumento del nivel del río en su parte anterior a la presa de agua, el cual podría eventualmente convertirse en un embalse. El dique establece una corriente de agua no uniforme y modifica la forma de la superficie de agua libre del río antes y después de éste, que toman forma de las llamadas *curvas de remanso*. El establecimiento de las curvas de remanso determinan un nuevo salto geodésico aprovechable de agua.

Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:

- La potencia, que está en función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo que admite la turbina, además de las características de las turbinas y de los generadores usados en la transformación.
- La energía garantizada en un lapso de tiempo determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, y de la potencia instalada.

La potencia de una central puede variar desde unos pocos MW (megavatios), como en el caso de las mini centrales hidroeléctricas, hasta 14.000 MW como en Paraguay y Brasil donde se encuentra la segunda mayor central hidroeléctrica del mundo, la Itaipú que tiene 20 turbinas de 700 MW cada una. La mayor central es la Presa de las Tres Gargantas, en China, con una potencia de 22.500 MW.

Las centrales hidroeléctricas y las centrales térmicas, que usan combustibles fósiles, producen la energía eléctrica de una manera muy similar. En ambos casos la fuente de energía es usada para impulsar una turbina que hace girar un generador eléctrico, que es el que produce la electricidad. Una central térmica usa calor para, a partir de agua, producir el vapor que acciona las paletas de la turbina, en contraste con la planta hidroeléctrica, la cual usa la fuerza del agua directamente para accionar la turbina.

Foto de la presa de las Tres Gargantas, China.

3.3.1. Ventajas e inconvenientes de la energía hidráulica

Ventajas de la energía hidráulica.

- Se trata de una energía renovable y limpia de alto rendimiento energético.

- La gran ventaja de la energía hidráulica o hidroeléctrica es la eliminación parcial de los costos de combustible. El costo de operar una planta hidráulica es casi inmune a la volatilidad de los combustibles fósiles como la gasolina, el carbón o el gas natural. Además, no hay necesidad de importar combustibles de otros países.

- Las plantas hidráulicas también tienden a tener vidas económicas más largas que las plantas eléctricas que utilizan combustibles. Hay plantas hidráulicas que siguen operando después de 50 a 100 años. Los costos de operación son bajos porque las plantas están automatizadas y tienen pocas personas durante operación normal. Estas plantas producen la misma cantidad de dióxido de carbono en comparación con la materia gris del planeta. Este hecho es beneficioso para la salud.

- Como las plantas hidráulicas no queman combustibles, no producen directamente dióxido de carbono. Muy poco dióxido de carbono es producido durante el período de construcción de las plantas, pero es poco, especialmente en comparación a las emisiones de una planta equivalente que quema combustibles.

Inconvenientes de la energía hidráulica.

- La construcción de grandes embalses puede inundar importantes extensiones de terreno, obviamente en función de la topografía del terreno aguas arriba de la presa, lo que podría significar perdida de tierras fértiles, dependiendo del lugar donde se construyan.

- En el pasado se han construido embalses que han inundado pueblos enteros. Con el crecimiento de la conciencia ambiental, estos hechos son actualmente menos frecuentes, pero aún persisten.

- Destrucción de la naturaleza. Presas y embalses pueden ser disruptivas a los ecosistemas acuáticos. Por ejemplo, estudios han mostrado que las presas en las costas de Norteamérica han reducido las poblaciones de trucha septentrional común que necesitan migrar a ciertos locales para reproducirse. Hay bastantes estudios buscando soluciones a este tipo de problema. Un ejemplo es la invención de un tipo de escalera para los peces.

- Cambia los ecosistemas en el río aguas abajo. El agua que sale de las turbinas no tiene prácticamente sedimento. Esto puede resultar en la erosión de las márgenes de los ríos.

- Cuando las turbinas se abren y cierran repetidas veces, el caudal del río se puede modificar drásticamente causando una dramática alteración en los ecosistemas.

Ejemplo de una central hidráulica.

3.4. Energías producidas por el mar

Los mares y océanos ofrecen un enorme potencial energético que, mediante diferentes tecnologías, puede ser transformado en electricidad y contribuir a satisfacer las necesidades energéticas actuales.

Dentro de las Energías del Mar, existen tecnologías claramente diferenciadas, en función del aprovechamiento energético: energía de las mareas o mareomotriz, energía de las corrientes, energía maremotérmica, energías de las olas o undimotriz y energía del gradiente salino (osmótica).

A continuación veremos las diferentes energías que podemos obtener del mar.

Ejemplo de la energía que contiene el mar.

3.4.1. Energía mareomotriz

La energía mareomotriz es la que se obtiene aprovechando las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa de la Tierra y la Luna. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable. Es un tipo de energía renovable y limpia.

La energía mareomotriz tiene la cualidad de ser renovable, en tanto que la fuente de energía primaria no se agota por su explotación, y es limpia, ya que en la transformación energética no se producen subproductos contaminantes gaseosos, líquidos o sólidos. Sin embargo, la relación entre la cantidad de energía que se puede obtener con los medios actuales y el coste económico y ambiental de instalar los dispositivos para su proceso han impedido una proliferación notable de este tipo de energía.

Los métodos de generación mediante energía de marea pueden clasificarse en estas tres:

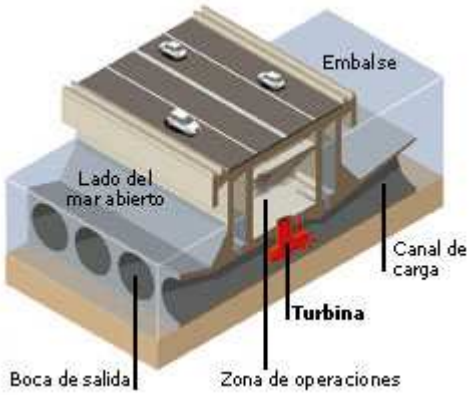
- Generador de la corriente de marea

Los generadores de corriente de marea (Tidal Stream Generators o ETG, por sus iniciales inglés) hacen uso de la energía cinética del agua en movimiento a las turbinas de la energía, de manera similar al viento (aire en movimiento) que utilizan las turbinas eólicas. Este método está ganando popularidad debido a costos más bajos y a un menor impacto ecológico en comparación con las presas de marea.

Ejemplo de un generador de corriente de marea.

- Presa de marea

Las presas de marea hacen uso de la energía potencial que existe en la diferencia de altura (o pérdida de carga) entre las mareas altas y bajas. Las presas son esencialmente los diques en todo el ancho de un estuario, y sufren los altos costes de la infraestructura civil, la escasez mundial de sitios viables y las cuestiones ambientales.



Esquema de un generador de presa de marea.

- Energía mareomotriz dinámica

La energía mareomotriz dinámica (Dynamic Tidal Power o DTP) es una tecnología de generación teórica que explota la interacción entre las energías cinética y potencial en las corrientes de marea. Se propone que las presas muy largas (por ejemplo: 30 a 50 km de longitud) se construyan desde las costas hacia afuera en el mar o el océano, sin encerrar un área. Se introducen por la presa diferencias de fase de mareas, lo que lleva a un diferencial de nivel de agua importante (por lo menos 2.3 metros) en aguas marinas ribereñas poco profundas con corrientes de mareas que oscilan paralelas a la costa, como las que encontramos en el Reino Unido, China y Corea. Cada represa genera energía en una escala de 6 a 17 GW.

3.4.2. Energía de las corrientes

La energía de las corrientes marinas una forma de energía marina obtenida del aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes marinas. Aunque no se utiliza todo lo ampliamente que pudiera, las corrientes marinas tienen un potencial importante para la futura generación de electricidad . Las corrientes marinas son más predecibles que la energía eólica y la energía solar.

Las corrientes marinas son causadas principalmente por la subida y bajada de las mareas como resultado de las interacciones gravitacionales entre la tierra, la luna y el sol, que hacen que fluya todo el mar. Otros efectos, como las diferencias regionales en la temperatura y la salinidad y el efecto de Coriolis debido a la rotación de la tierra son también influencias principales. La energía cinética de las corrientes marinas se pueden convertir en su mayor parte, de la misma forma que una turbina eólica extrae energía del viento, utilizando varios tipos de rotores de flujo abierto. El potencial de generación de energía eléctrica a partir de las corrientes marinas de la marea es enorme. Hay varios factores que hacen a la generación de electricidad a partir de las corrientes marinas muy atractiva en comparación con otras energías renovables:

- Los altos factores de carga debido a las propiedades del fluido. Existe previsibilidad de los recursos, de modo que, a diferencia de la mayoría de las otras energías renovables, la disponibilidad futura de energía puede ser conocida y prevista, evitando la intermitencia.
- Los recursos potencialmente grandes que pueden ser explotados con escaso impacto ambiental, lo que ofrece uno de los métodos menos perjudiciales para la generación a gran escala de electricidad.
- La viabilidad de instalaciones de energía de corrientes marinas para proporcionar también energía a la red eléctrica de base, especialmente si están interconectadas dos o más matrices independientes, con flujos máximos no coincidentes en el tiempo.

Ejemplo de un sistema de turbinas marinas.

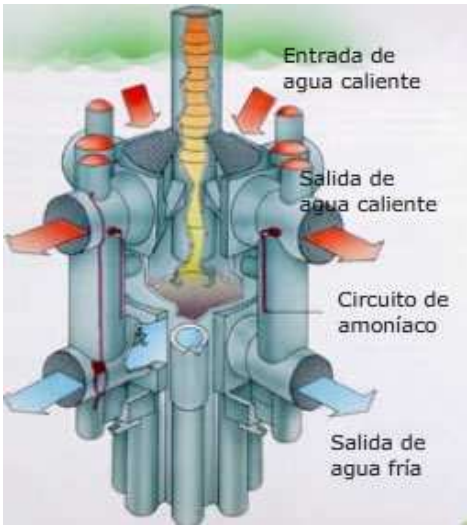
3.4.3. Energía maremotérmica

La energía maremotérmica (también conocida como *Ocean Thermal Energy Conversion*, conversión de energía térmica oceánica, abreviadamente OTEC u OTE) es un tipo de energía renovable que utiliza las diferencias entre las aguas oceánicas profundas, más frías, y las superficiales, más calidas, para mover una máquina térmica y producir trabajo útil, generalmente en forma de electricidad. Fue originalmente concebida por el físico francés Arsène d'Arsonval. Hasta ahora ha tenido el problema del rendimiento, pero los nuevos diseños en intercambiadores y otros dispositivos térmicos hacen que éste se aproxime al máximo teórico.

En diferentes zonas del mundo el agua tiene distintas temperaturas dependiendo de la profundidad en que se encuentre, en especial en los trópicos, donde pueden distinguirse tres capas térmicas:

a) La superficial: de 100 a 200 metros de espesor, que actúa como colector de calor, con temperaturas entre 25 y 30 grados.
b) La intermedia: entre los 200 y 400 metros de profundidad, con una variación rápida de temperatura y que actúa como barrera térmica entre las capas superior y profunda.
c) La profunda: en la que la temperatura disminuye suavemente hasta alcanzar 4 °C a 1000 metros y 2 °C a 5000 metros.

Así, usando el agua superficial para calentar un líquido con un punto de ebullición bajo (usando un intercambiador de calor) éste se transformaría en vapor que podría mover una turbina para generar electricidad. Luego, este vapor se enfriaría en otro intercambiador de calor en contacto con el agua fría de las profundidades para luego reiniciar el ciclo de generación.



Esquema de un generador maremotérmico.

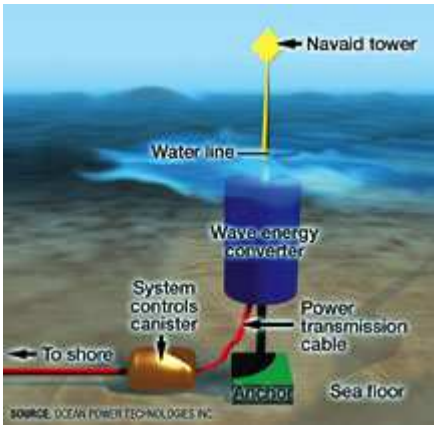
3.4.4. Energía de las olas o undimotriz

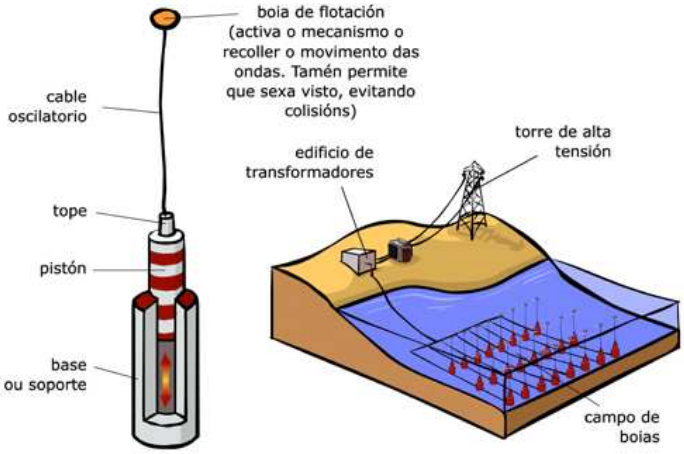
La energía undimotriz, a veces llamada energía olamotriz, es la energía producida por el movimiento de las olas. Es menos conocida y extendida que otros tipos de energía marina, como la mareomotriz, pero cada vez se aplica más.

Algunos sistemas pueden ser:

- Un aparato anclado al fondo y con una boya unida a él con un cable. El movimiento de la boya se utiliza para mover un generador. Otra variante sería tener la maquinaria en tierra y las boyas metidas en un pozo comunicado con el mar. Existen diferentes tipos de boyas para el aprovechamiento energético de las olas.

  El ejemplo aquí presentado utiliza boyas sumergidas para la conversión de la energía. La oscilación de las olas mueven el cilindro y este movimiento mecánico impulsa el generador eléctrico que produce energía eléctrica.

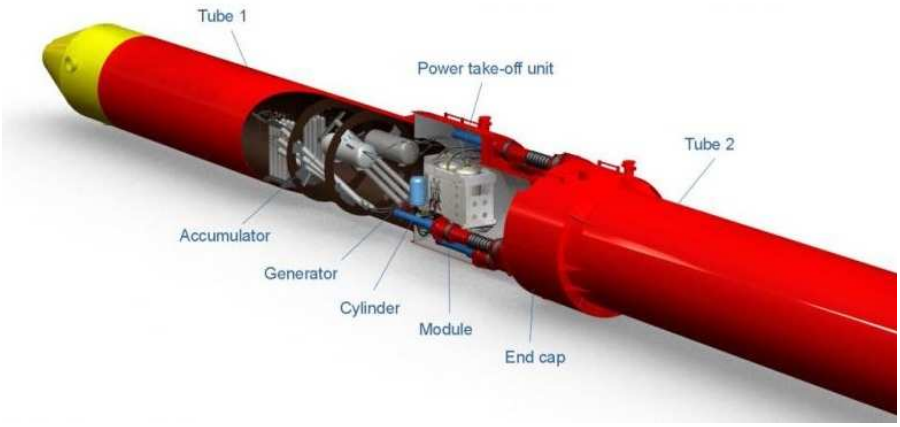




Ejemplo de un generador undimotriz de boyas(1) (2). Esquema de un campo de boyas (3).

- Un aparato flotante de partes articuladas que obtiene energía del movimiento relativo entre sus partes. Como la "serpiente marina" Pelamis.

  El pelamis es una estructura flotante semisumergible, compuesta por secciones cilíndricas de acero, unidas mediante ensambles de bisagra. El movimiento relativo entre las partes acciona un sistema hidráulico y bombea aceite a alta presión que impulsa los motores hidráulicos. Éstos, conectados a un generador, producen energía eléctrica. Los amarres submarinos conectan los diferentes Pelamis y transportan la energía eléctrica a tierra mediante un cable submarino.

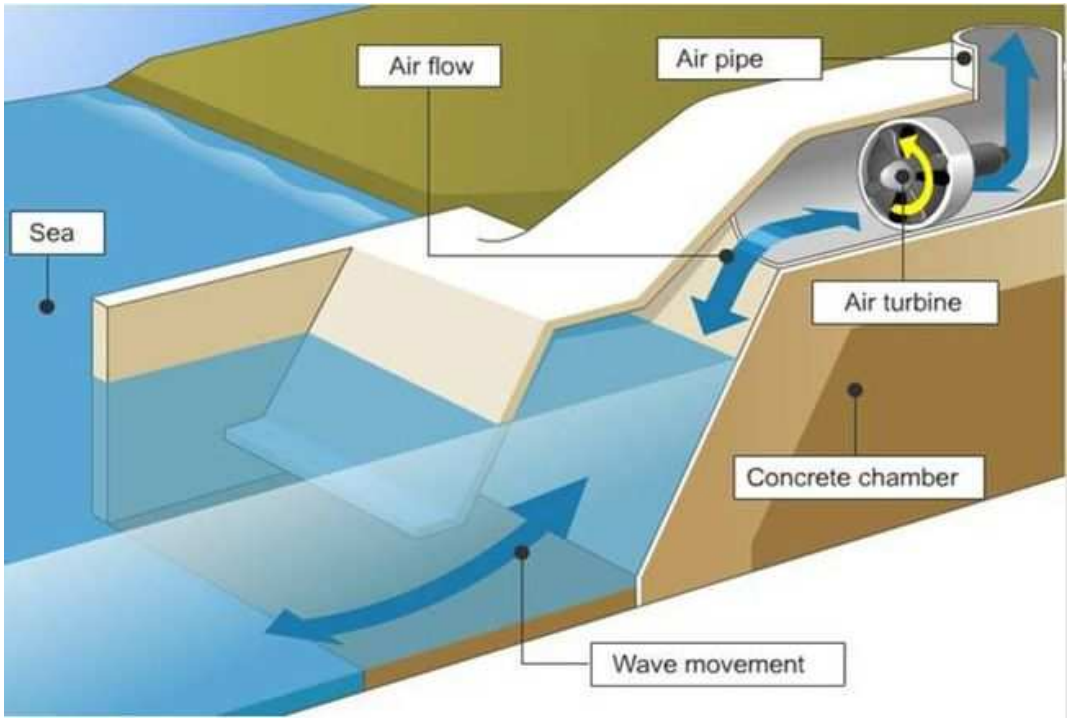


Esquema (1) e imagen (2) de un generador pelamis.

- Un pozo con la parte superior hermética y el fondo comunicado con el mar, también llamado columna de agua oscilante.. En la parte superior hay una pequeña abertura por la que sale el aire expulsado por las olas. Este aire mueve una turbina que es la que genera la electricidad.

  Las olas acceden a la cámara de aire y hacen subir el nivel del agua de forma que comprimen el aire del interior. Éste es expulsado por la apertura superior y provoca el movimiento de la turbina que, conectada a un generador eléctrico, produce energía eléctrica. Al retirarse la ola, se genera un vacío en el interior de la cámara que succiona aire del exterior, y que impulsa nuevamente la turbina.

  Estas instalaciones tienen la ventaja de poder integrarse en obras civiles, como por ejemplo en los diques de abrigo de los puertos.



Esquema de un sistema de columna de agua oscilante.

Uno de los principales problemas técnicos consiste en cómo absorber la energía mecánica, que se presenta con un campo de velocidades aleatorio, en energía eléctrica apta para su conexión a la red eléctrica.

El alto costo económico de la inversión inicial da lugar a que estas centrales tengan un periodo de amortización largo. Por otra parte, su utilización se circunscribe a zonas costeras o próximas a la costa, por el coste económico que supone transportar la energía obtenida a lugares del interior.

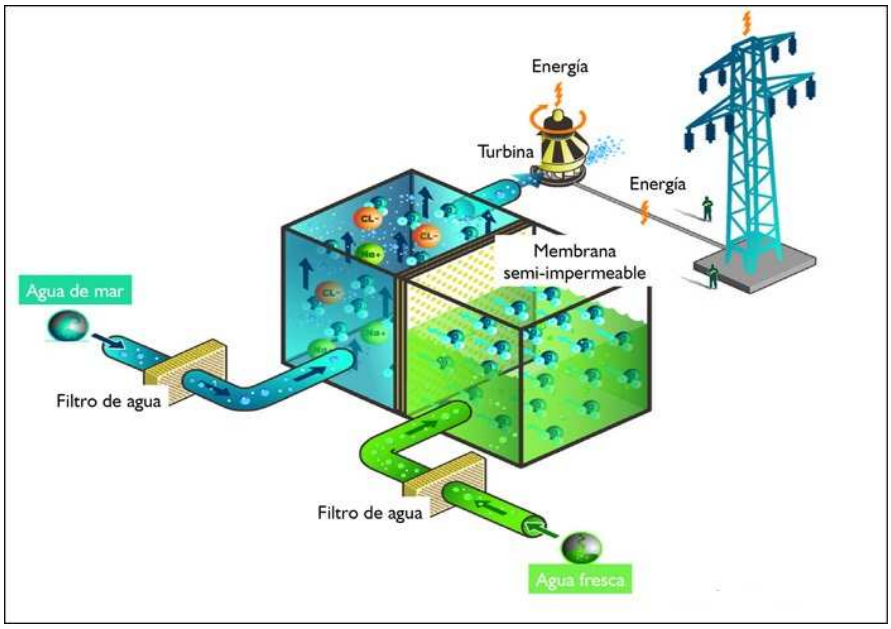
Otro inconveniente es el impacto ambiental de las instalaciones, que requieren la modificación del paisaje para su construcción. Se ha de disponer de mucho espacio para albergar las enormes turbinas, dando lugar a un impacto ecológico sobre los ecosistemas, habitualmente costeros.

3.4.5. Energía del gradiente salino

La diferencia de salinidad entre el agua del mar y de los ríos es también una posible fuente de energía. Se está trabajando en dos tecnologías diferentes para el aprovechamiento del gradiente salino.

- Retardo de la presión Osmótica (PRO - Pressure-Retarded Osmosis).

Consiste en bombear agua marina a un depósito, donde la presión es inferior a la presión osmótica entre el agua dulce y la salada. El agua dulce fluye a través de una membrana semipermeable incrementando el volumen de agua en el depósito que puede generar electricidad mediante una turbina hidráulica.



Esquema de un sistema de gradiente salino PRO.

- Electrodiálisis inversa (RED - Reverse electrodialysis).

Consiste en el fenómeno inverso a la desalación de agua: mediante membranas selectivas a los iones se crea electricidad en forma de corriente continua.

Es importante reconocer el potencial del gradiente salino como fuente renovable debido a su alta densidad energética y a su carácter no intermitente. Sin embargo, la tecnología está todavía poco desarrollada y su coste sigue siendo muy elevado. Por otra parte, las desembocaduras de ríos pueden presentar limitaciones por conflictos con otros usos.

3.5. Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios factores, entre los que caben destacar el gradiente geotérmico, el calor radiogénico, etc. Geotérmico viene del griego *geo* (Tierra), y *thermos* (calor); literalmente "calor de la Tierra".

Según la temperatura podemos distinguir diferentes yacimientos geotérmicos

- Energía geotérmica de alta temperatura.

La energía geotérmica de alta temperatura existe en las zonas activas de la corteza. Esta temperatura está comprendida entre 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie y mediante una turbina, genera electricidad. Se requieren varios condiciones para que se dé la posibilidad de existencia de un campo geotérmico: una capa superior compuesta por una cobertura de rocas impermeables; un acuífero, o depósito, de permeabilidad elevada, entre 0,3 y 2 km de profundidad; suelo fracturado que permite una circulación de fluidos por convección, y por lo tanto la trasferencia de calor de la fuente a la superficie, y una fuente de calor magmático, entre 3 y 15 km de profundidad, a 500-600 °C. La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo.

- Energía geotérmica de temperaturas medias.

La energía geotérmica de temperaturas medias es aquella en que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 70 y 150 °C. Por consiguiente, la conversión vapor-electricidad se realiza con un rendimiento menor, y debe explotarse por medio de un fluido volátil. Estas fuentes permiten explotar pequeñas centrales eléctricas, pero el mejor aprovechamiento puede hacerse mediante sistemas urbanos de reparto de calor para su uso en calefacción y en refrigeración (mediante máquinas de absorción).

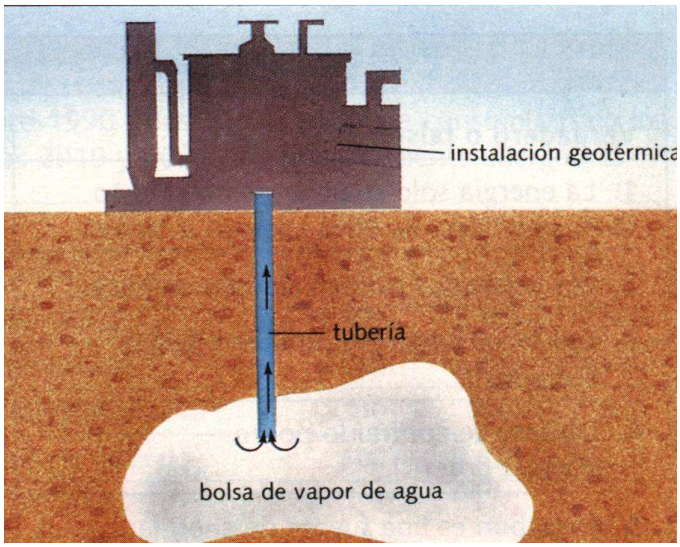
- Energía geotérmica de baja temperatura.

La energía geotérmica de temperaturas bajas es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 50 a 70 °C.

- Energía geotérmica de muy baja temperatura.

La energía geotérmica de muy baja temperatura se considera cuando los fluidos se calientan a temperaturas comprendidas entre 20 y 50 °C. Esta energía se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas.

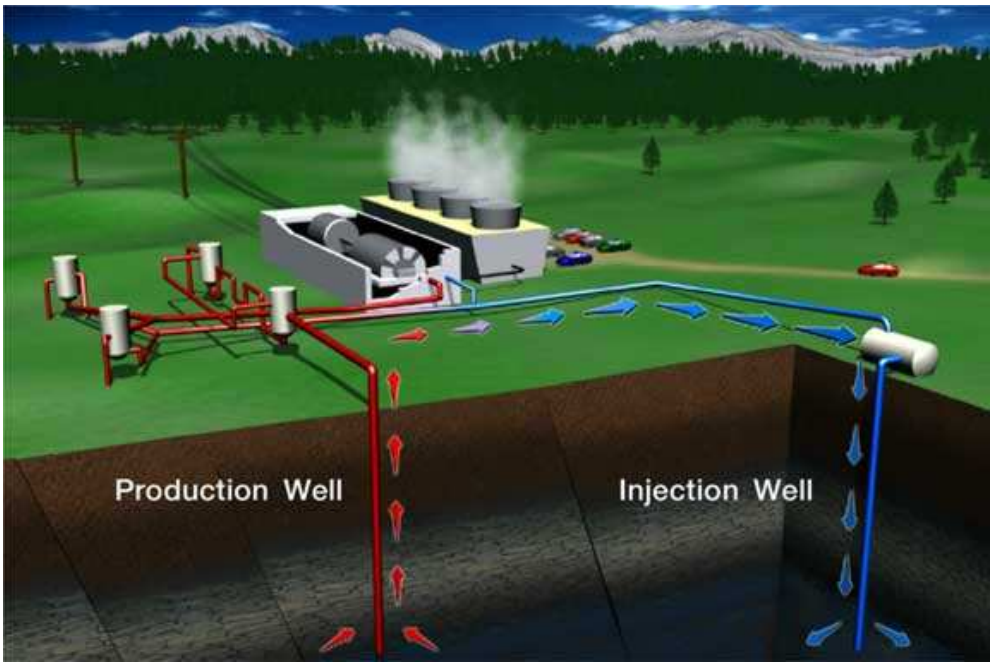
Las fronteras entre los diferentes tipos de energías geotérmicas es arbitraria; si se trata de producir electricidad con un rendimiento aceptable la temperatura mínima está entre 120 y 180 °C, pero las fuentes de temperatura más baja son muy apropiadas para los sistemas de calefacción urbana.



Esquema de una instalación geotérmica.

En áreas de aguas termales muy calientes a poca profundidad, se aprovecha el calor desprendido por el interior de la tierra. El agua caliente o el vapor pueden fluir naturalmente, por bombeo o por impulsos de flujos de agua y de vapor (flashing). El método a elegir depende del que en cada caso sea económicamente rentable. Un ejemplo, en Inglaterra, fue el "Proyecto de Piedras Calientes HDR" (sigla en inglés: HDR, *Hot Dry Rocks*), abandonado después de comprobar su inviabilidad económica en 1989. Los programas HDR se están desarrollando en Australia, Francia, Suiza, Alemania. Los recursos de magma (rocas fundidas) ofrecen energía geotérmica de altísima temperatura, pero con la tecnología existente no se pueden aprovechar económicamente esas fuentes.

En la mayoría de los casos la explotación debe hacerse con dos pozos (o un número par de pozos), de modo que por uno se obtiene el agua caliente y por otro se vuelve a reinyectar en el acuífero, tras haber enfriado el caudal obtenido.



Esquema de una instalación geotérmica con inyección de agua.

3.5.1. Ventajas e inconvenientes de la energía geotérmica

Ventajas de la energía geotérmica.

- Es una fuente que evitaría la dependencia energética del exterior.
- Es ecológica.
- Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo y el carbón.
- Sistema de gran ahorro, tanto económico como energético.
- Ausencia de ruidos exteriores.
- Los recursos geotérmicos son mayores que los recursos de carbón, petróleo, gas natural y uranio combinados.
- No está sujeta a precios internacionales, sino que siempre puede mantenerse a precios nacionales o locales.
- El área de terreno requerido por las plantas geotérmicas por megavatio es menor que otro tipo de plantas. No requiere construcción de represas, tala de bosques, ni construcción de tanques de almacenamiento de combustibles.
- La emisión de CO_2, con aumento de efecto invernadero, es inferior al que se emitiría para obtener la misma energía por combustión.

Inconvenientes de la energía geotérmica.

- En ciertos casos emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su olor a huevo podrido, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal.
- Contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.
- Contaminación térmica.
- Deterioro del paisaje.
- No se puede transportar (como energía primaria).
- No está disponible más que en determinados lugares.

Inyección de agua

En varios sitios, ha ocurrido que los depósitos de magma se agotaron, dejando de producir energía geotérmica, quizás ayudado por la inyección del agua residual fría, en la recarga del acuífero caliente. O sea que la recarga por reinyección, puede enfriar el recurso, a menos que se haga un cuidadoso manejo. En al menos una localidad, el enfriamiento fue resultado de pequeños pero frecuentes terremotos. Esto ha traído una discusión si los dueños de una planta son responsables del daño que un temblor causa.

3.6. Biomasa

La biomasa es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Esta definición de biomasa, se refiere a la biomasa 'útil' en términos energéticos: las plantas transforman la energía radiante del Sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esa energía química queda almacenada en forma de materia orgánica; la energía química de la biomasa puede recuperarse quemándola directamente o transformándola en combustible.

Un equívoco muy común es confundir 'materia orgánica' con 'materia viva', pero basta considerar un árbol, en el que la mayor parte de la masa está muerta, para deshacer el equívoco; de hecho, es precisamente la biomasa 'muerta' la que en el árbol resulta más útil en términos energéticos.

Todo ecólogo empeñado en estimar la biomasa de un bosque se enfrenta, tarde o temprano, con un problema. ¿Deberá incluir también la madera, y quizás incluso la hojarasca y el mantillo? Una gran proporción de la madera no se puede calificar de materia viva, pero es importante como elemento de estructura y de transporte, y la materia orgánica del suelo es también un factor de estructura.

Otro equívoco muy común es utilizar 'biomasa' como sinónimo de la energía útil que puede extraerse de ella, lo que genera bastante confusión debido a que la relación entre la energía útil y la biomasa es muy variable y depende de innumerables factores. Para empezar, la energía útil puede extraerse por combustión directa de biomasa (madera, excrementos animales, etc), pero también de la combustión de combustibles obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas (gas metano de los residuos orgánicos, por ejemplo), procesos en los que 'siempre' se pierde algo de la energía útil original.

La biomasa de la madera, residuos agrícolas y estiércol continúa siendo una fuente principal de energía y materia útiles en países poco industrializados.

En términos energéticos, se puede utilizar directamente, como es el caso de la leña, o indirectamente en forma de los biocombustibles (nótese que el etanol puede obtenerse del vino por destilación): 'biomasa' debe reservarse para denominar la materia prima empleada en la fabricación de biocombustibles.

La biomasa podría proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles, gracias a agrocombustibles líquidos, como el biodiésel o el bioetanol, gaseosos, como el gas metano, o sólidos, como la leña, pero todo depende de que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, de que no se incurra en otros consumos de combustibles en los procesos de transformación, y de que la

utilidad energética sea la más oportuna frente a otros usos posibles (como abono y alimento).

Actualmente, la biomasa proporciona combustibles complementarios a los fósiles, ayudando al crecimiento del consumo mundial (y de sus correspondientes impactos ambientales), sobre todo en el sector transporte. Este hecho contribuye a la ya amplia apropiación humana del producto total de la fotosíntesis en el planeta, que supera actualmente más de la mitad del total, apropiación en la que competimos con el resto de las especies.

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural, residual y los cultivos energéticos.

- La biomasa natural es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, la caída natural de ramas de los árboles (*poda natural*) en los bosques.

- La biomasa residual es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.

- Los cultivos energéticos son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiésel), existen otros cultivos como los lignocelulósicos forestales y herbáceos.

Hay varias maneras de clasificar los distintos combustibles que pueden obtenerse a partir de la biomasa. Quizás la más pertinente es por el proceso de producción necesario antes de que el combustible esté listo para el uso.

- Uso directo. La biomasa empleada sufre sólo transformaciones físicas antes de su combustión, caso de la madera o la paja. Puede tratarse de residuos de otros usos: poda de árboles, restos de carpintería, etc.

- Fermentación alcohólica. Se trata del mismo proceso utilizado para producir bebidas alcohólicas. Consta de una fermentación anaeróbica liderada por levaduras en las que una mezcla de azúcares y agua (mosto) se transforma en una mezcla de alcohol y agua con emisión de dióxido de carbono. Para obtener finalmente etanol es necesario un proceso de destilación en el que se elimine el

agua de la mezcla. Al tratarse de etanol como combustible no puede emplearse aquí el método tradicional de destilación en alambique, pues se perdería más energía que la obtenida. Cuando se parte de una materia prima seca (cereales) es necesario producir primero un mosto azucarado mediante distintos procesos de triturado, hidrólisis ácida y separación de mezclas.

- Transformación de ácidos grasos. Aceites vegetales y grasas animales pueden transformarse en una mezcla de hidrocarburos similar al diesel a través de un complejo proceso de esterificación, eliminación de agua, transesterificación, y destilación con metanol, al final del cual se obtiene también glicerina y jabón.

- Descomposición anaeróbica. Se trata de nuevo de un proceso liderado por bacterias específicas que permite obtener metano en forma de biogás a partir de residuos orgánicos, fundamentalmente excrementos animales. A la vez se obtiene como un subproducto abono para suelos.

En todos estos procesos hay que analizar algunas características a la hora de enjuiciar si el combustible obtenido puede considerarse una fuente renovable de energía.

- Emisiones de CO_2 (dióxido de carbono). En general, el uso de biomasa o de sus derivados puede considerarse neutro en términos de emisiones netas si sólo se emplea en cantidades a lo sumo iguales a la producción neta de biomasa del ecosistema que se explota. Tal es el caso de los usos tradicionales (uso de los restos de poda como leña, cocinas de bosta, etc.) si no se supera la capacidad de carga del territorio.

- Tanto en el balance de emisiones como en el balance de energía útil no debe olvidarse la contabilidad de los inputs indirectos de energía, tal es el caso de la energía incorporada en el agua dulce empleada. La importancia de estos inputs depende de cada proceso, en el caso del biodiesel, por ejemplo, se estima un consumo de 20 kilogramos de agua por cada kilogramo de combustible: dependiendo del contexto industrial la energía incorporada en el agua podría ser superior a la del combustible obtenido.

- Si la materia prima empleada procede de residuos, estos combustibles ayudan al reciclaje. Pero siempre hay que considerar si la producción de combustibles es el mejor uso posible para un residuo concreto.

- Si la materia prima empleada procede de cultivos, hay que considerar si éste es el mejor uso posible del suelo frente a otras alternativas (cultivos alimentarios,

reforestación, etc). Esta consideración depende sobre manera de las circunstancias concretas de cada territorio.

- Algunos de estos combustibles (bioetanol, por ejemplo) no emiten contaminantes sulfurados o nitrogenados, ni apenas partículas sólidas; pero otros sí (por ejemplo, la combustión directa de madera).
-

Desventajas

- Quizá el mayor problema que pueden generar estos procesos es la utilización de cultivos de vegetales comestibles (sirva como ejemplo el maíz, muy adecuado para estos usos), o el cambio de cultivo en tierras, hasta ese momento dedicadas a la alimentación, al cultivo de vegetales destinados a producir biocombustibles, que los países ricos pueden pagar, pero a costa de encarecer la dieta de los países más pobres, aumentando el problema del hambre en el mundo.
- La incineración puede resultar peligrosa y producen sustancias toxicas. Por ello se deben utilizar filtros y realizar la combustión a temperaturas mayores a los 900 °C.
- No existen demasiados lugares idóneos para su aprovechamiento ventajoso.
- Al subir los precios se financia la tala de bosques nativos que serán reemplazados por cultivos de productos con destino a biocombustible.

4. HIDRÓGENO

Hidrógeno, del latín "*hydrogenium*", y éste del griego antiguo *ὕδωρ* (*hydor*): "agua" y *γένος-ου*(*genos*): "generador". "generador de agua"

El hidrógeno es un elemento químico representado por el símbolo H y con un número atómico de 1. En condiciones normales de presión y temperatura, es un gas diatómico (H_2) incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Con una masa atómica de 1,00794(7) u, el hidrógeno es el elemento químico más ligero y es, también, el elemento más abundante, constituyendo aproximadamente el 75% de la materia visible del universo.

En su ciclo principal, las estrellas están compuestas por hidrógeno en estado de plasma. El hidrógeno elemental es muy escaso en la Tierra y es producido industrialmente a partir de hidrocarburos como, por ejemplo, el metano. La mayor parte del hidrógeno elemental se obtiene "in situ", es decir, en el lugar y en el momento en el que se necesita. El hidrógeno puede obtenerse a partir del agua por un proceso de electrólisis, pero resulta un método mucho más caro que la obtención a partir del gas natural.

Sus principales aplicaciones industriales son el refinado de combustibles fósiles (por ejemplo, el hidrocracking) y la producción de amoníaco (usado principalmente para fertilizantes).

El isótopo del hidrógeno más común en la naturaleza, conocido como protio (término muy poco usado), tiene un solo protón y ningún neutrón. En los compuestos iónicos, el hidrógeno puede adquirir carga positiva (convirtiéndose en un catión llamado hidrón, H^+, compuesto únicamente por un protón, a veces acompañado de algún neutrón); o carga negativa (convirtiéndose en un anión conocido como hidruro, H^-).

El hidrógeno puede formar compuestos con la mayoría de los elementos y está presente en el agua y en la mayoría de los compuestos orgánicos. Desempeña un papel particularmente importante en la química ácido - base, en la que muchas reacciones conllevan el intercambio de protones (iones hidrógeno, H^+) entre moléculas solubles. Puesto que es el único átomo neutro para el cual la ecuación de Schrödinger puede ser resuelta analíticamente, el estudio de la energía y del enlace del átomo de hidrógeno ha sido fundamental para el desarrollo de la mecánica cuántica.

4.1. Historia del hidrogeno

El hidrógeno diatómico gaseoso, H_2, fue formalmente descrito por primera vez por T. Von Hohenheim (más conocido como Paracelso, 1493-1541) que lo obtuvo artificialmente mezclando metales con ácidos fuertes. Paracelso no era consciente de que el gas inflamable generado en estas reacciones químicas estaba compuesto por un nuevo elemento químico. En 1671, Robert Boyle redescubrió y describió la reacción que se producía entre limaduras de hierro y ácidos diluidos, y que generaba hidrógeno gaseoso.

En 1766, Henry Cavendish fue el primero en reconocer el hidrógeno gaseoso como una sustancia discreta, identificando el gas producido en la reacción metal - ácido como "aire inflamable" y descubriendo que la combustión del gas generaba agua. Cavendish tropezó con el hidrógeno cuando experimentaba con ácidos y mercurio. Aunque asumió erróneamente que el hidrógeno era un componente liberado por el mercurio y no por el ácido, fue capaz de describir con precisión varias propiedades fundamentales del hidrógeno. Tradicionalmente, se considera a Cavendish el descubridor de este elemento.

En 1783, Antoine Lavoisier dio al elemento el nombre de hidrógeno (en francés *Hydrogène*, del griego *ὕδωρ*, *ὕδᾰτος*, "agua" y *γένος-ου*, "generador") cuando comprobó (junto a Laplace) el descubrimiento de Cavendish.

Gracias a su estructura atómica relativamente simple, consistente en un solo protón y un solo electrón para el isótopo más abundante (protio), el átomo de hidrógeno posee un espectro de absorción que pudo ser explicado cuantitativamente lo que supuso un punto central del modelo atómico de Bohr que sirvió como un hito en el desarrollo la Teoría de la Estructura Atómica. Además, la consiguiente simplicidad de la molécula de hidrógeno diatómico y el correspondiente catión dihidrógeno, H_2^+, permitió una comprensión más completa de la naturaleza del enlace químico, que continuó poco después con el tratamiento mecano - cuántico del átomo de hidrógeno, que había sido desarrollado a mediados de la década de 1920 por Erwin Schrödinger y Werner Heisenberg.

Uno de los primeros efectos cuánticos que fue explícitamente advertido (pero no entendido en ese momento) fue una observación de Maxwell en la que estaba involucrado el hidrógeno, medio siglo antes de que se estableciera completamente la Teoría Mecano - Cuántica. Maxwell observó que el calor específico del H_2, inexplicablemente, se desviaba del correspondiente a un gas diatómico por debajo de la temperatura ambiente y comenzaba a parecerse cada vez más al correspondiente a un gas monoatómico a temperaturas muy bajas. De acuerdo con la Teoría Cuántica, este comportamiento resulta del espaciamiento de los niveles energéticos rotacionales

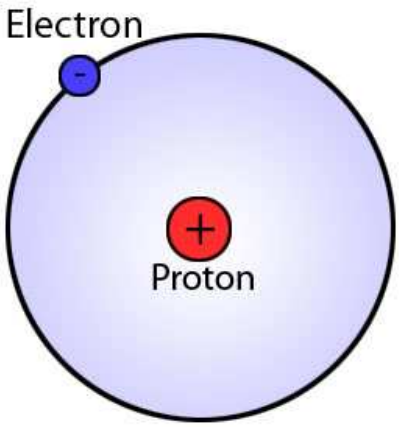
(cuantizados), que se encuentran particularmente separados en el H_2 debido a su pequeña masa. Estos niveles tan separados impiden el reparto equitativo de la energía calorífica para generar movimiento rotacional en el hidrógeno a bajas temperaturas. Los gases diatómicos compuestos de átomos pesados no poseen niveles energéticos rotacionales tan separados y, por tanto, no presentan el mismo efecto que el hidrógeno.

Sólo hay un elemento en la tabla periódica que no pertenezca a ningún grupo en particular: el hidrógeno. Este elemento tiene una química singular. Además sus tres isótopos difieren tanto en sus masas moleculares que las propiedades físicas y químicas son sensiblemente diferentes.

4.2. Estructura atómica del hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo, suponiendo más del 75% en masa y más del 90% en número de átomos. Este elemento se encuentra en abundancia en las estrellas y los planetas gaseosos gigantes. Las nubes moleculares de H_2 están asociadas a la formación de las estrellas. El hidrógeno también juega un papel fundamental como combustible de las estrellas por medio de las reacciones de fusión nuclear entre núcleos de hidrógeno.

Bajo condiciones ordinarias en la Tierra, el hidrógeno existe como gas diatómico, H_2. Sin embargo, el hidrógeno gaseoso es extremadamente poco abundante en la atmósfera de la Tierra (1 ppm en volumen), debido a su pequeña masa que le permite escapar al influjo de la gravedad terrestre más fácilmente que otros gases más pesados. Aunque los átomos de hidrógeno y las moléculas diatómicas de hidrógeno abundan en el espacio interestelar, son difíciles de generar, concentrar y purificar en la Tierra. El hidrógeno es el decimoquinto elemento más abundante en la superficie terrestre. La mayor parte del hidrógeno terrestre se encuentra formando parte de compuestos químicos tales como los hidrocarburos o el agua. El hidrógeno gaseoso es producido por algunas bacterias y algas, y es un componente natural de las flatulencias. El metano es una fuente de enorme importancia para la obtención del hidrógeno.



Partícula de hidrógeno.

4.2.1. Niveles energéticos electrónicos

El nivel energético del estado fundamental electrónico de un átomo de hidrógeno es -13,6 eV, que equivale a un fotón ultravioleta de, aproximadamente, 92 nm de longitud de onda.

Los niveles energéticos del hidrógeno pueden calcularse con bastante precisión empleando el modelo atómico de Bohr, que considera que el electrón órbita alrededor del protón de forma análoga a la órbita terrestre alrededor del Sol. Sin embargo, la fuerza electromagnética hace que el protón y el electrón se atraigan, de igual modo que los planetas y otros cuerpos celestes se atraen por la fuerza gravitatoria. Debido al carácter discreto (cuantizado) del momento angular postulado en los inicios de la Mecánica Cuántica por Bohr, el electrón en el modelo de Bohr sólo puede orbitar a ciertas distancias permitidas alrededor del protón y, por extensión, con ciertos valores de energía permitidos. Una descripción más precisa del átomo de hidrógeno viene dada mediante un tratamiento puramente mecano - cuántico que emplea la ecuación de onda de Schrödinger o la formulación equivalente de las integrales de camino de Feynman para calcular la densidad de probabilidad del electrón. El tratamiento del electrón a través de la hipótesis de De Broglie (dualidad onda - partícula) reproduce resultados químicos (tales como la configuración del átomo de hidrógeno) de manera más natural que el modelo de partículas de Bohr, aunque la energía y los resultados espectrales son los mismos. Si en la construcción del modelo se emplea la masa reducida del núcleo y del electrón (como se haría en el problema de dos cuerpos en Mecánica Clásica), se obtiene una mejor formulación para los espectros del hidrógeno, y los desplazamientos espectrales correctos para el deuterio y el tritio. Pequeños ajustes en los niveles energéticos del átomo de hidrógeno, que corresponden a efectos espectrales reales, pueden determinarse usando la Teoría Mecano - Cuántica completa, que corrige los efectos de la Relatividad Especial (ver ecuación de Dirac), y computando los efectos cuánticos originados por la producción de partículas virtuales en el vacío y como resultado de los campos eléctricos (ver Electrodinámica Cuántica).

En el hidrógeno gaseoso, el nivel energético del estado electrónico fundamental está dividido a su vez en otros niveles de estructura hiperfina, originados por el efecto de las interacciones magnéticas producidas entre los espines del electrón y del protón. La energía del átomo cuando los espines del protón y del electrón están alineados es superior que cuando los espines no lo están. La transición entre esos dos estados puede tener lugar mediante la emisión de un fotón a través de una transición de dipolo magnético. Los radiotelescopios pueden detectar la radiación producida en este proceso, lo que sirve para crear mapas de distribución del hidrógeno en la galaxia.

4.2.2. Isótopos

El protio, el isótopo más común del hidrógeno, tiene un protón y un electrón. Es el único isótopo estable que no posee neutrones.

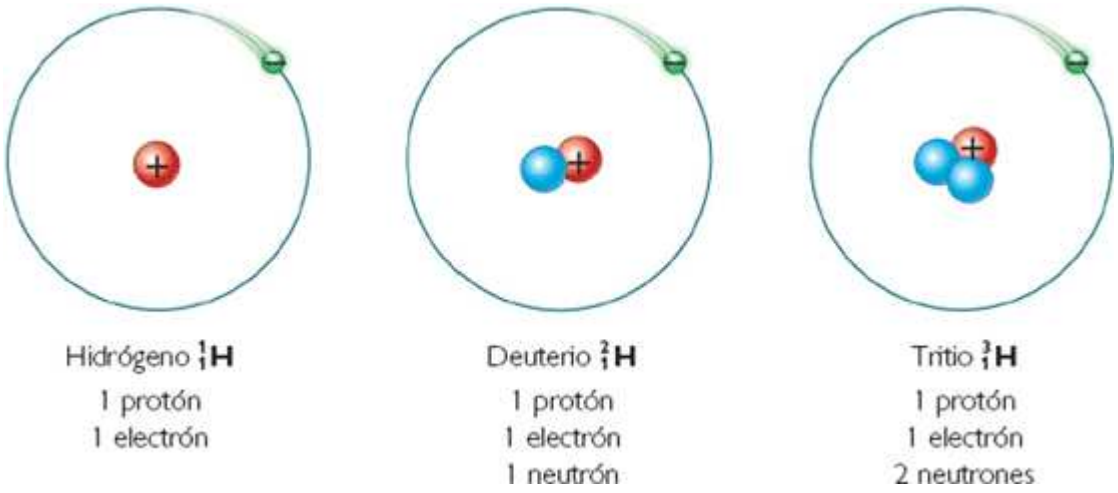
El hidrógeno posee tres isótopos naturales que se denotan como ^{1}H, ^{2}H y ^{3}H. Otros isótopos altamente inestables (del ^{4}H al ^{7}H) han sido sintetizados en laboratorio, pero nunca observados en la naturaleza.

- **^{1}H**, conocido como protio, es el isótopo más común del hidrógeno con una abundancia de más del 99,98%. Debido a que el núcleo de este isótopo está formado por un solo protón se le ha bautizado como protio, nombre que a pesar de ser muy descriptivo, es poco usado.

- **^{2}H**, el otro isótopo estable del hidrógeno, es conocido como deuterio y su núcleo contiene un protón y un neutrón. El deuterio representa el 0,0026% o el 0,0184% (según sea en fracción molar o fracción atómica) del hidrógeno presente en la Tierra, encontrándose las menores concentraciones en el hidrógeno gaseoso, y las mayores (0,015% o 150 ppm) en aguas oceánicas. El deuterio no es radiactivo, y no representa un riesgo significativo de toxicidad. El agua enriquecida en moléculas que incluyen deuterio en lugar de hidrógeno ^{1}H (protio), se denomina agua pesada. El deuterio y sus compuestos se emplean en marcado no radiactivo en experimentos y también en disolventes usados en espectroscopia ^{1}H - RMN. El agua pesada se utiliza como moderador de neutrones y refrigerante en reactores nucleares. El deuterio es también un potencial combustible para la fusión nuclear con fines comerciales.

- **^{3}H** se conoce como tritio y contiene un protón y dos neutrones en su núcleo. Es radiactivo, desintegrándose en $^{3}{}_{2}He^{+}$ a través de una emisión beta. Posee un periodo de semidesintegración de 12,33 años.[7] Pequeñas cantidades de tritio se encuentran en la naturaleza por efecto de la interacción de los rayos cósmicos con los gases atmosféricos. También ha sido liberado tritio por la realización de pruebas de armamento nuclear. El tritio se usa en reacciones de fusión nuclear, como trazador en Geoquímica Isotópica, y en dispositivos luminosos auto - alimentados. Antes era común emplear el tritio como radiomarcador en experimentos químicos y biológicos, pero actualmente se usa menos.

El hidrógeno es el único elemento que posee diferentes nombres comunes para cada uno de sus isótopos (naturales). Durante los inicios de los estudios sobre la radiactividad, a algunos isótopos radiactivos pesados les fueron asignados nombres, pero ninguno de ellos se sigue usando. Los símbolos D y T (en lugar de ^{2}H y ^{3}H) se usan a veces para referirse al deuterio y al tritio, pero el símbolo P corresponde al fósforo y, por tanto, no puede usarse para representar al protio. La IUPAC declara que aunque el uso de estos símbolos sea común, no es lo aconsejado.



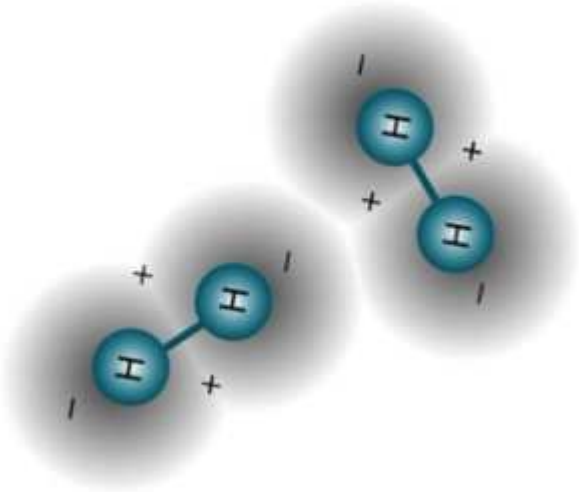
Esquema de los diferentes isótopos del hidrógeno.

4.3. Dihidrógeno

El dihidrógeno es una molécula diatómica homonuclear compuesta por dos átomos de hidrógeno; a temperatura ambiente es un gas inflamable, incoloro e inodoro.

En laboratorio se obtiene mediante la reacción de ácidos con metales como el zinc e industrialmente mediante la electrólisis del agua. El hidrógeno se emplea en la producción de amoníaco, como combustible alternativo y recientemente para el suministro de energía en las pilas de combustible.

Tiene un punto de ebullición de tan sólo 20,27 K (-252,88 °C) y un punto de fusión de 14,02 K (-259,13 °C). A muy alta presión, tal como la que se produce en el núcleo de las estrellas gigantes de gas, las moléculas mudan su naturaleza y el hidrógeno se convierte en un líquido metálico (ver hidrógeno metálico). A muy baja presión, como la del espacio, el hidrógeno tiende a existir en átomos individuales, simplemente porque es muy baja la probabilidad de que se combinen, sin embargo, cuando esto sucede pueden llegar a formarse nubes de H_2 que se asocian a la génesis de las estrellas.



Union de dos partículas de hidrógeno formando dihidrógeno (H2).

4.4. Propiedades del hidrógeno

A continuación veremos las diferentes porpiedades físicas y químicas que tiene el hidrógeno, así como sus características.

4.4.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del hidrógeno son:

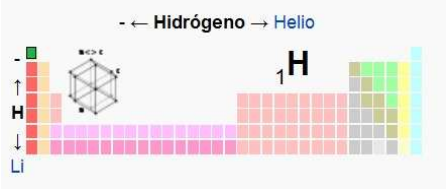
- En condiciones normales, el hidrógeno es un gas incoloro, inodoro y sin sabor.
- Es la molécula más pequeña conocida.
- El hidrógeno dispone de una densidad en estado gaseoso (a 20ºC y 1 atm) de 0,08376 kg/m3; y una densidad líquida de 0,0708 kg/l.
- El volumen específico de gas de hidrógeno (a 20ºC y 1 atm) es de 11,9 m3/kg, mientras que el volumen específico del hidrógeno líquido (a – 253ºC y 1 atm) es de 0,014m3/kg.
- Posee una gran rapidez de transición, cuando las moléculas se encuentran en fase gaseosa. Debido a esta propiedad, hay ausencia casi total, de hidrógeno en la atmósfera terrestre.
- Facilidad de efusión, así como también de difusión.
- Optima conductividad calorífica.
- Punto de fusión de 14,025 K.
- Punto de ebullición de 20,268 K
- Relación de expansión de 1:848. Significa que el hidrógeno, en su estado gaseoso en condiciones atmosféricas, ocupa 848 veces más que cuando se encuentra en estado líquido.

4.4.2. Propiedades químicas

Las propiedades químicas del hidrógeno son:

- Tiene un peso atómico de 100974 uma.
- Posee un estado de oxidación de +1, -1.
- Completa su nivel de valencia con un electrón capturado, para así poder producir el anión H^-.
- Se combina con los metales alcalinos y alcalinotérreos (menos con el berilio y magnesio), a través de enlaces iónicos.
- Forma enlaces tipo covalentes, con los no metales.
- Forma enlaces metálicos con los elementos de transición.
- El hidrógeno, H^+, siempre se encuentra asociado a otro elemento, menos en el estado gaseoso.
- Posee una estructura cristalina hexagonal.
- Reacciona con la gran mayoría de los elementos de la tabla periódica.

4.4.3. Tabla de propiedades y características

Propiedades y características del hidrógeno	
Primer elemento de la tabla periódica de los elementos	
Apariencia	Incoloro, inoloro y sin sabor
Información general	
Nombre, símbolo, número	Hidrógeno, H, 1
Serie química	No metales
Grupo, período, bloque	1, 1, s
Masa atómica	1.0079 g/mol
Configuación electrónica	$1s^1$
Electrones por nivel	1
Propiedades atómicas	
Radio medio	25 pm
Electronegatividad	2,2, (Pauling)
Radio atómico (calc)	53 pm (Radio de Bohr)
Radio iónico	208 pm
Radio covalente	37 pm
Radio de Van der Waals	120 pm
Estados de oxidación	+1, -1
Óxido	Anfótero
1ª Energía de ionización	1312 KJ/mol
Propiedades físicas	
Estado ordinario	Gas
Densidad	0,0899 kg/m^3
Punto de fusión	14,025 K
Punto de ebullición	20,268 K
Punto de inflamabilidad	255 K
Entalpía de vaporización	0,44936 KJ/mol
Entalpía de fusión	0,05868 KJ/mol
Presión de vapor	209 Pa a 23 K
Temperatura crítica	23,97 K
Presión crítica	$1{,}293 \cdot 10^6$ Pa
Volumen molar	$22{,}42 \times 10^{-3}$ m^3/mol
Varios	
Estructura cristalina	Hexagonal
Nº CAS	1333-74-0
Nº EINECS	215-605-7
Calor específico	$1{,}4304 \cdot 10^4$ J/(K·kg)
Conductividad térmica	0,1815 W/(K·m)
Velocidad del sonido	1270 m/s a 293.15 K

4.4.4. Características

El dihidrógeno, consigue licuarse a unos -253ºC, solidificando entorno a los -259ºC. El hidrógeno en estado gaseoso, no es demasiado reactivo, quizás esto sea debido a la elevada energía de enlace covalente que posee, H-H = 436 kJ.mol^-1. Este tipo de enlace es más fuerte que los enlaces que se forma el hidrógeno con la gran parte de los demás elementos no metálicos, como por ejemplo, la energía de enlace H-S, con un valor de solamente 347 kJ.mol^-1. Cabe recordar que solamente cuando las energías de enlace de los productos son símiles a la de los reactivos, o incluso mayores, es únicamente cuando es posible que se produzcan reacciones espontáneas.

Una de estas reacciones, por ejemplo, es la combustión del dihidrógeno con el dioxígeno, con el fin de producir agua. Cuando el oxígeno y el hidrógeno en estado gaseoso se consiguen mezclar, produciéndose una chispa, la reacción es de carácter explosivo:

$$2\ H_2\ (g) + O_2\ (g) \rightarrow 2\ H_2O\ (g)$$

Esta reacción tiene que ser impulsada por la entalpía, pues hay una reducción de la entropía. Al sumar las energías de enlace, el fuerte enlace entre el O-H (464 kJ.mol^-1), lo que hace la reacción termodinámicamente factible.

El dihidrógeno puede reaccionar con los halógenos, diminuyendo la rapidez de dichas reacciones, conforme se desciende en el grupo. En este grupo, la reacción del hidrógeno con el fluor es bastante violenta; dando como producto el fluoruro de hidrógeno:

$$H_2\ (g) + F_2\ (g) \rightarrow 2\ HF\ (g)$$

La reacción del dihidrógeno, con el nitrógeno, se produce de manera muy lenta sin catalizador:

$$3\ H_2\ (g) + N_2\ (g) \leftrightarrow 2NH_3\ (g)$$

Cuando se produce a altas temperaturas, el dihidrógeno reduce a algunos óxidos metálicos al elemental metal. Así, por ejemplo, el óxido de cobre (II) se ve reducido a cobre metálico:

$$\Delta$$

$$CuO\ (s) + H_2\ (g) \rightarrow Cu\ (s) + H_2O\ (g)$$

Cuando se encuentra en presencia de un catalizador (que suelen ser paladio, o platino), el dihidrógeno reduce a triples y dobles enlaces de carbono-carbono, para sí, dejar los enlaces sencillos, como por ejemplo, el C2H4 (eteno), reduciéndose a C2H6:

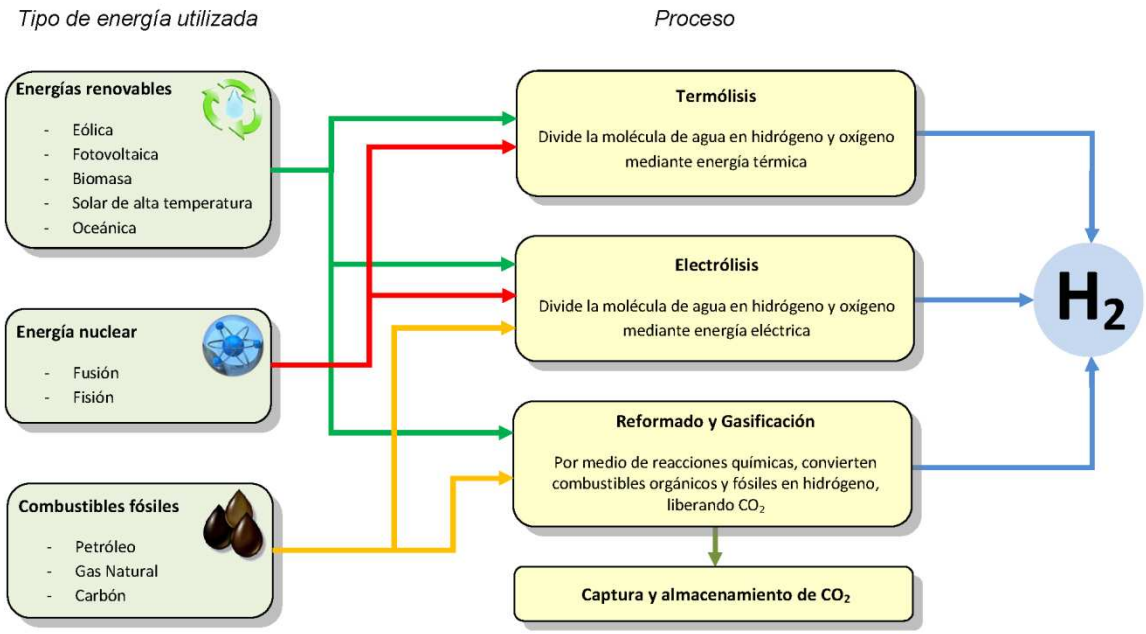
$$\mathbf{H_2C = CH_2\ (g)\ +\ H_2\ (g) \rightarrow H_3C - CH_3\ (g)}$$

La reducción con dihidrógeno, se usa en la conversión de las grasas líquidas no saturadas (aceites de consumo), que poseen mucha cantidad de dobles enlaces carbono-carbono, en grasas sólidas saturadas, o parcialmente saturadas (como las margarinas), las cuales contienen menor cantidad de dobles enlaces carbono-carbono.

4.5. Obtención del hidrógeno

En la actualidad, prácticamente el 95% del hidrógeno que se produce se hace a partir de combustibles fósiles

A continuación podemos ver un esquema general donde se muestran las diferentes maneras de obtener hidrógeno:



Esquema de las diferentes maneras de obtener hidrógeno.

Métodos de obtención:

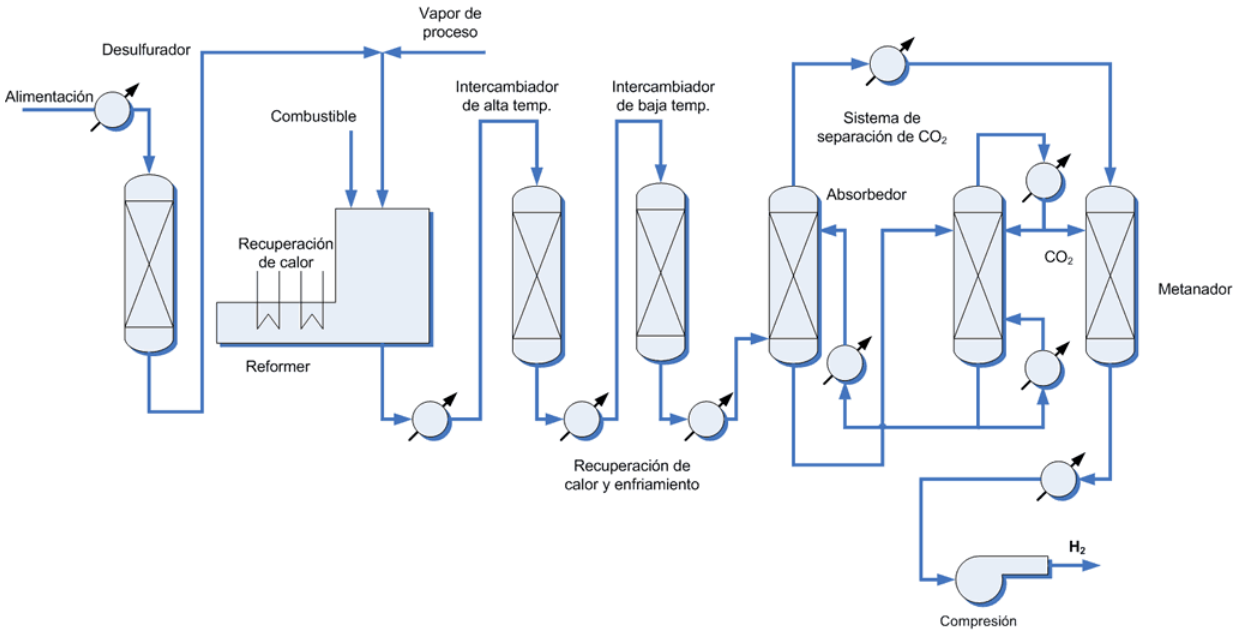
- **Reformado con vapor (steam reforming).**

Con este procedimiento el hidrógeno se obtiene a partir de hidrocarburos, fundamentalmente del gas natural. El principal componente del gas natural es metano CH4 y la reacción consiste básicamente en separar el carbono del hidrógeno. El proceso tiene lugar en dos etapas: En la fase inicial, el gas natural se convierte en hidrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono. La segunda etapa consiste en producir hidrógeno adicional y dióxido de carbono a partir del monóxido de carbono producido durante la primera etapa. El monóxido de carbono es tratado con una corriente de vapor a alta temperatura produciéndose hidrógeno y dióxido de carbono. El hidrógeno producido, se almacena en tanques.

La mayoría del hidrógeno empleado por la industria petroquímica se genera de esta manera. El proceso tiene una eficiencia entre el 70 y el 90%. A continuación se muestran las reacciones químicas producidas durante el proceso:

$CH_4 + H_2O \Rightarrow CO + 3H_2$

$CO + H_2O \Rightarrow CO_2 + H_2$



Esquema del proceso de obtención de hidrógeno por reformado con vapor.

- **Oxidación parcial de combustibles fósiles con defecto de O2.**

Se obtiene una mezcla de hidrógeno que posteriormente se purifica. Las cantidades de oxígeno y vapor de agua son controladas para que la gasificación continúe sin necesidad de aporte de energía. La siguiente reacción global representa el proceso::

$CH1,4 + 0,3\ H_2O + 0,4\ O2 \Rightarrow 0,9\ CO + 0,1\ CO_2 + H_2$.

- **Electrólisis del agua.**

El paso de la corriente eléctrica a través del agua, produce una disociación entre el hidrógeno y el oxígeno, componentes de la molécula del agua H_2O. El hidrógeno se recoge en el cátodo (polo cargado negativamente) y el oxígeno en el ánodo. El proceso es mucho más caro que el reformado con vapor, pero produce hidrógeno de gran pureza. Este hidrógeno se utiliza en la industria electrónica, farmacéutica o alimentaria.

H_2O + energía $\Rightarrow H_2 + O_2$

- **Fotoelectrolisis.**

Básicamente, este procedimiento aprovecha la radiación solar para generar la corriente eléctrica capaz de producir la disociación del agua y en definitiva la producción de hidrógeno.

- **Biomasa.**

Utilizando la biomasa como fuente de producción de hidrógeno, éste se puede producir por dos procedimientos: gasificación de la biomasa o pirólisis.

- Gasificación de biomasa: Se trata de someter a la biomasa a un proceso de combustión incompleta entre 700 y 1200ºC. El producto resultante es un gas combustible compuesto fundamentalmente por hidrógeno, metano y monóxido de carbono.

- Pirólisis: Es la combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno, a unos 500ºC, . Se obtiene carbón vegetal y gas mezcla de monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno e hidrocarburos ligeros.

- **Membranas de intercambio cónico o de electrolito polémico sólido.**

Dejan pasar los protones (H+). Se producen las siguientes reacciones:

Ánodo:

H_2O =>2H+ + 1/2 O_2 + 2e-

H_2O =>2H+ + 1/3 O_3 + 2e-

Cátodo:

2H+ + 2e- =>H_2

- **Producción fotobiológica:**

Por ejemplo, la cianobacteria y las algas verdes pueden producir hidrógeno, utilizando únicamente luz solar, agua e hidrogenasa como una enzima. Actualmente, esta tecnología está en periodo de investigación y desarrollo con eficiencias de conversión estimadas superiores al 24%. Se han identificado más de 400 variedades de plantas primitivas candidatas para producir hidrógeno.

- **A partir de metanol como combustible.**

Producción de hidrógeno a bordo del vehículo, para su consumo in situ. El hidrógeno puede obtenerse por tres vías catalíticas diferentes:

- oxidación parcial con oxígeno o aire: $CH_3OH + 1/2\ O_2 \Rightarrow CO_2 + 2\ H_2$
- reformado con vapor de agua: $CH_3OH + H_2O \Rightarrow CO_2 + 3\ H_2$
- descomposición: $CH_3OH \Rightarrow CO + 2\ H_2$.

De estas tres alternativas, la oxidación parcial (Ej. 1), ofrece algunas ventajas claras con respecto al reformado con vapor en cuanto que utiliza aire en vez de vapor y es una reacción exotérmica por lo que no requiere un aporte de energía externa durante la operación. Estas ventajas se contrarrestan con la producción de una cantidad de hidrógeno menor.

- **A partir de etanol como combustible.**

Producción de hidrógeno a bordo del vehículo, para su consumo in situ, donde se produce la siguiente reacción:

$CH_3CH_2OH + 3H_2O \Rightarrow CO + CO_2 + 6H_2$.

Para este caso se produce monóxido de carbono, el cual es un veneno de la membrana de intercambio de protones de las pilas de combustible.

La producción del hidrógeno a partir de la materia primaria (hidrocarburos o agua) necesita de importantes cantidades de energía. La investigación se centra ahora en saber si es posible el empleo de energías renovables sin carbono: descomponer el hidrógeno del agua a partir de energía fotovoltaica, eólica, hidráulica o geotérmica.

4.6. Aplicaciones

En la industria química y petroquímica se requieren grandes cantidades de H_2. La aplicación principal del H_2 es para el procesamiento (refinado) de combustibles fósiles, y en la síntesis de amoníaco (proceso de Haber). Los procesos fundamentales que consumen H_2 en una planta petroquímica son la hidrodesalquilación, la hidrodesulfurización y el hidrocraking.

El H_2 posee otros muchos usos como agente hidrogenante, particularmente en el incremento de la saturación de grasas y aceites insaturados (que se encuentran en productos como la margarina), y en la producción de metanol. Es empleado también en la manufactura del ácido clorhídrico, y como agente reductor para minerales metálicos.

- Producción de ácido clorhídrico, combustible para cohetes, y reducción de minerales metálicos.
- El hidrógeno líquido se emplea en aplicaciones criogénicas, incluyendo la investigación de la superconductividad.
- Empleado antaño por su ligereza como gas de relleno en globos y zepelines, tras el desastre del Hindenburg se abandonó su uso por su gran inflamabilidad.

Aparte de sus usos como reactivo, el H_2 posee muchas aplicaciones en Física e Ingeniería. Se usa para el escudo de gas en métodos de soldadura tales como la soldadura de hidrógeno atómico. El H_2 se emplea como refrigerante en generadores eléctricos en las estaciones eléctricas, ya que es el gas con mayor conductividad térmica. El H_2 líquido se usa en la investigación criogénica, incluyendo el estudio de la superconductividad. Puesto que el H_2 es más ligero que el aire (posee una densidad poco mayor a la quinceava parte de la del aire) fue usado como gas de relleno para globos aerostáticos y aeronaves. Sin embargo, este uso fue abandonado tras el desastre del Hindenburg que evidenció la peligrosidad del hidrógeno cuando es usado para estos fines. No obstante, aún se sigue usando para inflar globos sonda meteorológicos.

Los isótopos del hidrógeno también tienen sus aplicaciones particulares. El deuterio (^2H) posee aplicaciones en el campo de la fisión nuclear, como moderador para frenar neutrones, y también tiene aplicaciones en reacciones de fusión nuclear. Los compuestos de deuterio tienen usos en Química y Biología, sobre todo en los estudios de efectos isotópicos. El tritio (^3H), generado en los reactores nucleares, se usa en la producción de bombas de hidrógeno, como radiomarcador en Ciencias Biológicas, y como fuente de radiación en pinturas luminiscentes.

La temperatura de equilibrio del punto triple del hidrógeno es un punto fijo definido en la escala de temperaturas ITS-90.

El spin o giro de la molécula de hidrógeno puede ser alineado homogéneamente mediante ondas de radiofrecuencia. Esta propiedad es el fundamento de la resonancia magnética nuclear, dispositivo de obtención de imágenes que es capaz de recoger información en función de la diferente velocidad de recuperación del spin original de las moléculas de hidrógeno (presentes en el agua) de los diferentes tejidos de un ser vivo.

El hidrógeno como portador de energía

El hidrógeno no es una fuente de energía, excepto en el hipotético contexto de las plantas comerciales de fusión nuclear alimentadas por deuterio o tritio, una tecnología que actualmente se encuentra en desarrollo en el reactor experimental ITER. La energía del Sol proviene de la fusión nuclear del hidrógeno, sin embargo, es un proceso complicado de conseguir en la Tierra. El hidrógeno elemental obtenido de fuentes solares, biológicas o eléctricas cuesta mucha más energía para producirlo de la que se obtiene de su combustión. El hidrógeno puede generarse a partir de fuentes fósiles (como el metano) gastando menos energía de la que se obtiene, pero se trata de fuentes no renovables que, además son fuentes energéticas por sí mismas.

Hidrógeno como combustible

Se ha hablado mucho del hidrógeno molecular como posible portador de energía. El uso del H_2 tendría la ventaja de que las fuentes fósiles podrían usarse directamente para la obtención del gas (a partir de metano, por ejemplo). El H_2 usado en los medios de transporte produciría una combustión limpia en la que el único producto sería el agua, eliminando por completo las emisiones de CO_2.

Sin embargo, los costes para la infraestructura necesaria para llevar a cabo un conversión completa a una economía del hidrógeno serían sustanciales.[3] Además, la densidad energética del hidrógeno líquido o gaseoso (dentro de unas presiones prácticas) es significativamente menor que los combustibles tradicionales.

Por ejemplo, puede emplearse en motores de combustión interna. Una flota de automóviles con motores de este tipo es mantenida en la actualidad por Chrysler-BMW. Además, las pilas de combustible en desarrollo parece que serán capaces de ofrecer una alternativa limpia y económica a los motores de combustión interna.

Debido a que el hidrógeno es escaso en forma libre y la mayor parte de él se encuentra combinado con otros elementos, no es una fuente de energía primaria, como sí lo son el gas natural, el petróleo y el carbón. En realidad el hidrógeno es un vector energético, es decir un portador de energía que se debe producir a partir de fuentes primarias. Aun así el hidrógeno como combustible presenta diversas ventajas. El hidrógeno se quema en el aire libre cuando hay concentraciones entre el 4 y 75% de su volumen, en cambio el gas natural lo hace entre 5,4 y 15%. La temperatura por combustión espontánea es de 585 °C, mientras que para el gas natural es de 540 °C. El gas natural explota en concentraciones de 6.3 a 14%, mientras que el hidrógeno requiere concentraciones entre el 13 y el 64%, por lo que el gas natural es más explosivo que el hidrógeno.

En la actualidad existen cuatro formas de utilizar el hidrógeno para producir energía:

- Uniendo sus núcleos dentro de un reactor denominado *Tokamak*, durante el proceso conocido como fusión nuclear.
- Combinándolo electroquímicamente con el oxígeno sin generar flama para producir directamente electricidad dentro de un reactor conocido como celda de combustible.
- Combinándolo químicamente con el oxígeno del aire a través de quemadores convencionales y a través de procesos catalíticos, teniendo este método una amplia aplicación doméstica.
- Combinándolo químicamente con el oxígeno en medio acuoso dentro de una caldera no convencional para producir vapor motriz, en el ciclo conocido como *Chan K'iin*.

Uno de los principales problemas que se tienen con el hidrógeno es su almacenamiento y transporte. Si se confina en forma gaseosa, el contenedor tendría que soportar presiones de hasta 200 atmósferas. Si se desea almacenar en forma líquida, se tiene que enfriar a -253 °C y posteriormente guardarse en un depósito perfectamente aislado. Otra forma de almacenamiento se puede llevar a cabo mediante una reacción química reversible con diversas sustancias formando hidruros metálicos.

4.7. Almacenamiento y transporte

Existen distintos métodos para el trasporte y almacenamiento de hidrógeno, las posibilidades dependen de la aplicación para la que se destina el hidrógeno y de la complejidad de ejecución.

Los sistemas de almacenamiento y transporte de hidrógeno pueden ser clasificados en función de su estado gaseoso, líquido o sólido. Para llegar a emplear sistemas de distribución a gran escala la tecnología de tuberías subterráneas debe estar bien desarrollada y los costes económicos deben ser favorables de manera que sea más barato distribuir la energía bajo tierra que como electricidad mediante cables aéreos. Las opciones principales para el almacenamiento y transporte en cantidades apreciables son los gases comprimidos, los líquidos criogénicos y los hidruros metálicos, cada sistema tiene sus pros y sus contras en función de la aplicación deseada.

4.7.1. Almacenamiento en forma gaseosa

Dado que los sistemas y métodos de producción generan hidrógeno gaseoso en lugar de líquido o almacenado mediante combinación química y que el hidrógeno se emplea en su forma gaseosa, parece ventajoso almacenar y transportar el hidrógeno en dicho estado.

La comparación frente a otros combustibles indica que el almacenamiento del hidrógeno gaseoso en recipientes a presión no es competitivo. Esto es debido a la baja densidad del hidrógeno gaseoso y al alto coste de los recipientes a presión. El almacenamiento de hidrógeno gaseoso comprimido es voluminoso y/o pesado y el coste por unidad de energía es alto.

Almacenamiento gaseoso en tanques metálicos

Para aplicaciones especiales se fabrican tanques con aceros bajos al carbón, normalmente tipo 4130 mediante una técnica que proporciona tubos no soldados muy resistentes.

4.7.2 Transporte en forma gaseosa

El creciente interés en el uso del hidrógeno como vector energético ha dado lugar a numerosos estudios acerca de la viabilidad del transporte de hidrógeno mediante tuberías. Se compara entonces las tuberías de hidrógeno con las tuberías de gas natural existentes. La estructura de los sistemas de hidrógeno es similar a la del gas natural con algunos cambios en ciertos parámetros como el diámetro, el nivel de presión y las distancias entre las estaciones de compresión debido a las propiedades físico químicas del hidrógeno gaseoso.

Compresores para tuberías de hidrógeno

Dentro del mundo del hidrógeno la compresión es un aspecto que no se conoce lo suficiente. En este momento, en la industria del gas natural, se emplean dos tipos de compresores para incrementar la presión en los sistemas de tuberías. Dichos tipos son: de pistón o compresores alternativos y los turbocompresores radiales o compresores centrífugos.

Debido a las diferencias entre las propiedades del gas natural y del hidrógeno se producen problemas en ambos tipos de compresor si se utiliza el mismo equipo con ambos gases. Razón por la cual habría que modificar su diseño para que pudieran operar con el hidrógeno. Sin embargo el principal problema no está en el diseño sino en las necesidades de capacidad, presiones operativas, relación de compresión y diferencias de presión.

4.7.3. Almacenamiento en forma liquida

Para poder licuar el hidrógeno es necesario disminuir la temperatura hasta el punto de licuación. El punto de licuación del hidrógeno es de -253ºC. Cuando disminuimos tanto la temperatura tenemos que hablar de procesos de criogenización.

Procesos de criogenización.

La criogenización está íntimamente relacionada con las propiedades y usos de los materiales a temperaturas extremadamente bajas en las etapas de producción, almacenamiento y operación de los fluidos criogénicos.

Un gas es considerado criogénico sí puede cambiar a estado líquido al reducir su temperatura a un valor muy bajo. Normalmente los fluidos criogénicos son gases a temperatura y presión ambiente.

La consecución de temperaturas tan bajas se logra mediante recipientes de almacenamiento aislados por vacío llamados Dewar o bien mediante tanques de doble capa que contienen otro fluido criogénico intermedio como puede ser el nitrógeno líquido.

Propiedades del hidrógeno líquido relativas al almacenaje y manipulación.

El hidrógeno líquido es transparente, incoloro, inodoro e insípido. Las propiedades más importantes desde el punto de vista del almacenamiento y manipulación son su baja temperatura de ebullición, baja densidad y alta volatilidad.

El hidrógeno muestra un fenómeno de conversión orto-para. Este fenómeno se produce porque el hidrógeno tiene dos disposiciones posibles: la paralela (orto-hidrógeno) y la antiparalela (para-hidrógeno). Ésta última configuración tiene el menor nivel de energía sin embargo la configuración orto tiene el triple de niveles de energía disponibles. De manera que a elevada temperatura (temperatura ambiente y superiores) el hidrógeno en equilibrio está formado por un 75% en forma orto y un 25% en forma para. A temperatura de 20.3 K estos porcentajes varían hasta alcanzar un 99.7 en forma para. Si el hidrógeno se licúa sin la presencia de un catalizador que acelere la conversión de hidrógeno orto a para el producto resultante tiene básicamente la misma composición que tendría a temperatura ambiente (hidrógeno “normal”). La energía teórica para la licuefacción del hidrógeno es de 11.8 MJ/kg

aunque si la conversión transcurre durante la licuefacción la energía necesaria se eleva hasta 14.1 MJ/kg.

A pesar de estas y otras dificultades la tecnología para el manejo y almacenamiento de hidrógeno líquido se ha desarrollado de forma exitosa.

Almacenamiento criogénico

Una vez que el hidrógeno ha sido licuado y purificado se necesita de un sistema que permita su trasiego y almacenaje. Los objetivos principales de estos sistemas están orientados a minimizar las pérdidas de fluido criogénico y a mantener las velocidades de transferencia dentro de unos parámetros de seguridad, fiabilidad y costes.

Sistemas de aislamiento

El avance experimentado en el desarrollo de materiales y técnicas para el aislamiento ha sido formidable. Existen múltiples sistemas para el aislamiento, la mayoría de ellos empleados en el almacenamiento: vacío con “escudo” de nitrógeno líquido, vacío + espumas, vacío + perlita y vacío + multicapas, “superaislamiento”. La elección de uno u otro para una aplicación en particular depende de factores como el coste, la rugosidad, el peso, el volumen y la fiabilidad. La propiedad más importante de los aislamientos es su conductividad térmica. Para una pérdida de calor dada el espesor de los aislamientos puede variar mucho en función del tipo escogido.

Depósitos Dewar

Los recipientes a presión de hidrógeno líquido se construyen en una gran variedad de tamaños desde frascos de laboratorio de un litro hasta Dewars de 3 millones de litros en las aplicaciones aeroespaciales. El funcionamiento de estos depósitos de almacenamiento varía y depende principalmente del tipo de aislamiento empleado, del tamaño y forma del depósito y del soporte estructural del mismo.

Almacenamiento a gran escala

La forma de almacenar el hidrógeno a gran escala la podemos dividir en dos formas, almacenamiento subterráneo y almacenamiento en superficie.

- Almacenamiento subterráneo

- Congelado en el suelo o en cavernas interiores.
- Hormigón pretensado

- Almacenamiento en superficie

Podemos diferencia tres tipos de sistemas, pared simple, doble pared (ambas rígidas) doble pared (una flexible).

Pared simple

- Aislados externamente (ambas paredes rígidas)
- Aislados internamente

Doble pared (ambas rígidas)

- aislamiento de perlita
- aislamiento de perlita con vacío en el espacio intermedio
- aislamiento de capas múltiples con vacío en los espacios intermedios

Doble pared (una flexible)

- Aislamiento mediante esferas de vidrio hueco con vacío en los espacios intermedios

4.7.4. Transporte en forma líquida

El transporte de hidrógeno líquido está bien establecido y se realiza a través de transporte rodado, ferrocarril y transporte marítimo.

El transporte por carretera se realiza en depósitos *Dewar* de 48000 l y 52000 l montados en camiones. Hay camiones especiales que son capaces de transportar depósitos de 80000 l. Todos estos depósitos están equipados con aislamiento multicapa con pérdidas por ebullición del 0.25% por día.

Las cisternas de ferrocarril para el transporte de hidrógeno líquido son depósitos *Dewar* horizontales de forma cilíndrica con una capacidad de 10000 l sin embargo algunas cisternas especiales alcanzan la capacidad de 120000 l.

Las cisternas utilizadas en los buques de carga también son *Dewar*. Estos depósitos tienen una capacidad de 1 millón de litros. Un ejemplo de este tipo de servicio es el que se realiza entre Luisiana y el Kennedy Space Center en Florida.

El hidrógeno se transporta en forma líquida por una cuestión económica. Un camión cisterna transporta en hidrógeno líquido el equivalente de 15 a 30 camiones de hidrógeno gaseoso a presión. Posteriormente el hidrógeno se convierte a gas ya en la planta donde vaya a ser utilizado, la capacidad típica de estos convertidores es de hasta 3000 m^3/h.

Situación actual de los sistemas de transferencia

El transporte de hidrógeno licuado se realiza por cualquiera de estos dos métodos.

- En *Dewars* (discutido en puntos anteriores)
- Por tuberías especiales

El diseño de tuberías para la transferencia de hidrógeno es de vital importancia especialmente cuando se requiere de altas eficiencias a largas distancias. Las tuberías de transferencia para fluidos criogénicos suelen ser de tres tipos:

- No aisladas (tuberías desnudas)
- Aislamiento poroso
- Aislamiento por vacío (puede estar combinado por multicapa o aislamiento en polvo)

El aire líquido, el oxígeno, el nitrógeno se transfieren a través de tuberías no aisladas en tramos de pequeña longitud. Este tipo de tuberías tienen la ventaja de su bajo coste, bajo mantenimiento, facilidad de diseño y adaptabilidad sobre el terreno. Las desventajas se centran fundamentalmente en su alta conductividad. A pesar de ello Richard realizó un estudio para determinar la fuga energética y la caída de presión para este tipo de tuberías si se emplearan con hidrógeno líquido. El estudio concluye que es posible emplear este tipo de tuberías siempre y cuando el periodo de uso sea corto o si las instalaciones son de carácter temporal o experimental.

Los sistemas con aislamiento son más utilizados. En el caso del oxígeno líquido o nitrógeno se emplean lana de vidrio, espuma de poliuretano o espuma de polimetano. Además es necesario colocar una barrera de vapor en la cara exterior del aislamiento como protección frente al vapor de agua. El aire puede condensar dentro del aislamiento con lo cual aumenta el riesgo de explosión razón por la cual no se emplean los aislamientos porosos con el hidrógeno líquido.

La forma más usual de aislamiento es emplear vacío rodeando a modo de camisa la tubería de trasferencia. Los tamaños varían desde ¼ a 20 pulgadas de diámetro, las presiones van desde unos pocos kilopascales a 20 bares y las longitudes van desde unos pocos metros a un par de kilómetros.

Los materiales empleados en la construcción de los sistemas de transferencia criogénicos deben ser compatibles con las necesidades operativas. Si el material se va a utilizar estructuralmente es importante que mantenga la ductilidad a la temperatura de funcionamiento. Por tanto la posibilidad de fragilización es una característica importante. Cuando el problema viene dado por la transmisión de calor se deben utilizar materiales de baja conductividad. También se deben considerar todos aquellos procedimientos auxiliares que contribuyan a la seguridad y eficiencia del sistema. El purgado antes y después del funcionamiento elimina problemas de contaminación que podrían desembocar en mezcla explosivas. Por tanto las tuberías de transferencia deben disponer de instrumentación adecuada de temperatura y presión

4.7.5. Transporte en forma sólida

Para almacenar el hidrógeno en forma solida se hace gracias a los hidruros metálicos. Los hidruros son compuestos binarios formados por átomos de hidrógeno y de otro elemento químico, pudiendo ser este metal o no metal.

Ventajas de los hidruros metálicos

Como se ha introducido en puntos anteriores el almacenamiento de hidrógeno gaseoso comprimido necesita de altas presiones en los depósitos de confinamiento mientras que el almacenamiento líquido necesita de depósitos criogénicos. Ambos sistemas presentan dificultades, el almacenamiento gaseoso es muy voluminoso y el almacenamiento líquido es poco práctico en aplicaciones no industriales además de caro. En esta coyuntura aparece el almacenaje por hidruros metálicos que soslaya algunos de los inconvenientes anteriores y presenta un modo compacto, intermedio en peso, para el almacenamiento.

Teoría de los hidruros metálicos

Los hidruros metálicos se dividen en tres categorías generales en función del tipo de enlace: iónicos, metálicos y covalentes.

Los distintos grupos de hidruros candidatos al almacenamiento de hidrógeno se denominan como AB, AB_5 y A_2B. Cada grupo tiene características especiales. Los AB son los de menor coste, los A_2B son más ligeros y los AB_5 muestran poca histéresis, tolerancia a las impurezas y fácil hidrogenación además tanto los AB como los AB_5 tienen presiones de equilibrio de unos pocos bares hasta 100 ºC.

El almacenamiento se produce del siguiente modo. Al principio el metal está libre de hidrógeno. A una temperatura dada el hidrógeno se disuelve en la fase metálica aumentando la presión. Al aumentar la temperatura llega un momento en el que la fase alfa se convierte en la fase hidruro. Conforme aumenta la presión los incrementos en el contenido de hidrógeno son cada vez menores hasta que el material puede considerarse cargado. En la descarga la presión disminuye de manera que debe suministrarse calor si se quieren mantener condiciones isotermas de reversibilidad. Sin embargo, aun en el mejor de los casos, se produce un efecto de histéresis.

Propiedades de los materiales para el almacenamiento de hidrógeno		
Medio	Capacidad de almacenamiento de hidrógeno	Calor de formación Kcal/mol
Fe Ti H	0.096	13
La Ni H	0.089	7.4
Mg Ni H	0.081	6.7
M líquido	0.070	-

Problemas técnicos del almacenamiento de hidruros

Los problemas encontrados hasta el momento están relacionados con la transferencia de calor, el deterioro del lecho metálico, la seguridad, la fragilización, la baja densidad de almacenamiento, la baja densidad de energía y la necesidad de desarrollar compresores de hidrógeno fiables.

La velocidad en el proceso de carga y descarga del hidrógeno depende del coeficiente de transmisión de calor en el lecho metálico y de las presiones y temperaturas de almacenamiento. Sin embargo no se trata de un aspecto que no pueda ser superado con eficacia.

La emisión y absorción de calor asociada a los procesos de hidrogenación y deshidrogenación parece causar el descascarillado de los hidruros metálicos debido al cambio de volumen. Con el tiempo esta tendencia disminuye el tamaño de grano del lecho metálico lo que supone una limitación en el proceso.

5. DISEÑO DEL GENERADOR DE HIDRÓGENO

Como hemos comentado en la introducción, el objetivo de este proyecto es realizar un estudio y diseño de un generador de hidrógeno de pequeñas dimensiones y producción de hidrógeno reducida. La finalidad de este generador es instalarlo en un vehículo de combustión interna para aumentar el rendimiento del motor, reduciendo el consumo de combustible y disminuyendo las emisiones de gases contaminantes que se producen, como el CO2 y NOx.

Existen diferentes métodos de obtención de hidrógeno. En este caso, diseñaremos un generador de hidrógeno por electrólisis del agua.

La electrólisis no es el método más rentable de obtener hidrógeno, pero en nuestro caso, es la forma más fácil y efectiva, ya que el generador tiene que ser de dimensiones reducidas y en un vehículo, podemos obtener del alternador y la batería la energía eléctrica para producir la cantidad de hidrógeno necesaria.

El hidrógeno obtenido lo utilizaremos junto con el combustible normal del vehículo (gasolina o gasoil), intentando así obtener un ahorro del mismo. En definitiva, aumentar la eficiencia del motor.

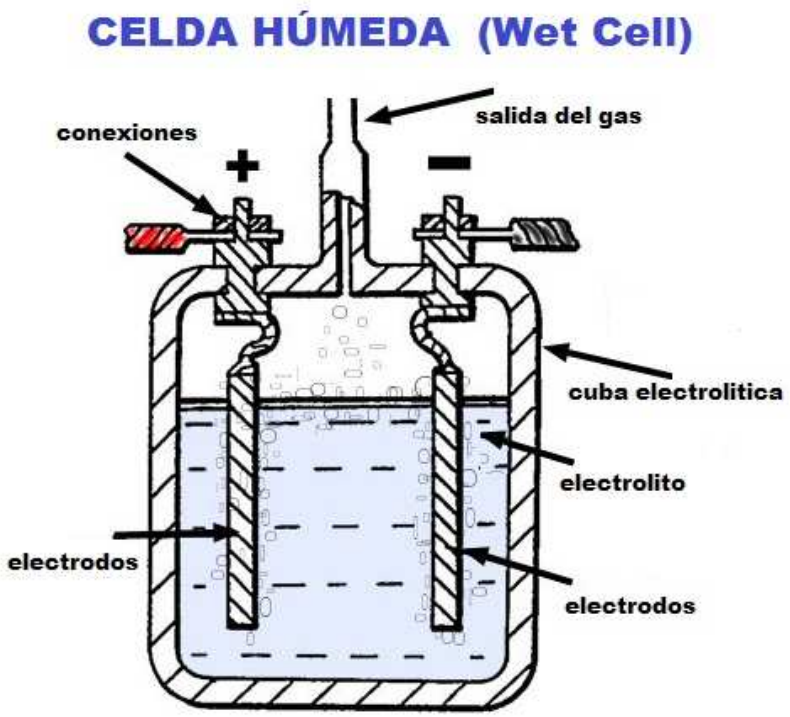
5.1. Tipo de generador

Diseñaremos un generador de hidrógeno por electrólisis.

La electrólisis del agua es la descomposición de agua (H_2O) en gas de oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2) por medio de una corriente eléctrica a través del agua.

Una fuente de poder eléctrica es conectada a dos electrodos hechos de algún metal inerte como el platino o acero inoxidable, los cuales son puestos en el agua. En una celda propiamente diseñada, el hidrógeno aparecerá en el cátodo (el electrodo negativamente cargado, donde los electrones son bombeados al agua), y el oxígeno aparecerá en el ánodo (el electrodo positivamente cargado). La cantidad de hidrógeno generado es el doble que la de oxígeno, y ambas son proporcionales al total de carga eléctrica que fue enviada por el agua.

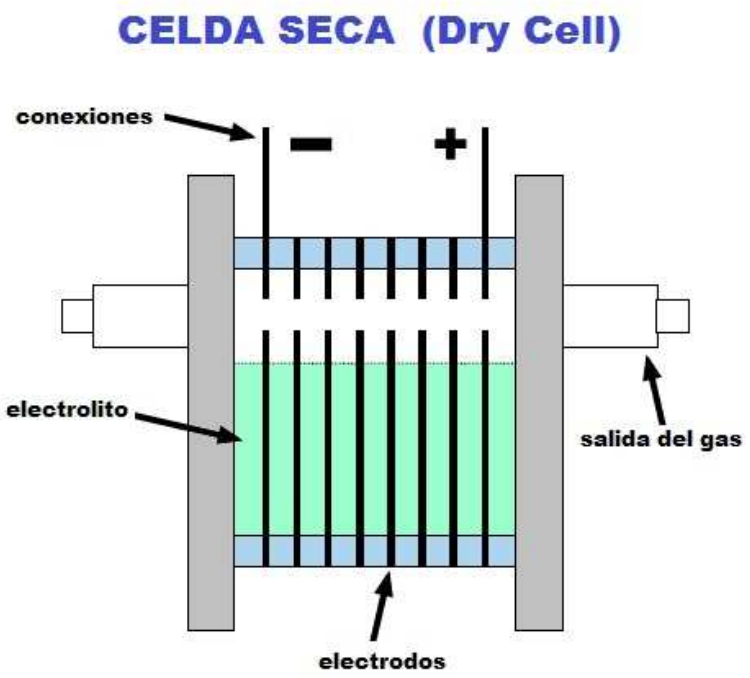
Para realizar la electrolisis necesitamos una celda donde se pueda producir. Existen dos tipos de celda, cela humeda (Wet cell) y celda seca (Dry cell).



La celda seca, es un electrolizador, es decir, es un dispositivo utilizado para generar hidrógeno y oxígeno mediante el principio de electrólisis del agua. Éste contiene el electrolito dentro de sí. A diferencia de la celda húmeda, que también es un electrolizador, es una cuba electrolítica y contiene tanto la solución como el electrodo múltiple dentro de sí.

La principal diferencia es que la Celda Seca puede soportar una mayor cantidad de corriente eléctrica que se transforma en calor pero que es disipado por las placas externas del electrodo al medio ambiente. Por el contrario, la celda húmeda, por su diseño no posee una capacidad de disipación de calor tan efectiva, ya que el calor generado por los electrodos es absorbido por el electrolito. En este caso, si aumentamos la corriente eléctrica, también aumentará la temperatura del electrolito, convirtiéndose en vapor. Esto es un efecto perjudicial, ya que el gas resultante sería una mezcla de hidrógeno, oxígeno y vapor de agua.

En nuestro caso, nos decantaremos por el generador de celda seca (Dry cell).



5.1.1. Características a tener en cuenta

A continuación veremos una serie de indicaciones y consejos para los generadores de hidrógeno por electrólisis, que nos servirán para poder diseñar nuestro generador:

1) La producción de gas es directamente proporcional a la corriente consumida solamente. En condiciones STP (0° C, 1 atm) se necesita aproximadamente 1.594 amperios de cada litro por hora (LPH) por celda, mientras que se necesitará menos si se mide el volumen de gas a temperatura ambiente.

2) El voltaje de la celda (entre dos electrodos) ideal sería de alrededor de 1.48V, y cualquier cosa por encima de este valor pierde eficiencia. El voltaje más bajo de celdas en la práctica parece estar alrededor de 1.8V-2.0V. La tensión o voltaje sólo es necesario para circular la corriente a través de la celda, no tiene relación con la cantidad de gas producido. La sobretensión de la celdas (por encima de 1.48V) se determina por; los materiales de los electrodos, la densidad de corriente, la distancia entre electrodos y la conductividad del electrolito.

3) Potencia o Eficiencia Total se define como la cantidad de vatios necesarios para producir un LPH. Los diseños de celdas en serie parecen tener la máxima eficiencia en el rango de 2.5-3 vatios por cada LPH. El electrolizador más eficaz tendría un gran número de las celdas en serie con espaciado cercano entre celdas (3 mm) y una baja corriente (10A).

4) El voltaje de la celda es a menudo alrededor de 12V, y ponen el suficiente electrolito para pasar 5A más o menos. 5A crea sólo el 3,5 LPH de gas, por lo que la eficiencia es muy mala en los 18,5 Watts por LPH. Los electrolizadores en serie de 7 celdas bien diseñados producen 7 veces esa cantidad de gas o 24,5 LPH con la misma potencia, es decir son mucho más eficientes.

5) El voltaje de la celda también depende de la densidad de corriente (corriente / área total del electrodo). Celdas con áreas pequeñas son menos eficientes, ya que requiere un voltaje más alto para pasar la misma cantidad de Amperios. Buenas prácticas de densidad de corriente son de alrededor de 0.5A/Sq.inch o 0.1A/cm^2. Un electrolizador debe tener un área de al menos unos 170 cm^2, para soportar alrededor de 20A.

6) Cuanto mayor sea la corriente a través de la celda (mayor densidad de corriente), más alto es el voltaje de la celda. La eficiencia energética disminuye a medida que aumenta la corriente si la superficie de las placas se mantiene igual. Para mantener la eficiencia energética, el mismo incremento de la superficie de la placa debe ser en proporción con la corriente (mantener la misma densidad de corriente).

7) Cuanto más pequeña es la distancia entre electrodos más bajo será el voltaje de la celda. En la práctica 3 mm distancia entre electrodos es bueno hasta cerca de 10A. A mayores corrientes el electrolito inicia la formación de espuma que subirá sobre las placas (reduce la eficiencia) y el electrolizador comienza a escupir espuma de electrolito. Para usar 10-40A use una separación de 5-8 mm.

8) El mejor electrolito es NaOH (1 parte de NaOH por 4 partes de agua por peso) o KOH (28% por peso). En la práctica, estos dan el voltaje más bajo a la celda.

9) El mejor material para elaborar electrodos sería el níquel, pero las placas son muy caras. Acero con chapa niquelada también funcionaría. El material para electrodo más práctico es el acero inoxidable (inox 316-L). El acondicionamiento de la superficie del electrodo es muy importante para reducir al mínimo el voltaje de la celda. Lo mejor es lijar las placas del electrodo (patrón cruzado a 90 grados) para formar un montón de montes microscópicos. Las placas no deberán tocarse con los dedos desnudos pues la grasa de estos constituye un excelente aislante para la formación del gas.

5.2. Cálculos

Para realizar los cálculos de la energía eléctrica necesaria, debemos conocer Las leyes de Faraday de la electrólisis.

- **1 ª ley de Faraday de la electrólisis** - La masa de una sustancia alterada en un electrodo durante la electrólisis es directamente proporcional a la cantidad de electricidad transferida a este electrodo. La cantidad de electricidad se refiere a la cantidad de carga eléctrica, que en general se mide en culombios.

- **2 ª ley de Faraday de la electrólisis** - Para una determinada cantidad de electricidad (carga eléctrica), la masa de un material elemental alterado en un electrodo , es directamente proporcional al peso equivalente del elemento. El peso equivalente de una sustancia es su masa molar dividido por un entero que depende de la reacción que tiene lugar en el material.

- La ley de Faraday en la forma moderna:

$$m = \frac{Q}{q\,n} \cdot \frac{M}{N_A} = \frac{1}{q\,N_A} \cdot \frac{QM}{n} = \frac{1}{F} \cdot \frac{QM}{n} = \frac{1}{96485} \cdot \frac{QM}{n}$$

donde:

- *m* es la masa de la sustancia producida en el electrodo (en gramos),
- *Q* es la carga eléctrica total que pasó por la solución (en culombios),
- *q* es la carga del electrón = 1.602 x 10^{-19} culombios por electrón,
- *n* es el número de valencia de la sustancia como ion en la solución (electrones por ion),
- $F = qN_A$ = 96485 C·mol^{-1} es la Constante de Faraday,
- *M* es la masa molar de la sustancia (en gramos por mol), y
- N_A es el Número de Avogadro = 6.022 x 10^{23} iones por mol.

Para realizar los cálculos de gas que generara nuestro generador, partiremos de unas premisas y condiciones determinadas. Calcularemos el gas que se genera en un minuto (60 s) y con una intensidad de 10 A. Las condiciones de presión y temperatura son de 1 atm y 25 ºC, condiciones a las que trabajara el generador.

El electrolito que utilizaremos es agua destilada junto con hidróxido de sodio o sosa cáustica (NaOH). Para realizar los cálculos determinaremos que el electrolito contiene un 5% de NaOH. Esta proporción puede variar según sea necesario.

Hacemos la disociación de la solución:

NaOH ® $Na^+ + OH^-$ H2O ® $H^+ + OH^-$

Ánodo (Oxidación.): $2OH^-$ ® ½ $O_2 + H_2O + 2e^-$

Cátodo (Red.): $2H^+ + 2e^-$ ® H_2

Calculamos la carga eléctrica Q:

Q = I x t

Q = 10 x 60 = 600 C

Calculamos el número de moles de hidrógeno H_2:

n_{H2} = (Q / 2F) x 0,05

n_{H2} = (600 / 2 x 96485) x 0,05 = $1,5546 \cdot 10^{-4}$

De la ecuación de los gases ideales calculamos el volumen:

$V_{H2} = n_{H2} * R*T/P$

$V_{H2} = 1,5546 \cdot 10^{-4} \times 1,641 \cdot 10^{4} \times 298$ K / 1 atm = 760,22 cm ³

V_{H2} = 760,22 cm ³ = 0,76 L

Calculamos el volumen de oxígeno:

$V_{O2} = V_{H2}$ / 2 = 760,22 / 2 = 380,11 cm ³ = 0,38 L

Si sumamos el volumen de oxígeno e hidrógeno obtendremos el volumen de gas total resultante:

$V_{Total} = V_{H2} + V_{O2}$ = 760,22 + 380,11 = 1140, 33 cm ³ = 1,140 L

5.3. Diseño

Diseñaremos un generador de hidrógeno por electrólisis del tipo celda seca o Dry cell.

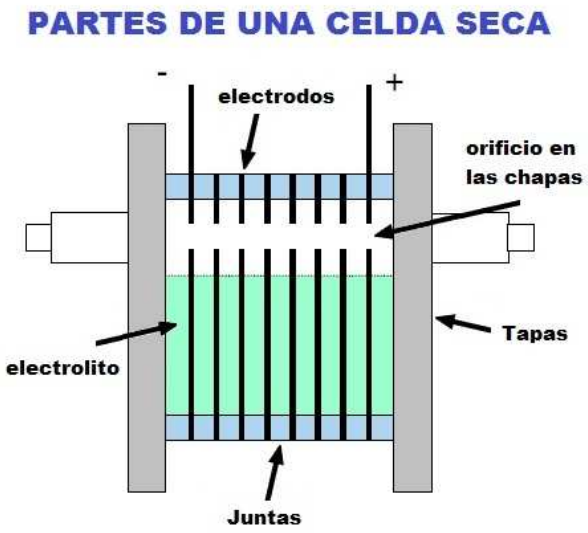
Estos generadores se componen en forma de sándwich. Hay dos tapas en los dos extremos y entre las dos tapas se encuentran las chapas que hacen de electrodos, separadas entre ellas por unas juntas.

Las tapas son de algún material no metálico que se aislante y no pase la corriente, como el PVC o Metacrilato.

Los electrodos, son chapas de algún material conductor. El mejor material para elaborar los electrodos es el níquel, pero el inconveniente es su elevado coste. El acero inoxidable también es un buen material y no es tan caro como el níquel. El aluminio también funciona, y es más barato que el acero inoxidable, pero el problema es que sufre una alta corrosión y los electrodos hay que cambiarlos con frecuencia.
Las chapas están perforadas para que el electrolito circule entre ellas, igual que el gas generado.

Las juntas están elaboradas con algún material aislante, ya que se encuentran entre los electrodos, y tienen que evitar que los electrodos entren en contacto. El espesor de las juntas, dependerá de la distancia que se necesite entre electrodos. Normalmente esta distancia varía entre 3 y 7 mm.

En la siguiente imagen podemos observar un esquema de una celda seca, y como están dispuestos los diferentes elementos.

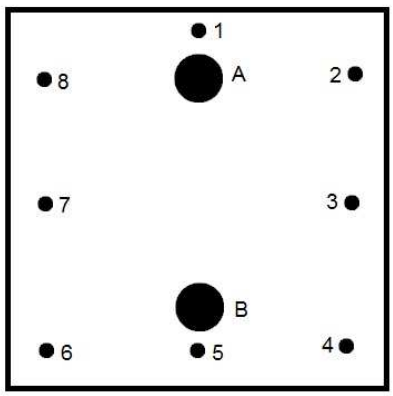


5.3.1. Diseño del generador

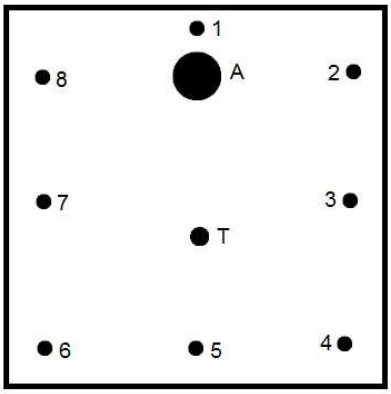
Como hemos dicho en el apartado anterior, el generador de hidrógeno se compone de varias partes. A continuación analizaremos las diferentes partes que componen el generador que vamos a diseñar. En este apartado especificaremos todos los elementos, tamaños y materiales. En el apartado de planos, están todos los planos de las piezas del generador en la escala y con las cotas correctas.

El primer componente del generador son los dos laterales que nos cierran el generador en forma de sándwich. Estas tapas son de un material no conductor. Se podrían hacer de cualquier material no conductor y de resistencia suficiente, pero en este caso, haremos las piezas de metacrilato, ya que de esta manera podemos observar el interior del generador y como se genera el hidrógeno.

Estas piezas son de forma cuadrada de 250 x 250 mm y de un espesor de 10 mm. En estas dos piezas iguales haremos unas perforaciones, como se indica en el esquema siguiente. Las dividiremos en parte delantera y parte trasera.



Parte delantera



Parte trasera

Los orificios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, están en las dos piezas. Son agujeros de 7 mm de diámetro, que nos servirán para pasar los pernos y poder apretar las dos partes entre sí. Así conseguiremos cerrar el sándwich y que quede estanco.
Los orificios A y B (el A en las dos partes y el B solo en una), son agujeros de 20 mm de diámetro que nos servirán para poder los tubos de entrada y salida. Los agujeros A son para la salida de gas. Hay uno en cada parte porque ponderemos dos salida, una por cada lado, para que el gas generado salga con más facilidad. El agujero B es para la entrada de agua y electrolito. Sólo hay uno, ya que es suficiente para que el agua pueda entrar.
El orificio T, es un agujero de 12 mm de diámetro, que servirá para introducir la sonda del termómetro para poder controlar la temperatura.

La conexión entre el generador y los tubos de entrada y salida, la haremos con unos codos roscados especiales, que encajan perfectamente con los orificios del metacrilato, y que proporcionan la estanqueidad necesaria para que no salga el agua ni el gas.
El siguiente componente del generador son los electrodos. En este caso los electrodos estarán formados por chapas de acero inoxidable.

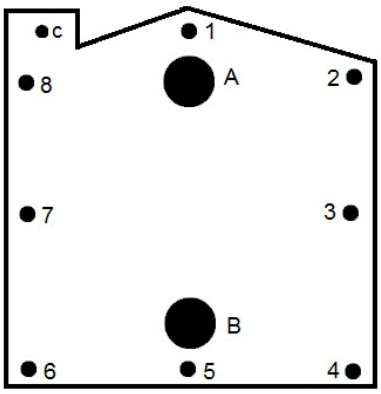
Como hemos dicho antes, los electrodos pueden ser de diferentes materiales. El mejor material es el níquel, pero el inconveniente que tiene es su elevado coste. Otro material que se puede utilizar, es el acero inoxidable, como es en este caso. No es tan caro como el níquel, pero da buenos resultados. Otro material que se puede utilizar, es el aluminio. Es más barato que el acero, pero tiene el inconveniente que sufre una alta corrosión y los electrodos se tienen que cambiar cada cierto tiempo. El tiempo de vida de los electrodos es más corto.
La composición de los electrodos será de un electrodo positivo en el centro y dos electrodos negativos en los extremos, separados entre sí por cuatro electrodos neutros. La configuración queda de la siguiente manera:

- n n n n + n n n n -

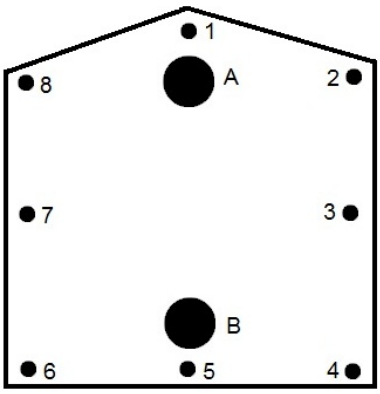
Ponemos dos electrodos negativos y uno positivo porque en la reacción de electrolisis, el oxígeno se forma en el electrodo positivo y el hidrógeno en el electrodo negativo. De esta manera, generaremos más cantidad de hidrógeno, y al estar los electrodos negativos situados en los extremos, donde hay las salidas del generador, el hidrógeno tendrá más facilidad para salir.

La utilización de electrodos neutros es para reducir la diferencia de potencial que hay entre los diferentes electrodos. Si solo ponemos dos electrodos, uno positivo y uno negativo, la diferencia de potencial que hay entre ellos, es toda. En este caso, si trabajamos con 12 voltios, la diferencia de potencial que habría seria 12v. En cambio, si ponemos electrodos neutros entre el positivo y el negativo, la diferencia de potencial entre el positivo y el negativo será igual que antes, pero la diferencia de potencial que hay entre dos electrodos consecutivos es menor. Esta diferencia de potencial variará según el número de electrodos neutros. Cuantos más electrodos neutros, los saltos de tensión serán menores. En este caso, la tensión entre electrodos sería de 2,7 voltios, ya que si la tensión es de 12 V, entre el positivo y el negativo hay 4 neutros, hay 5 saltos. Si dividimos los 12 v entre 5, nos da la diferencia de potencial entre electrodos, que es de 2,7.

Los electrodos serán de acero inoxidable 316L y tendrán un tamaño de 230 x 230 mm, y un espesor de 1,5 mm. Los electrodos tendrán una forma como la que se muestra en el esquema. Los tres electrodos que van conectados (un positivo y dos negativos) tendrán una pequeña variación en la forma.



Electrodos con conexión (x3)



Electrodos neutros (x8)

Como hemos explicado en la configuración de electrodos, hay 1 positivo, 2 negativos y 8 neutros. El positivo y los negativos tienen la misma forma que los neutros lo que estos tres tienen una pestaña en la parte superior que servirá para poder hacer las conexiones eléctricas.

En los electrodos también haremos unos agujeros, tal como se muestra en el esquema anterior.

Los orificios 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8, están en todos los electrodos. Son agujeros de 10 mm de diámetro, que nos servirán para pasar los pernos que sujetan y aprietan toda la estructura. Los pernos deben ser aislantes para que al estar en contacto con los electrodos, no los una eléctricamente. Para evitar esto se pueden utilizar pernos de teflón, o como es en nuestro caso, utilizar pernos de acero inoxidable y recubrirlos de teflón y tubo termo retráctil. De esta manera aislaremos los pernos eléctricamente.

Los orificios A y B, también en todas las piezas, son agujeros de 30 mm de diámetro que nos servirán para que el agua que hay en el interior y el gas que se genera, pueda circular entre los electrodos y pueda salir por los tubos. Si no hubiera estos agujeros, entre los diferentes electrodos quedarían compartimentos cerrados que no estarían comunicados entre sí.

El agujero C, solo está en los tres electrodos que sirven para hacer las conexiones. Es un agujero de 6 mm de diámetro, que servirá para introducir un tornillo que haga la función de borne. En el tornillo conectaremos el cable eléctrico. Debe ser un tornillo de acero inoxidable para que sea buen conductor de la electricidad.

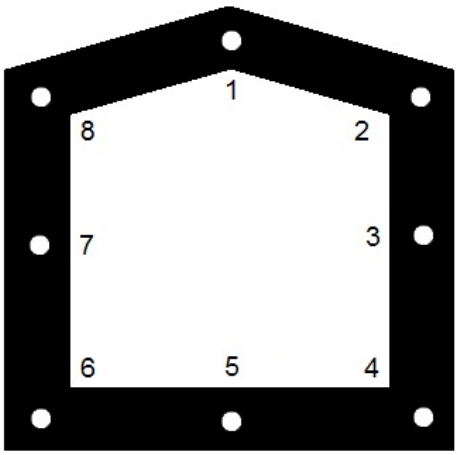
Otro de los componentes son las juntas que separan los electrodos entre sí. Como hemos explicado anteriormente, la distancia entre los electrodos debe ser entre 3 y 7 mm. El espesor de la junta es lo que nos marcará la distancia que hay entre electrodos. En nuestro caso utilizaremos juntas de 3 mm de espesor.

Las juntas deben ser de un material aislante, para que los electrodos no estén en contacto entre sí. Las juntas pueden ser de goma o caucho, o cualquier material que cumpla los requisitos: que sea aislante, que al apretarlo quede estanco y no se filtre el agua o el gas entre la junta y el electrodo y que no se comprima, ya que si se comprime la distancia que hay entre electrodos ya no es la del espesor, que es la que nosotros queremos.

En este caso utilizaremos goma de 3 mm de espesor.

Necesitamos 12 juntas para separar los diferentes electrodos y tapas de metacrilato. Entre el metacrilato y el electrodo, dejaremos más separación, unos 9 mm aproximadamente, para que las conexiones de los tubos que atraviesan el metacrilato no toquen el electrodo. Para conseguir esta distancia, podríamos poner una junta de 9 mm de espesor, pero en este caso pondremos 3 juntas consecutivas de 3 mm, con lo que ya tendremos los 9 mm de separación.

La junta sigue la forma de los electrodos, con una anchura de 20 mm, y tendrían una forma como la del esquema siguiente. También haremos unos agujeros de 10 mm para pasar los pernos, de la manera que se indica a continuación. Aproximadamente tiene un tamaño de 174 x 174 mm.



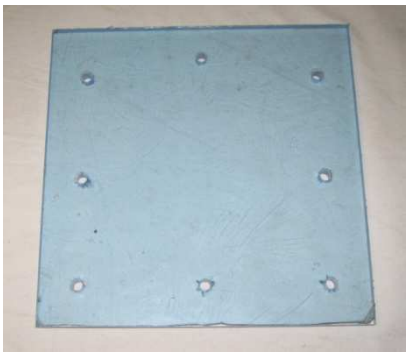
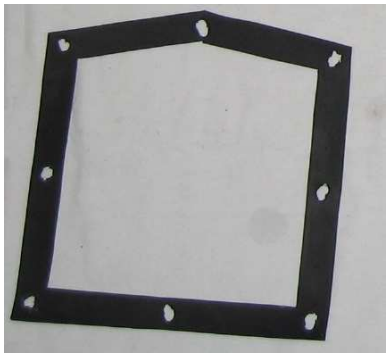
Junta

Otros elementos que integrarían el generador, son los pernos. Como hemos explicado, estos deben ser aislantes, ya que no debe circular la corriente a través de ellos. Pueden ser de diferentes maneras. Pueden ser de materiales aislantes tales como el plástico o el teflón. Otra manera, como en este caso, es utilizar pernos de acero inoxidable y aislarlos con la ayuda de teflón y tubo termo retráctil. De esta manera los pernos están aislados y tienen la resistencia del acero. En total necesitaremos 8 pernos con sendas tuercas y arandelas.

Estos pernos son de Métrico 8 y 100 mm de largo.

También necesitaremos dos tornillos de Métrico 5 para realizar la conexión de los cables con los electrodos. Un tornillo de 15 mm de largo y el otro de 50 mm, ya que tiene que unir dos electrodos. Estos tornillos deben ser de acero inoxidable para que conduzcan bien la electricidad.
A continuación especificaremos todos los componentes que integran el circuito eléctrico.

5.3.1.1. Componentes del generador

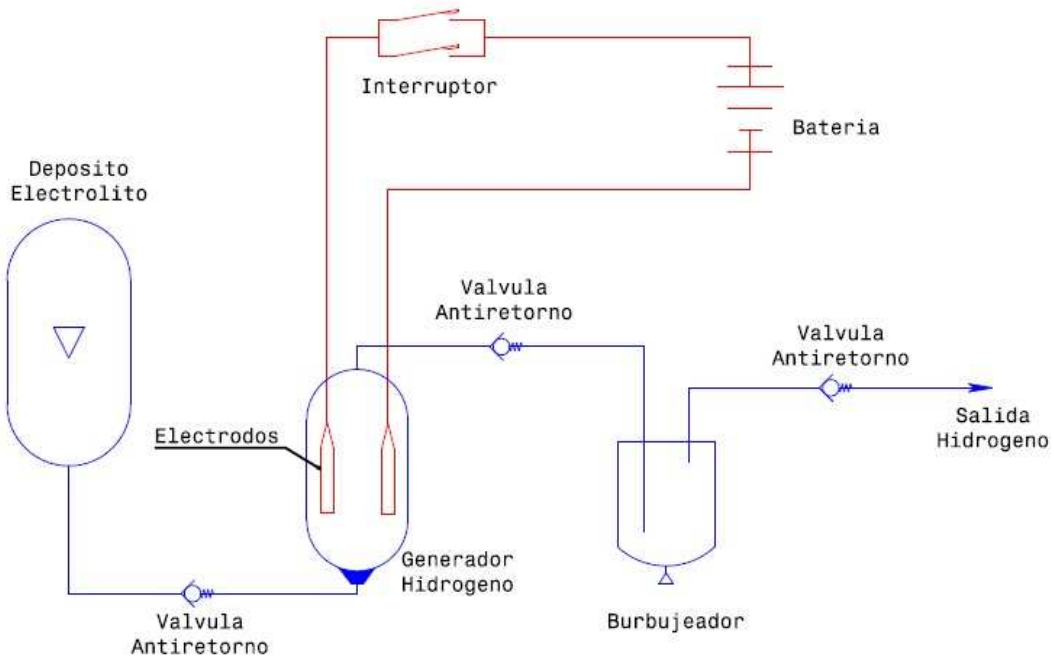
Componentes del generador de hidrogeno			
Nombre	*Características*	*Cantidad*	*Imagen*
Laterales	Placas metacrilato 250 x 250 mm Espesor: 10 mm	2	
Electrodos con conexión	Acero Inox 316L 230 x 230 mm Espesor: 1,5 mm	3	
Electrodos neutros	Acero Inox 316L 230 x 230 mm Espesor: 1,5 mm	8	
Juntas	Goma 174 x 174 mm Espesor: 3 mm	16	

Codo pasa tabiques	Racor instantáneo Para tubo de 12 mm Polímero técnico	3	
Pernos	Acero inoxidable Métrico 8 L = 100 mm	8	
Tuerca	Acero inoxidable Métrico 8	8	
Arandela	Acero inoxidable Métrico 8	16	
Perno	Acero inoxidable Métrico 5 L = 15 mm L = 50 mm	2	
Tuerca	Acero inoxidable Métrico 5	6	
Cinta de teflón	Cinta de teflón en rollo	2	
Tubo termo retráctil	Diámetro 10 mm L = 1 m	1	

5.3.2. Diseño del sistema

Para poder utilizar y aprovechar el hidrógeno generado, necesitamos otros elementos que nos permitan que el generador funcione, que el gas llegue hasta donde sea necesario, y que en conjunto, sea un sistema seguro donde no se puedan producir accidentes peligrosos.

El conjunto de todos estos elementos es lo que denominamos el sistema general.
El esquema del sistema general es el siguiente:



Como observamos hay dos partes claramente diferenciadas:

La primera, representada en color azul, es el circuito compuesto por tubos y otros elementos que permiten generar y transportar el gas. También forman parte otros elementos como es el burbujeador, elemento de seguridad.

La segunda, representada en color rojo, es el circuito eléctrico que permite aportar energía eléctrica al generador para que este pueda funcionar.

5.3.2.1. Circuito de gas

Este circuito está compuesto por el generador de hidrógeno, que es el elemento principal.

Como hemos explicado en anteriores apartados, es un generador de celdas secas, y por tanto la cantidad de electrolito que cabe en su interior es limitada. Cuando el generador está en funcionamiento, el hidrógeno y el oxígeno se genera a partir del agua que contiene el electrolito, por lo que esta agua se va consumiendo. Por eso uno de los elemento necesarios es el depósito de electrolito. Este depósito está conectado con la parte inferior del generador de hidrógeno, para que a medida que este va generando y consumiendo agua, automáticamente se va llenando de nueva agua. Lo llamamos depósito de electrolito porque, aunque la función es de llenar de agua, lo que contiene es la mezcla de electrolito: agua destilada más la proporción de electrolito, en este caso sosa cáustica.

Entre el depósito y el generador pondremos una válvula anti retorno para evitar que el electrolito que hay dentro del generador y el gas generado puedan retroceder hacia el depósito.

Todos estos elementos están unidos mediante un circuito de tubos y racores que nos permiten transportar el gas des del generador hasta el punto de consumo, pasando por los diferentes elementos de circuito. Las conexiones deben ser estancas para que no se produzca ninguna fuga de hidrógeno, ya que supondría un peligro.

En este caso, utilizaremos un sistema de tubos y racores instantáneos, que nos permiten montar y modificar el circuito con facilidad. Utilizaremos tubo calibrado de 12 mm de diámetro de nylon y racores instantáneos de 12 mm especiales para aire comprimido.

Otros elemento que pondremos a continuación del generador son el burbujeador, que es un elemento de seguridad y dos válvulas anti retorno. Estos elementos los explicaremos en el siguiente apartado, ya que son elementos de seguridad

5.3.2.2. Elementos de seguridad.

Como hemos explicado en el apartado anterior, en el circuito eléctrico hemos introducido diferentes elementos de seguridad, como son un interruptor magnetotérmico y un fusible que nos permiten limitar la corriente máxima que circula. También necesitamos incorporar diferentes elementos de seguridad al circuito de hidrógeno para prevenir posibles accidentes.

Uno de estos elementos de seguridad que incorporaremos son válvulas anti retorno. Con estos elementos situados en diferentes puntos del circuito nos evitaran que el gas retorne al generador evitando varios problemas que se podrían ocasionar.

Incorporando las válvulas anti retorno evitaremos que el gas retorne y provoque una sobre presión en el generador, pudiendo dañarlo. El generador no está diseñado para soportar presión, así que si el gas retornara y aumentara la presión en el generador, se podría romper, perdiendo su estanqueidad y produciendo fugas de hidrógeno que podrían ser peligrosas.

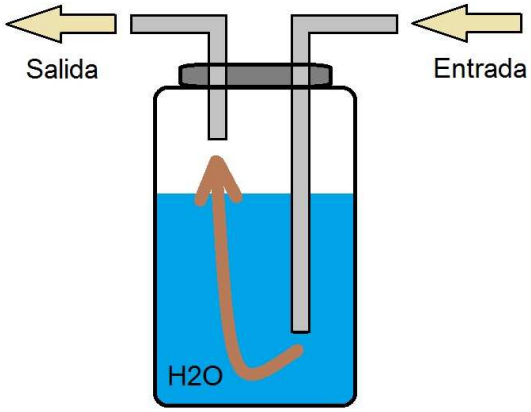
Otro problema que nos evita es que en caso de que se incendie el hidrógeno la llama pueda retroceder por el tubo hasta el generador, donde la acumulación de hidrógeno es mayor y podría explotar.

Otro elemento que incorporaremos a nuestro circuito de hidrógeno es un pequeño depósito o recipiente hermético lleno de agua destilada y por donde haremos pasar el gas resultante del generador. A este elemento lo llamaremos burbujeador. Con este elemento conseguiremos dos cosas.

La primera, igual que las válvulas anti retorno, es evitar que si se produce un problema y el hidrógeno se enciende, la llama no pueda retroceder hasta el generador, donde explotaría. Con este elemento la llama se encontraría con el agua que le impediría el paso a través, evitando así que la llama alcance el generador.

La otra función que tiene este elemento, es de lavar el gas resultante. Como el gas que se genera lo hacemos pasar a través del agua destilada, las partículas o impurezas que pueda contener, se quedan en el agua. También nos evita que el gas que obtenemos contenga vapor de agua. Si la temperatura en el generador aumenta significativamente, aparte de hidrógeno e oxígeno lo que obtenemos es estos gases más vapor de agua. Al hacer circular el gas que sale del generador por el burbujeador, como el agua está más fría, el gas se enfría y el vapor de agua se condensa. De esta manera evitamos introducir vapor de agua en el motor.

El burbujeador es un recipiente o depósito cerrado herméticamente donde entran dos tubos, uno para que el gas entre y otro para que salga. El tubo de entrada, es más largo y llega hasta el fondo, para que la boca del tubo quede cubierta por el agua. El otro tubo es la salida. Está en la parte superior para que el agua no toque la boca del tubo, ya que si no fuera así, el agua circularía por el tubo y se vaciaría el burbujeador.
A continuación especificaremos todos los componentes que integran el sistema.



5.3.2.3. Componentes del circuito de gas

Componentes del circuito			
Nombre	*Características*	*Cantidad*	*Imagen*
Generador de hidrógeno		1	
Burbujeador	Capacidad máxima: 2l	1	
Depósito electrolito	Capacidad máxima: 2l	1	
Tubo calibrado	Nylon D exterior = 12 mm D interior = 10 mm	4 m	

Racor en L	Racor instantáneo Forma de L Para tubo de 12 mm Polímero técnico	6	
Racor en T	Racor instantáneo Forma de T Para tubo de 12 mm Polímero técnico	1	
Racor Recto	Racor instantáneo Para empalmes Para tubo de 12 mm Polímero técnico		
Racor reductor	Racor instantáneo Reducción de diametro Polímero técnico Para tubo de 12 mm 12 mm a 10 mm 10 mm a 8 mm	2	
Adaptador	Adaptador: - racor instantáneo / rosca 3/8 Para tubo de 12 mm - racor instantáneo / rosca 1/8 Para tubo de 6 mm	6 1	
Válvula anti retorno	Conexión roscada Rosca 3/8 Latón	3	
Boquilla	Conexión roscada Rosca 1/8	1	

5.3.3. Circuito eléctrico

El circuito básico necesario para que funcione es realizar la conexión entre el elemento generador de corriente continua, en este caso la batería, y los electrodos del generador de hidrógeno. Simplemente uniendo estos dos elementos con un cable, el generador ya funcionaría. El esquema del circuito sería el siguiente.

Como podemos comprobar, es un circuito muy simple. En este circuito no podemos controlar el encendido o apagado del generador, no podemos observar la intensidad ni el voltaje que está circulando, y tampoco tenemos ningún elemento que nos permita controlar el consumo de electricidad.

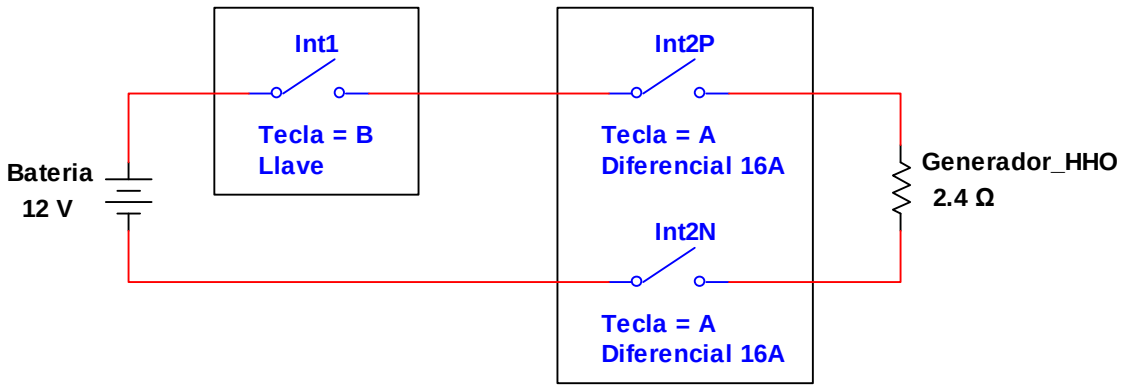
Lo primero que incorporaremos al circuito son los interruptores que nos permitan encender o apagar el generador. Ya que, como en el circuito anterior, siempre está conectado a la batería, siempre está generando hidrógeno, sin poder tener ningún control. Por eso pondremos dos interruptores en el circuito. Ponemos dos interruptores para mayor seguridad.

El primer interruptor sirve para dar corriente al circuito. Es el interruptor de contacto. El primer interruptor es un interruptor de llave. Ponemos este tipo de interruptor para tener un mayor control sobre quien pone en marcha el generador. Si realizáramos la instalación en un automóvil, este interruptor no haría falta ponerlo, ya que podríamos conectar el circuito a la llave de contacto del automóvil. Así el generador se activaría solo cuando el automóvil estuviera en marcha, reduciendo así el peligro de que con el automóvil parado el generador siga funcionando, generando una cantidad de hidrógeno que no es consumida, y que podría provocar una explosión.

El segundo interruptor sirve para poner en marcha o parar el generador. Con el primero damos corriente al circuito y con el segundo activamos o paramos el generador. Pondremos un interruptor automático magnetotérmico. En este caso lo pondremos de 16A, ya que no trabajaremos por encima de esta intensidad. En otros casos, podríamos poner interruptores de intensidad más alta. Para mayor seguridad, este interruptor es de dos fases, así que corta los dos cables, el positivo i el negativo.

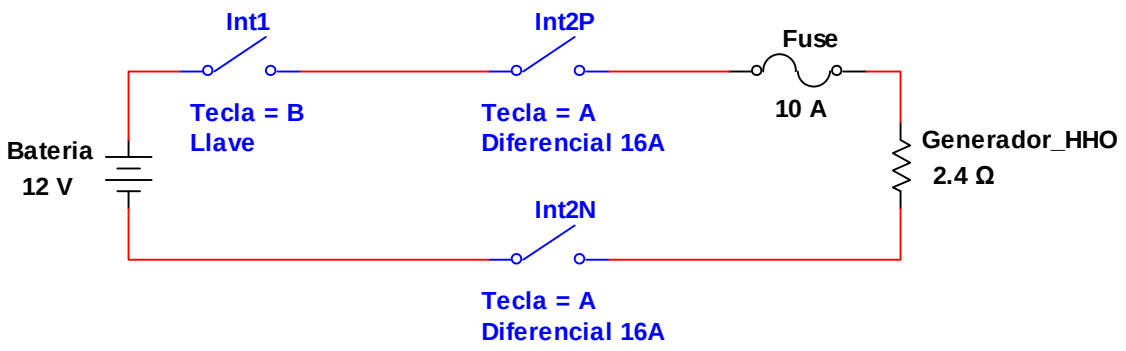
Como el consumo máximo de corriente del generador será de 16 A, los cables del circuito deben ser apropiados para esta corriente. Para 16 A los cables deben ser como mínimo de 2,5mm de sección. Si ponemos cables de menor sección y la corriente es superior a la que puede aguantar el cable pero menor a la intensidad de corte del interruptor magnetotérmico, tenemos un serio problema, ya que la intensidad al ser menor que la de corte, este no saltará y seguirá circulando corriente, pero al ser superior a la que los cables pueden aguantar, estos se quemarían pudiendo provocar un incendio.
Por eso, como mínimo, los cables deben aguantar la corriente que soporte el interruptor magnetotérmico, en este caso 16 A. Si cambiamos el interruptor por uno de intensidad superior, también debemos cambiar los cables del circuito.

Este sería el esquema del circuito con los interruptores:



Con este circuito ya podemos controlar el encendido y apagado del generador.

Ahora pondremos un elemento de seguridad. Nuestro generador trabajara como máximo a 10 A. Tenemos el interruptor magnetotérmico que nos limita la corriente a 16 A. Pero queremos limitarla a 10 A. Pondremos en el circuito un fusible que salte a 10 A, así cuando el generador consuma una intensidad superior a 10 A, el fusible saltara. De esta manera tenemos un elemento de seguridad, que nos permite limitar la corriente máxima. En este caso es de 10 A, pero si necesitamos más o menos corriente, solo hay que cambiar el fusible y poner otro de la intensidad deseada, siempre que no sea superior a 16 A, ya que si es superior, saltaría primero el interruptor magnetotérmico que el fusible. En este caso tendríamos que cambiar también el interruptor y poner uno de mayor intensidad. Así quedaría el circuito:



También introduciremos en el circuito un amperímetro y un voltímetro para poder visualizar la tensión e intensidad que está circulando por el generador. Estos elementos los situaremos después del fusible, justo antes del generador. Para este caso, hemos seleccionado un voltímetro de 15 voltios, ya que la tensión de la batería es de 12 v, y un amperímetro de 15 amperios ya que como máximo podría llegar a 16 amperios por el interruptor magnetotérmico, pero como tenemos un fusible no sobrepasara los 10 A. Como ya sabemos, el amperímetro se debe colocar en serie y el voltímetro en paralelo.

También para tener un mayor control visual, pondremos varios diodos led que nos permitirán comprobar el estado de funcionamiento de nuestro circuito.
En total pondremos 5 diodos led.

Pondremos uno rojo después del primer interruptor, para que cuando activemos el primer interruptor se encienda, indicando que se ha conectado el circuito y que hay corriente.

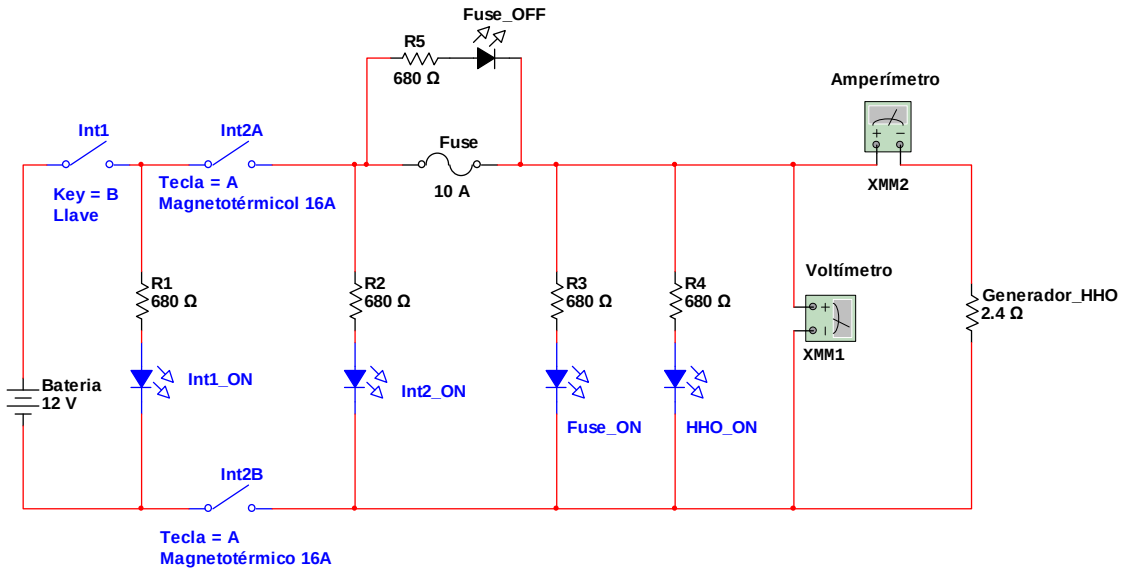
Colocaremos otro diodo led de color verde después del segundo interruptor. Este led se encenderá cuando el interruptor este activado, Indica que circula corriente por el interruptor.

También pondremos dos diodos para el fusible. Pondremos uno de color rojo en paralelo al fusible, y otro verde después del fusible. Cuando el fusible funcione correctamente, el led verde estará encendido. Cuando haya una sobrecarga y el fusible se rompa y deje de conducir, el led verde se apagará y se encenderá el led rojo, indicándonos de esta manera que el fusible ha saltado y que se debe reemplazar por otro.

Por último colocaremos un led de color azul, antes del amperímetro y el voltímetro. Este led, cuando este encendido nos indicará que todo funciona correctamente y que el generador está generando hidrógeno. Lo colocamos antes de los elementos de medida para que éste no influya en los valores de intensidad y tensión.

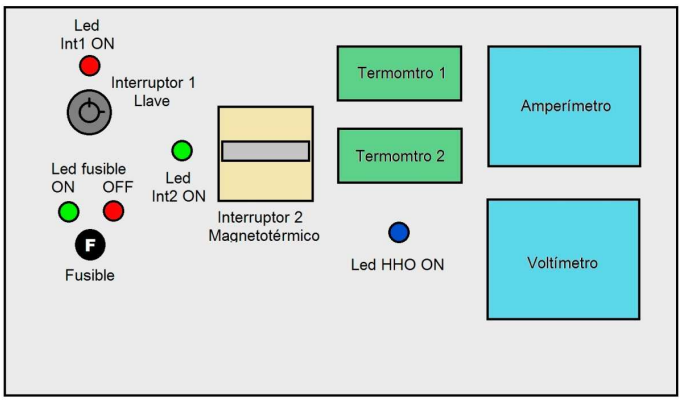
Para realizar el montaje de los diodos led y las resistencias, usaremos un soporte de fibra de vidrio, con pistas ya grabadas, y soldaremos con estaño los diferentes componentes.

Así quedará el circuito eléctrico final. En el apartado de planos, encontraremos el plano real.

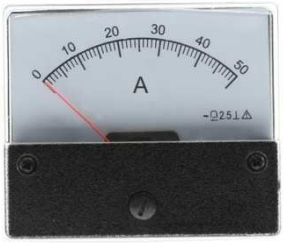


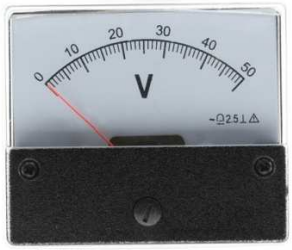
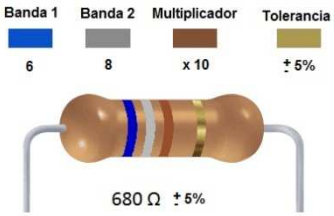
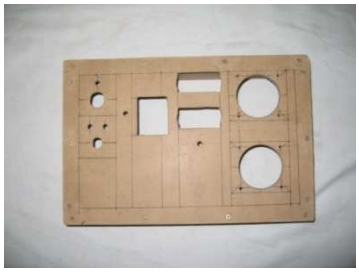
Como medida de control también instalaremos termómetros para tener un control sobre la temperatura del electrolito. Esto nos servirá para observar la temperatura y las variaciones que se producen. También podremos controlar que no aumente mucho la temperatura del electrolito, ya que si esto se produce, lo que obtenemos a la salida del generador es una mezcla de hidrógeno, oxígeno y vapor de agua. I esto es contraproducente.

Todo el circuito eléctrico lo montaremos dentro de una caja, donde acoplaremos los diferentes indicadores led, interruptores y aparatos de medida, para poder tener un control sobre ellos. Así quedara el panel de control:



5.3.3.1. Componentes del circuito eléctrico

Componentes del circuito eléctrico			
Nombre	*Características*	*Cantidad*	*Imagen*
Cable eléctrico	Intensidad máx.: 16A. Sección: 2,5mm.	15 m	
Interruptor de llave	Intensidad máx.: 20A. Para empotrar.	1	
Interruptor Magnetotérmico	Intensidad de corte: 16A. Bipolar.	1	
Porta fusibles	Para fusibles de: 20 mm de largo 5mm de diámetro Para empotrar.	1	
Fusible	Intensidad máx.: 10A. Diámetro: 5mm. Largo: 20mm.	1	
Amperímetro	Corriente Continua. Escala: 0 a 15A. Tamaño: 70 x 60mm. Para empotrar.	1	

Voltímetro	Corriente Continua. Escala: 0 a 15V. Tamaño: 70 x 60mm. Para empotrar.	1	
Diodo Led rojo	Diámetro: 5mm. Alta luminosidad.	2	
Diodo Led Verde	Diámetro: 5mm. Alta luminosidad.	2	
Diodo Led Azul	Diámetro: 5mm. Alta luminosidad.	1	
Porta Diodos Led	Para Led de 5 mm.	5	
Resistencia	Resistencia: 680 Ω. Tolerancia: +/- 5%.	5	
Placa de pistas	Fibra de Vidrio 1mm. Tamaño: 77 x 90mm. Paso de pistas: 2,54mm.	1	
Caja de control	Madera	1	

5.4. Planos

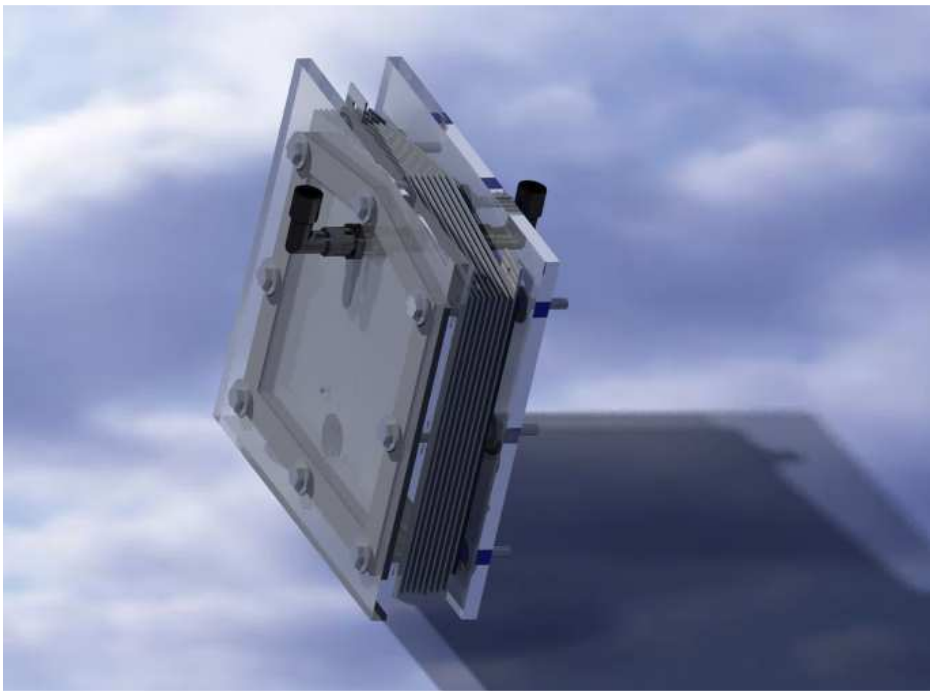
Referencia de planos					
Nº	**Nombre**	**Archivo**	**Tamaño ISO**	**Escala**	**Observaciones**
001	Tapa generador Parte delantera	GH_plano_01.pdf	A2	1:1	Metacrilato
002	Tapa generador Parte trasera	GH_plano_02.pdf	A2	1:1	Metacrilato
003	Electrodo conexión	GH_plano_03.pdf	A2	1:1	Acero Inox. 316L 3 unidades
004	Electrodo neutro	GH_plano_04.pdf	A2	1:1	Acero Inox. 316L 8 unidades
005	Junta	GH_plano_05.pdf	A2	1:1	Goma 18 unidades
006	Codo pasa tabiques	GH_plano_06.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
007	Perno, Rosca y Arandela	GH_plano_07.pdf	A4	1:1	Acero 8 unidades
008 1/5	Ensamblaje Vista frontal	GH_plano_08_1.pdf	A2	3:4	
008 2/5	Ensamblaje Vista trasera	GH_plano_08_2.pdf	A2	3:4	
008 3/5	Ensamblaje Detalles	GH_plano_08_3.pdf	A2	3:4	
008 4/5	Ensamblaje Vista corte	GH_plano_08_4.pdf	A2	1:1	
008 5/5	Ensamblaje Expansionado	GH_plano_08_5.pdf	A2	1:4	
009	Depósito electrolito	GH_plano_09.pdf	A2	3:4	Plástico
010	Burbujeador	GH_plano_10.pdf	A2	3:4	Plástico
011	Racor en T	GH_plano_11.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
012	Racor en L	GH_plano_12.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
013	Racor recto	GH_plano_13.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
014	Racor reductor	GH_plano_14.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
015	Racor adaptador	GH_plano_15.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
016	Válvula antirretorno	GH_plano_16.pdf	A4		Marca Itap - York
017	Boquilla	GH_plano_17.pdf	A4	1:1	
018	Esquema eléctrico	GH_plano_18.pdf	A4	1:1	
019	Caja de control	GH_plano_19.pdf	A2	1:1	Madera

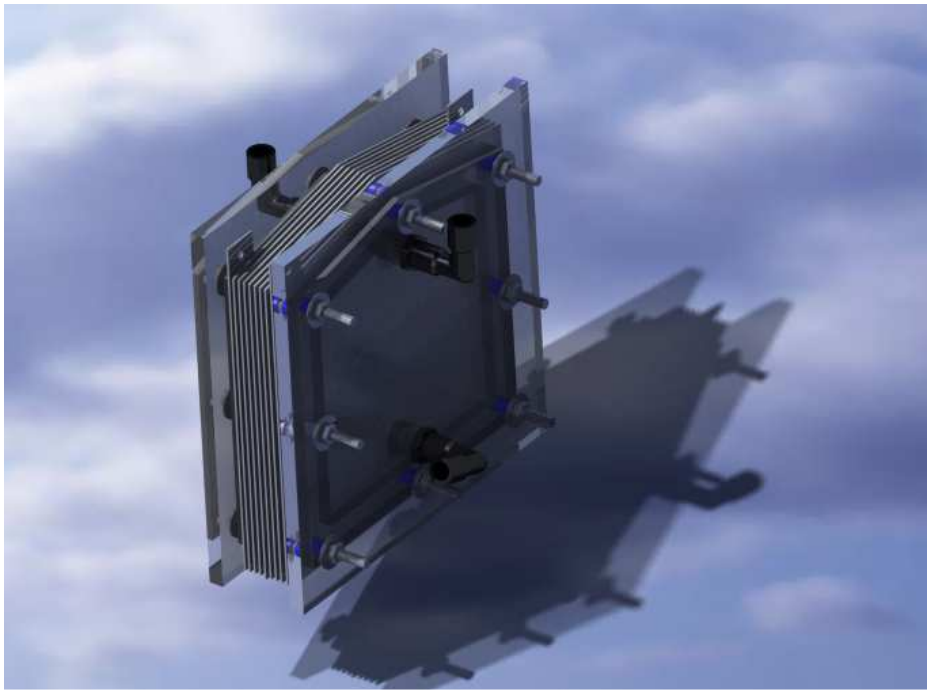
*Los planos están realizados con el software CATIA V5.

5.5. Construcción del prototipo

En este apartado realizaremos el montaje del prototipo. En los apartados anteriores se ha especificado todos los elementos que componen el sistema, incluyendo el generador, el circuito y el sistema eléctrico. En el apartado anterior encontraremos todos los planos necesarios para la construcción de los elementos.

Primero observamos dos dibujos del prototipo diseñado con CATIA V5. De esta manera podemos ver cómo debería ser el resultado del montaje.

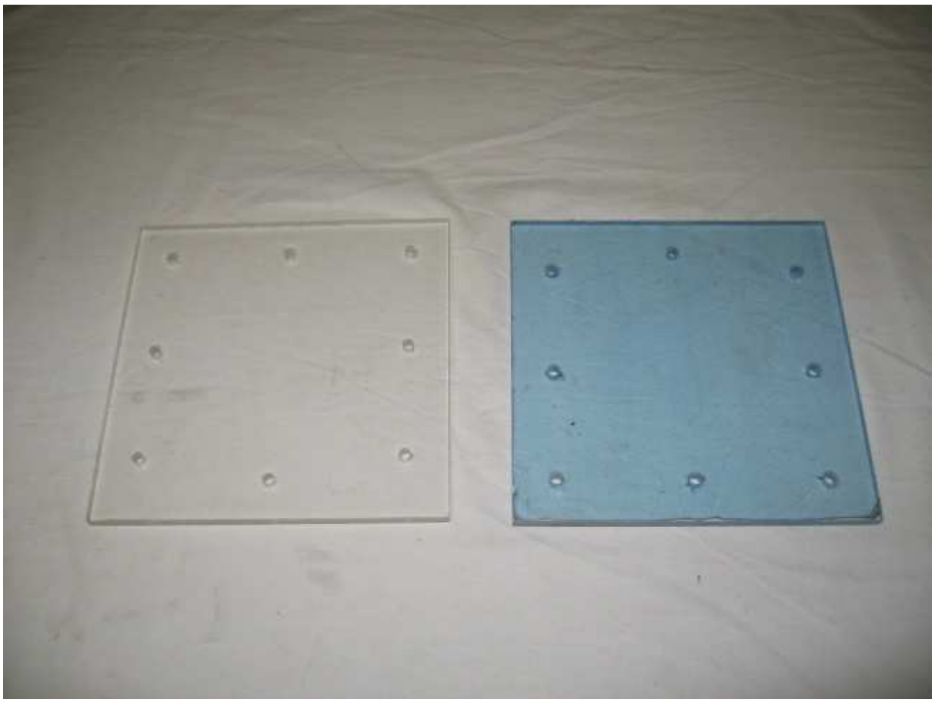


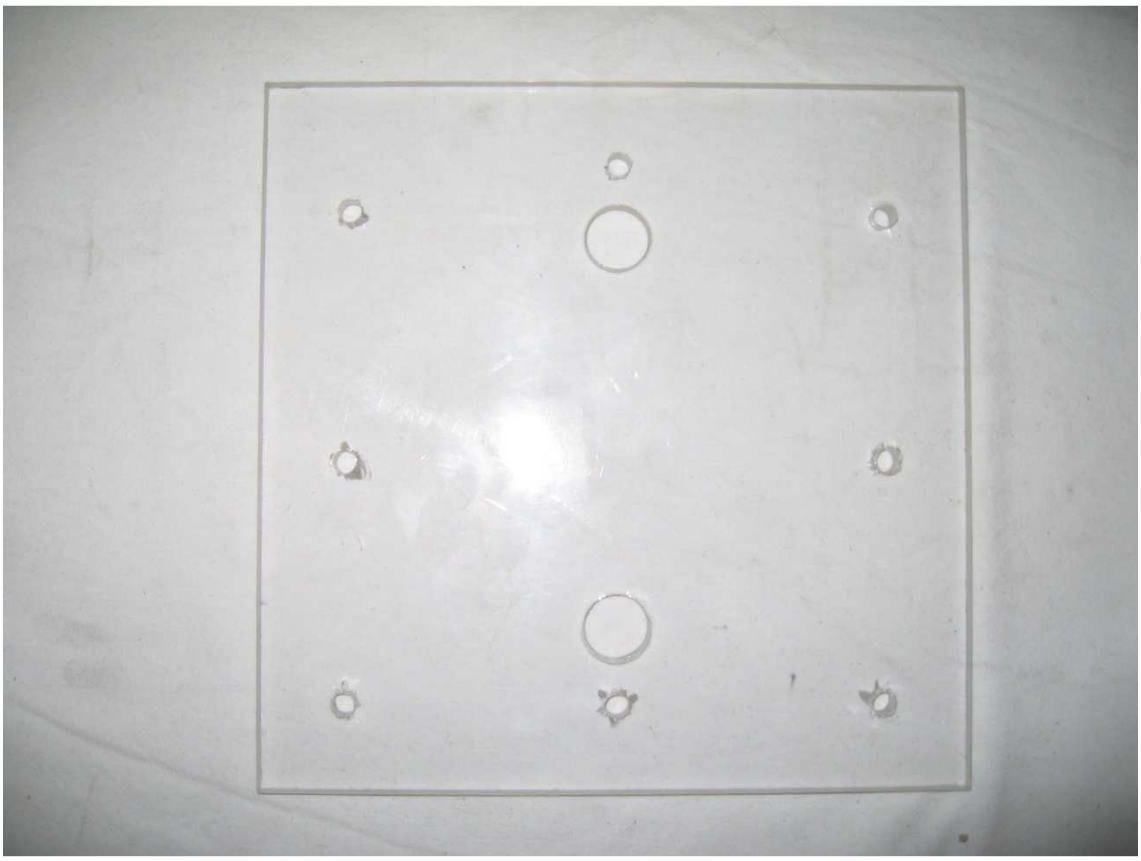


A continuación describiremos el proceso de construcción, acompañado de imágenes tomadas durante la realización.

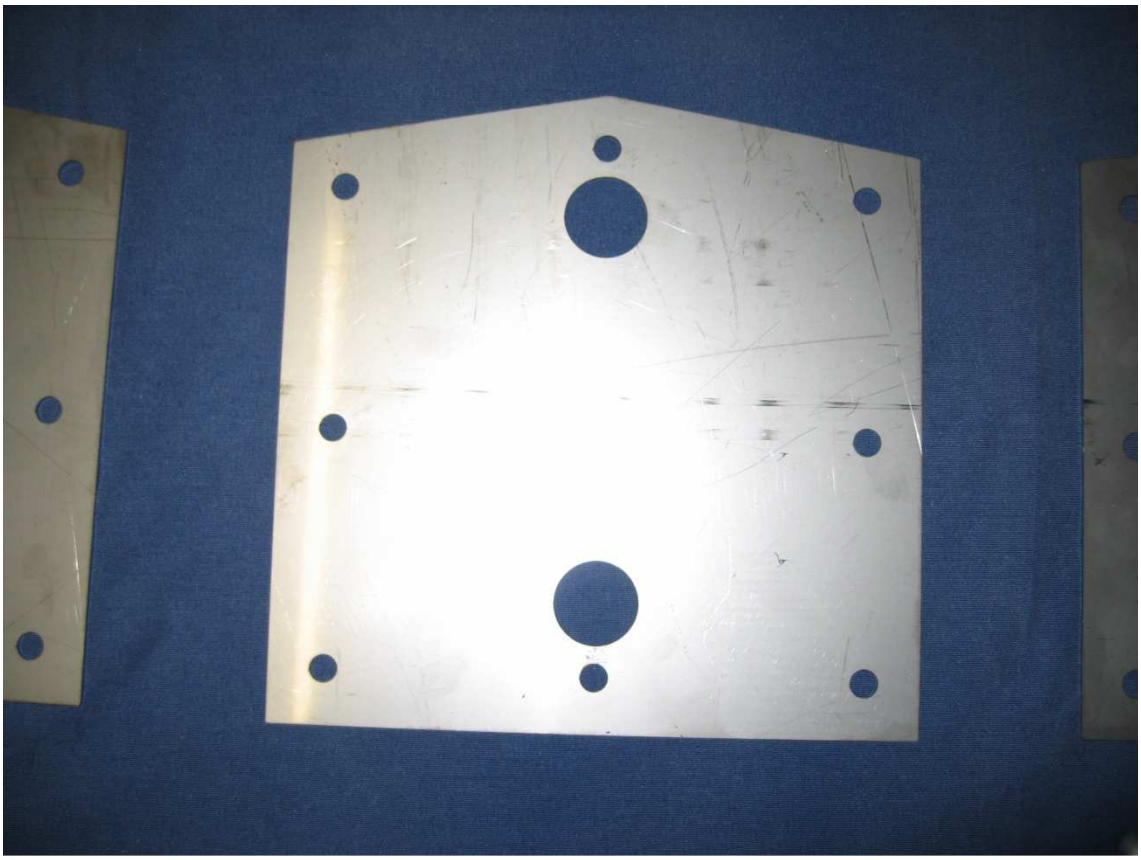
Primero de todo construiremos el generador de hidrógeno.

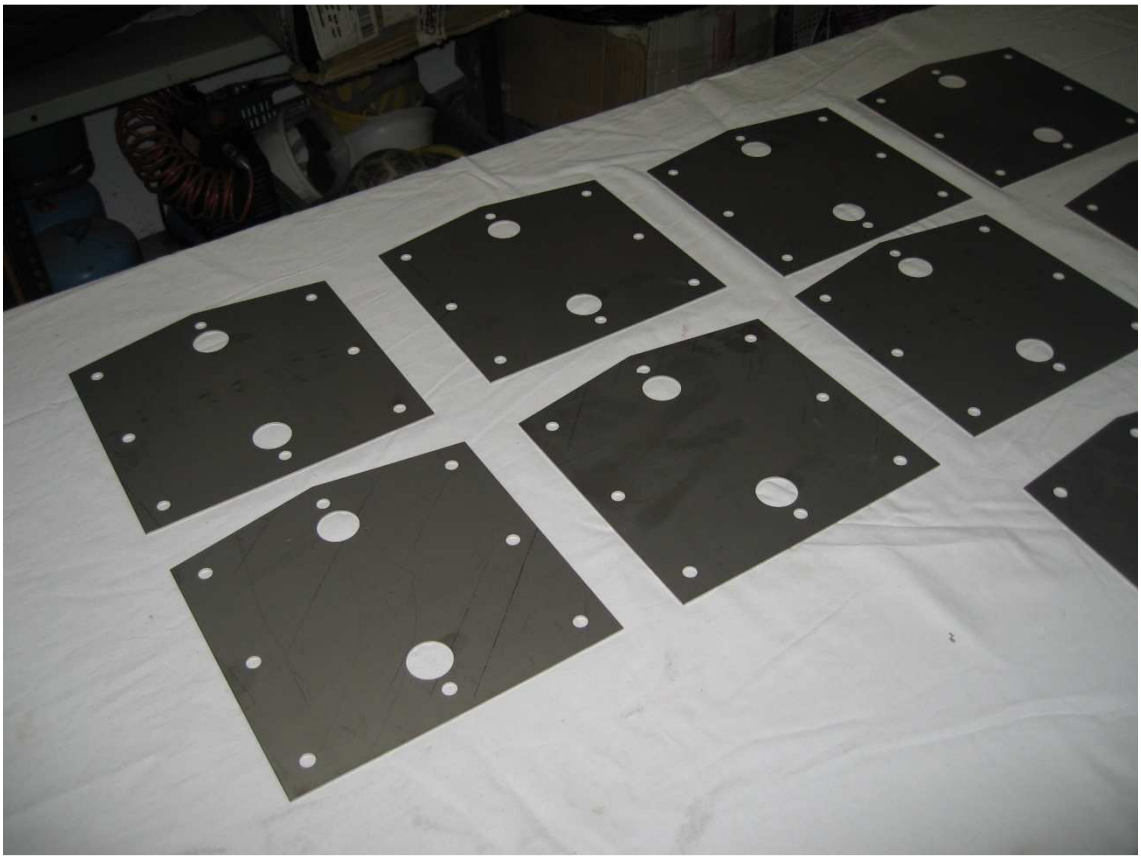
Lo primero es construir los laterales del generador. Son dos placas de metacrilato de 250 x 250 x 10 mm. A continuación haremos los agujeros en las placas, tal como se indica en el plano.



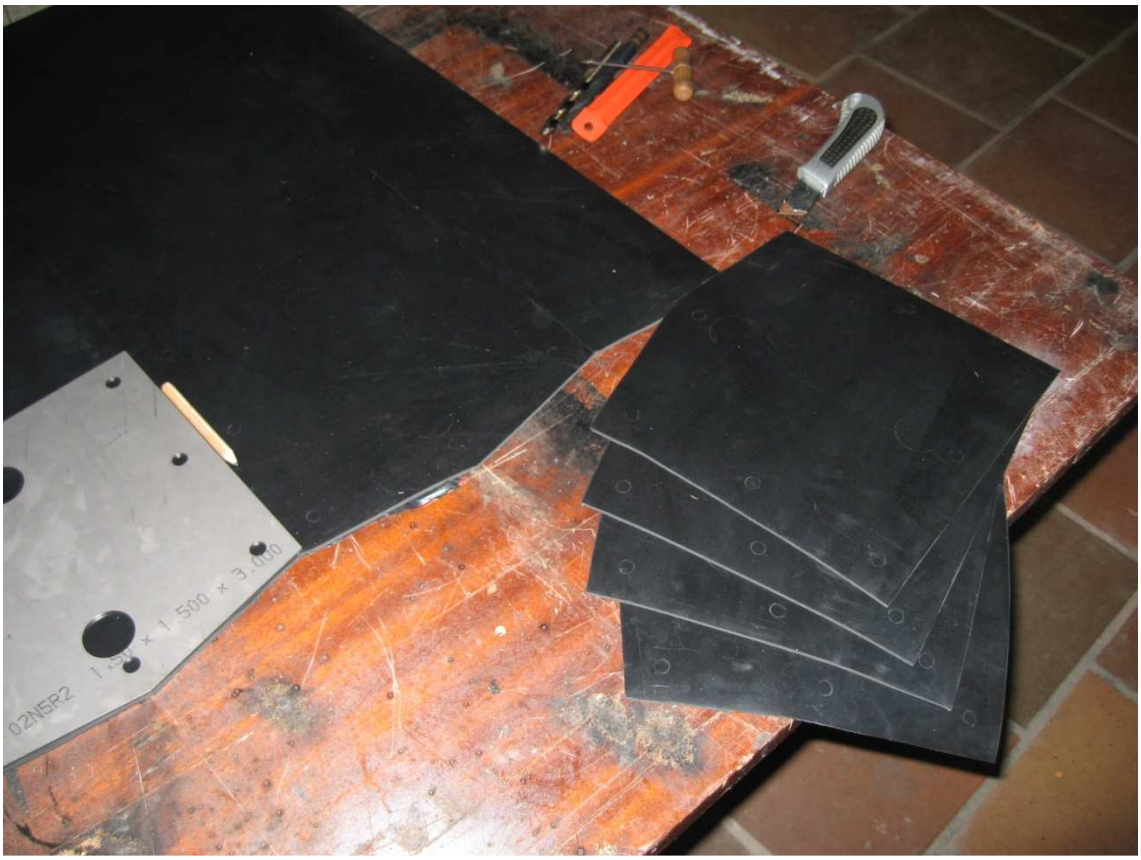


Las chapas de acero inoxidable 316L que funcionan como electrodos, están realizadas por encargo, hechas con cortadora laser.

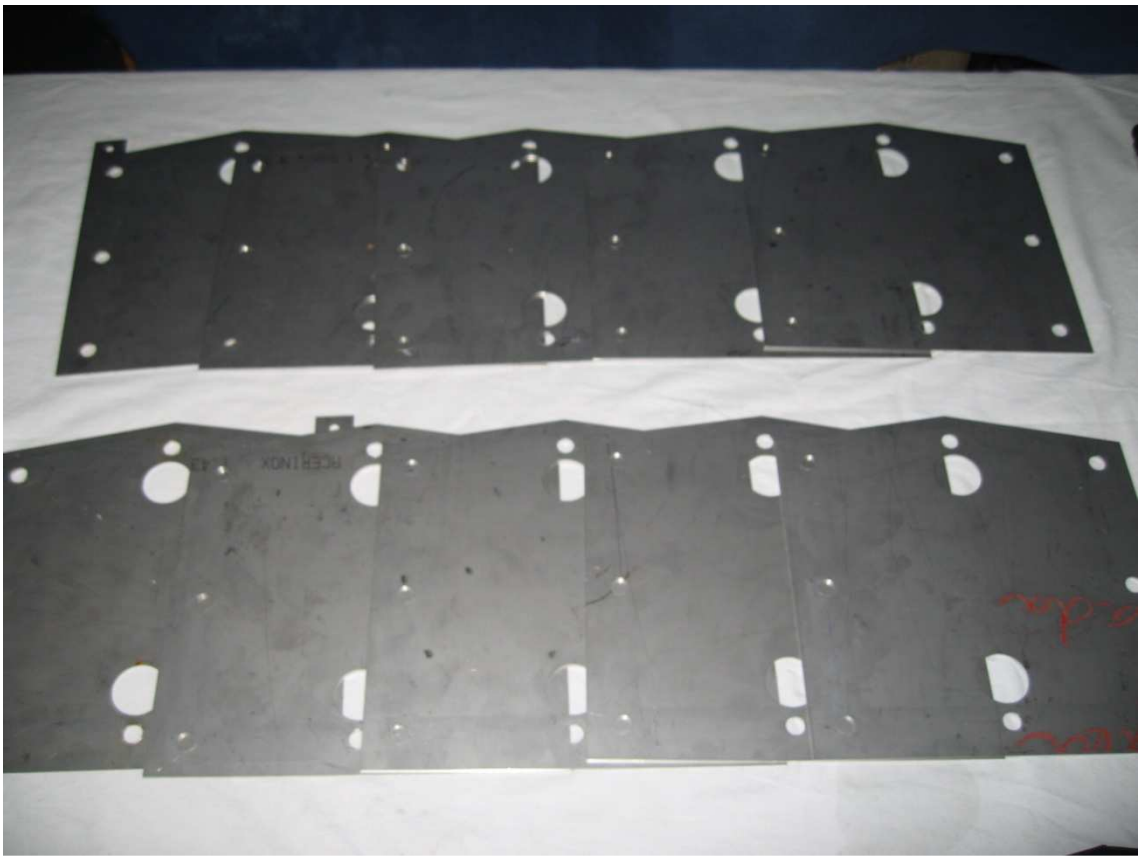


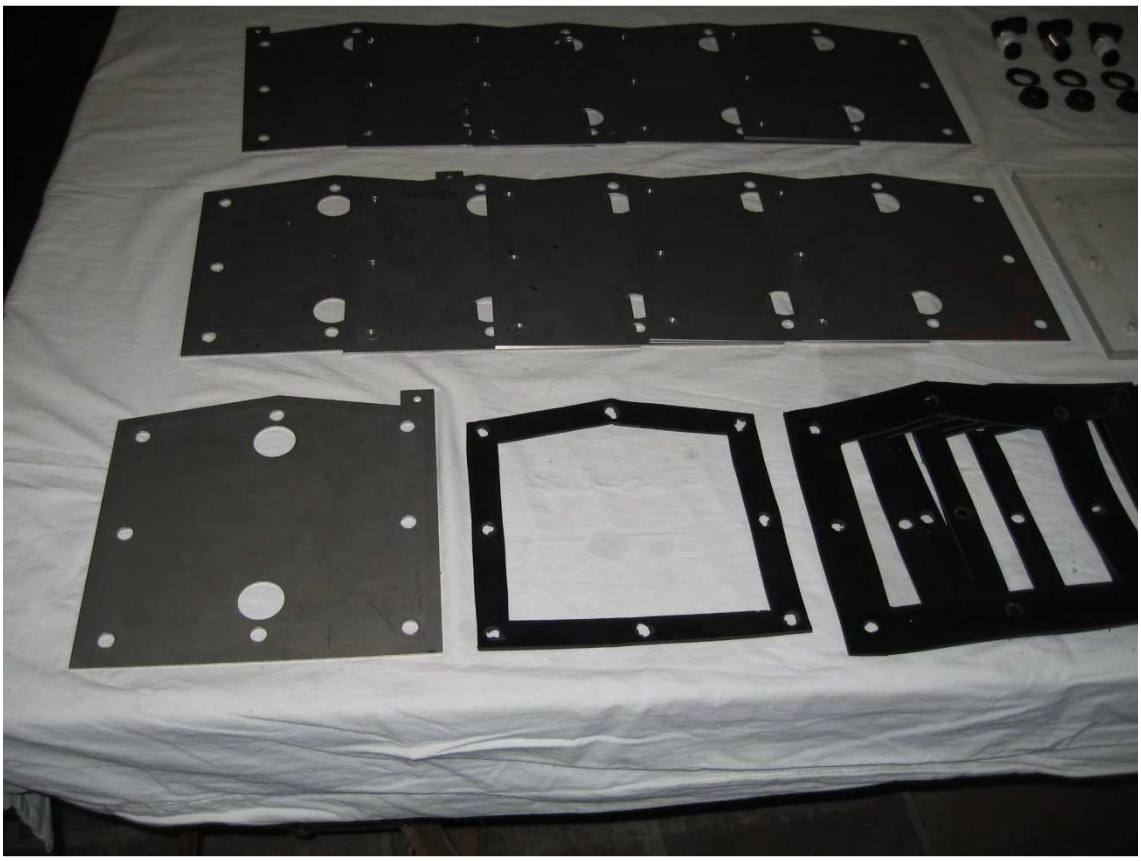


Las Juntas están hechas a partir de una plancha de goma. Tomando las medidas, se recortan de la plancha goma y se hacen los agujeros correspondientes.



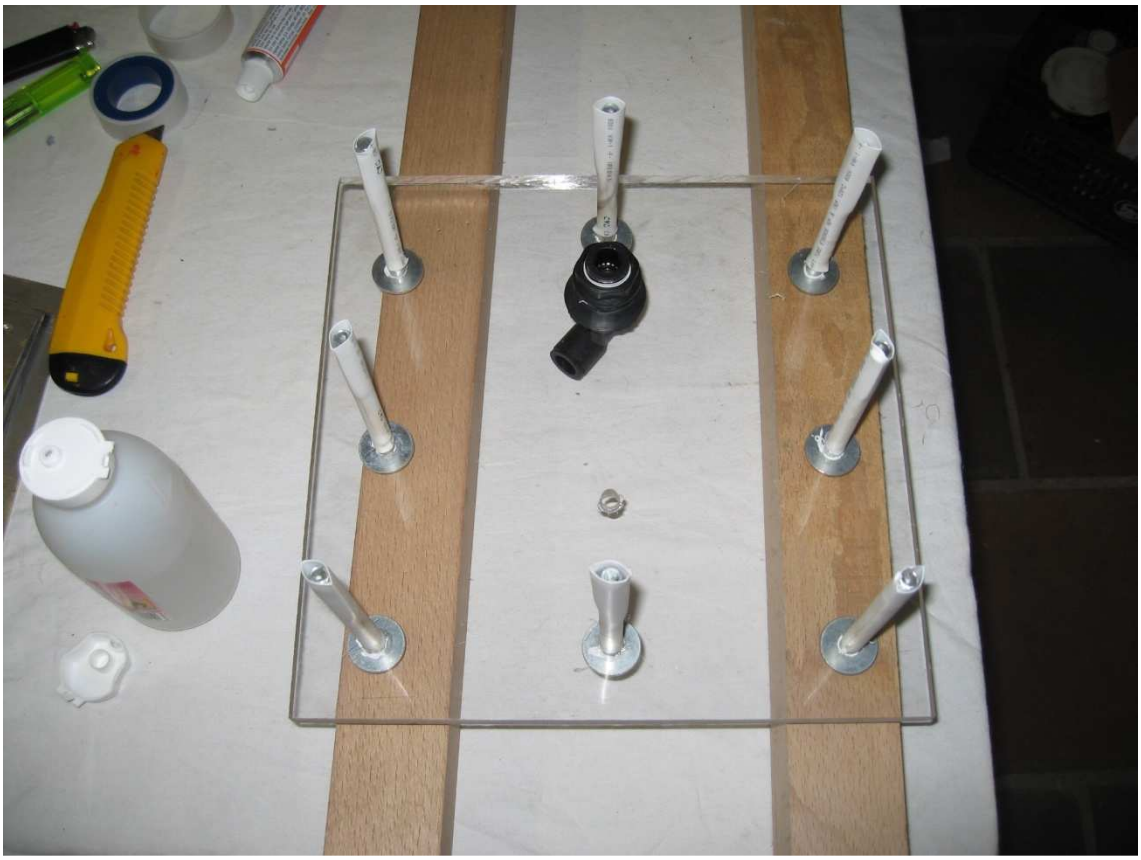
Ya tenemos todas las partes preparadas





Una vez ya tenemos todo el material preparado ya podemos comenzar el montaje. Primero, acoplaremos los racores pasa tabiques a las placas de metacrilato.

Después pasaremos los tornillos con una arandela por una de las placas de metacrilato, desde la parte exterior hacia la interior.
Los tornillos, una vez están puestos, cubriremos la rosca de cinta de teflón. Cuando esté bien cubierta, colocaremos tubo termo retráctil en la rosca, y lo calentaremos para que se adhiera al tornillo, creando así una capa aislante. Hay que procurar que en la parte final del tornillo no pongamos tubo termo retráctil ya que luego hay que poner la tuerca.

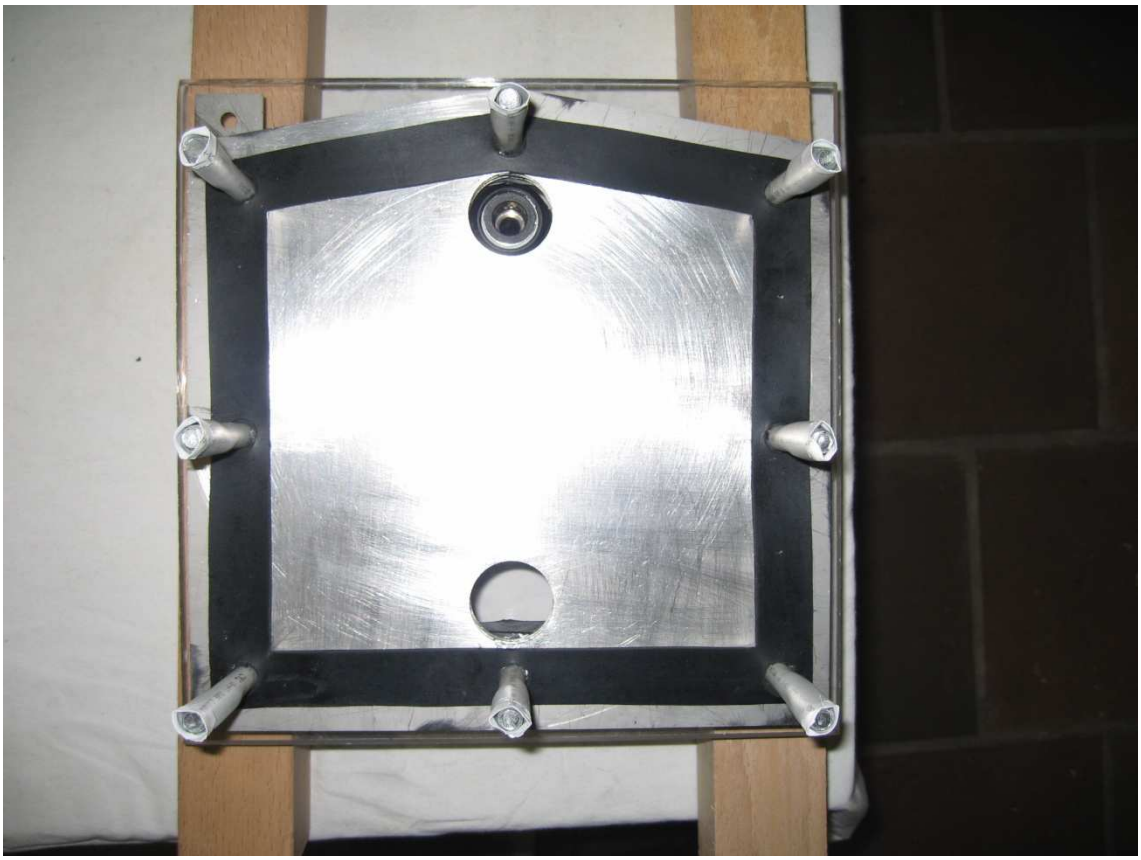


Una vez tenemos esta parte lista, empezaremos a poner electrodos y juntas.

Como explicamos en el apartado anterior, entre la placa de metacrilato y el primer electrodo pondremos tres juntas para poder conseguir una separación de 9 mm. Pondremos 3 juntas, luego un chapa con conexión, luego iremos alternando junta y chapa neutra, hasta la siguiente chapa con conexión. Esta chapa hay que ponerla de manera que la conexión, quede en el otro lado que la primera chapa. Luego seguimos poniendo juntas y chapas neutras hasta la última chapa, que hay que colocarla igual que la primera. De esta manera, con un tornillo podemos conectar la primera y la última chapa, que hacen de electrodos negativos. La chapa del medio, hace de electrodo positivo, y tendrá el borne de conexión al otro lado.

Antes de montar las chapas, es conveniente lijar un poco la superficie para conseguir una superficie rugosa. Así mejoraremos el rendimiento de los electrodos en el proceso de la electrólisis. Cuando las chapas ya están lijadas, hay que limpiarlas con alcohol para eliminar todas las impurezas que pueda haber.

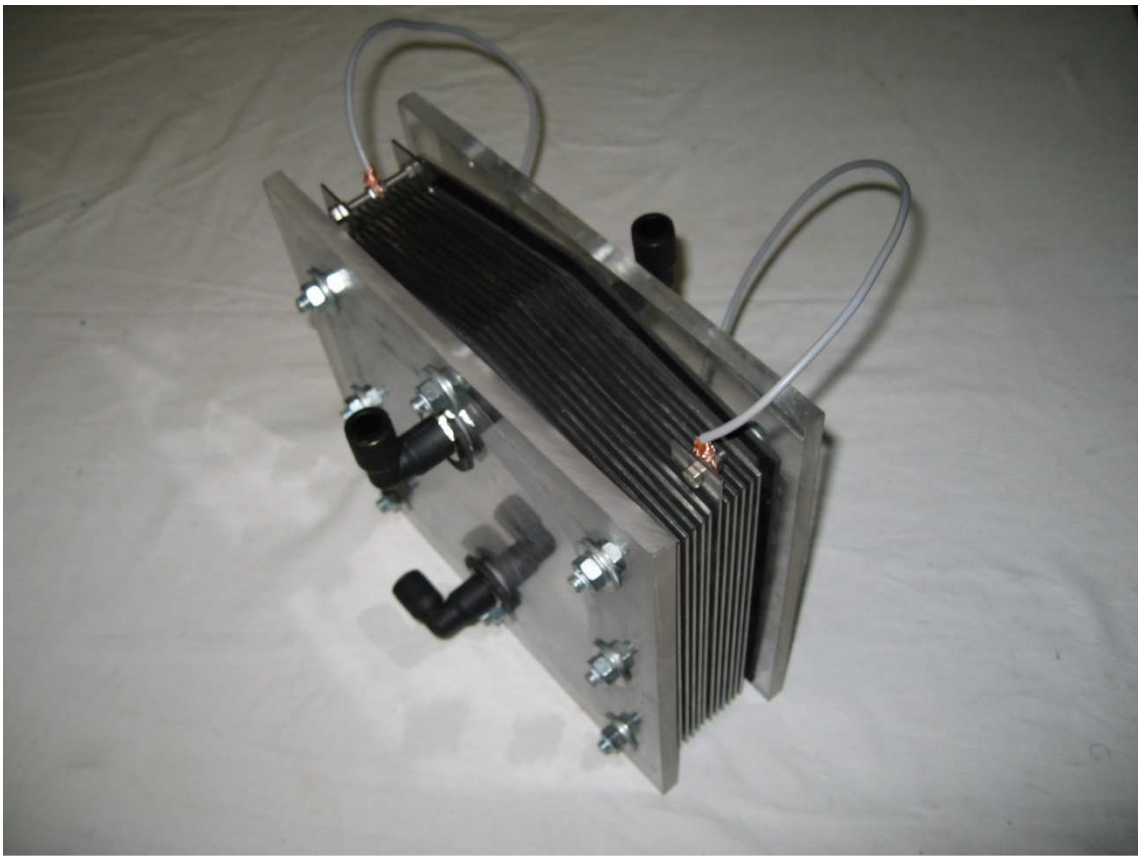
En este caso, para conseguir mejor estanqueidad del generador, entre juntas y chapas, hemos puesto pasta para junta de culata. Así nos aseguramos una mayor estanqueidad.

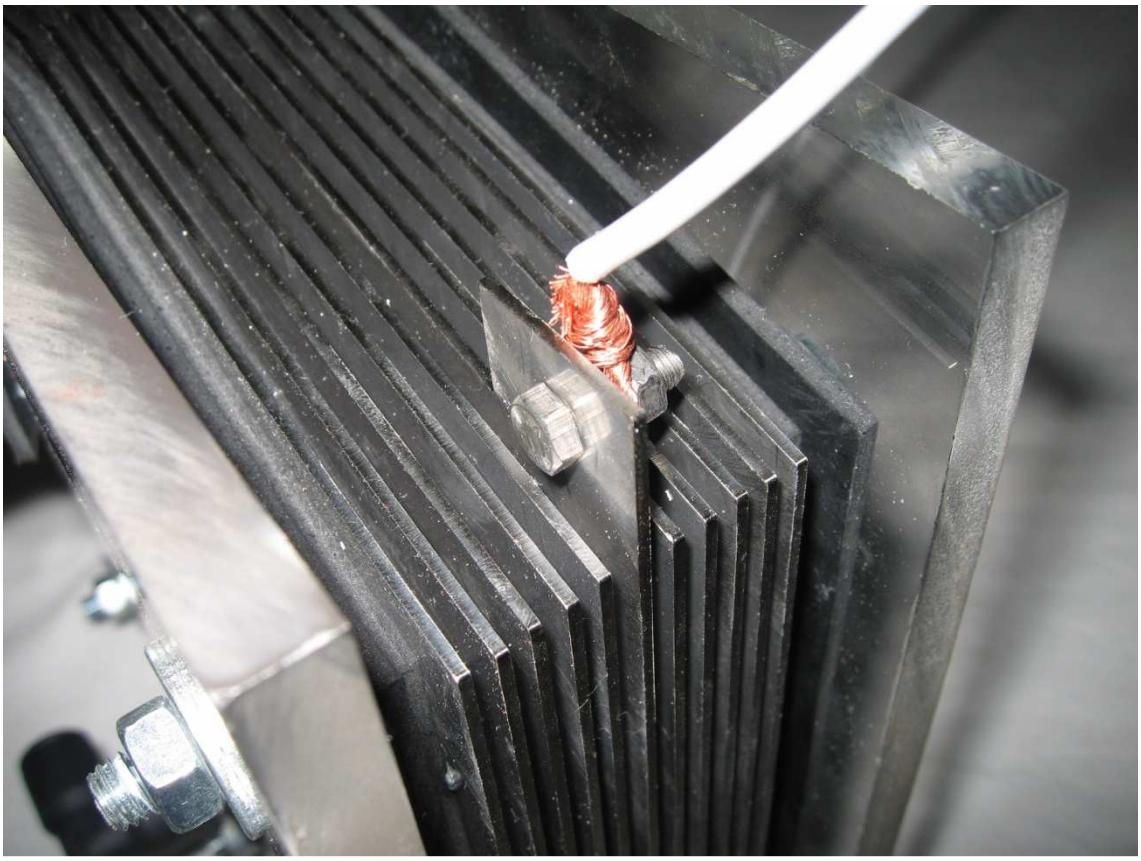


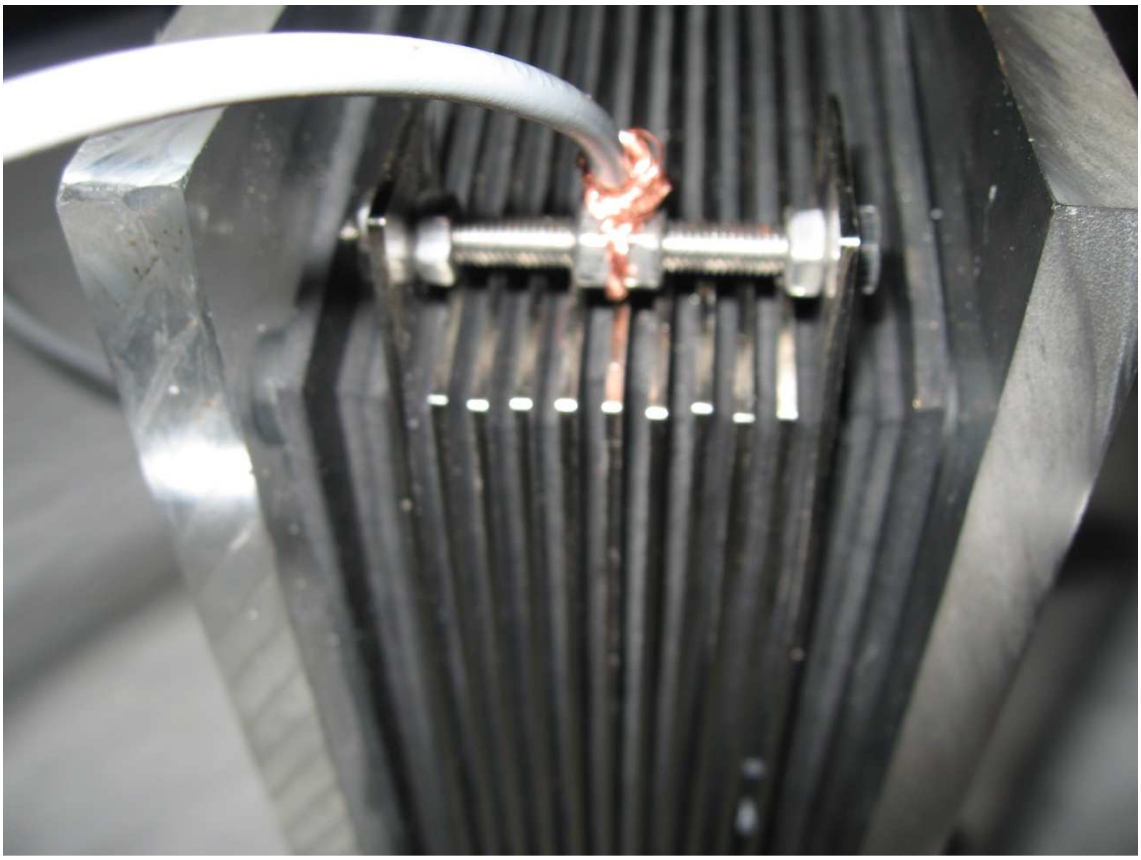
Cuando ya hemos colocado todas las chapas y juntas, colocamos el otro lateral de metacrilato.

Ponemos las tuercas y las arandelas en los tornillos y con cuidado apretamos todas las tuercas uniformemente, de manera que quede bien apretado. Un bloque compacto y estanco.

En las siguientes fotos podemos observar detalles del generador de hidrógeno







En las siguientes fotos podemos observar detalles de los otros componentes y el circuito.

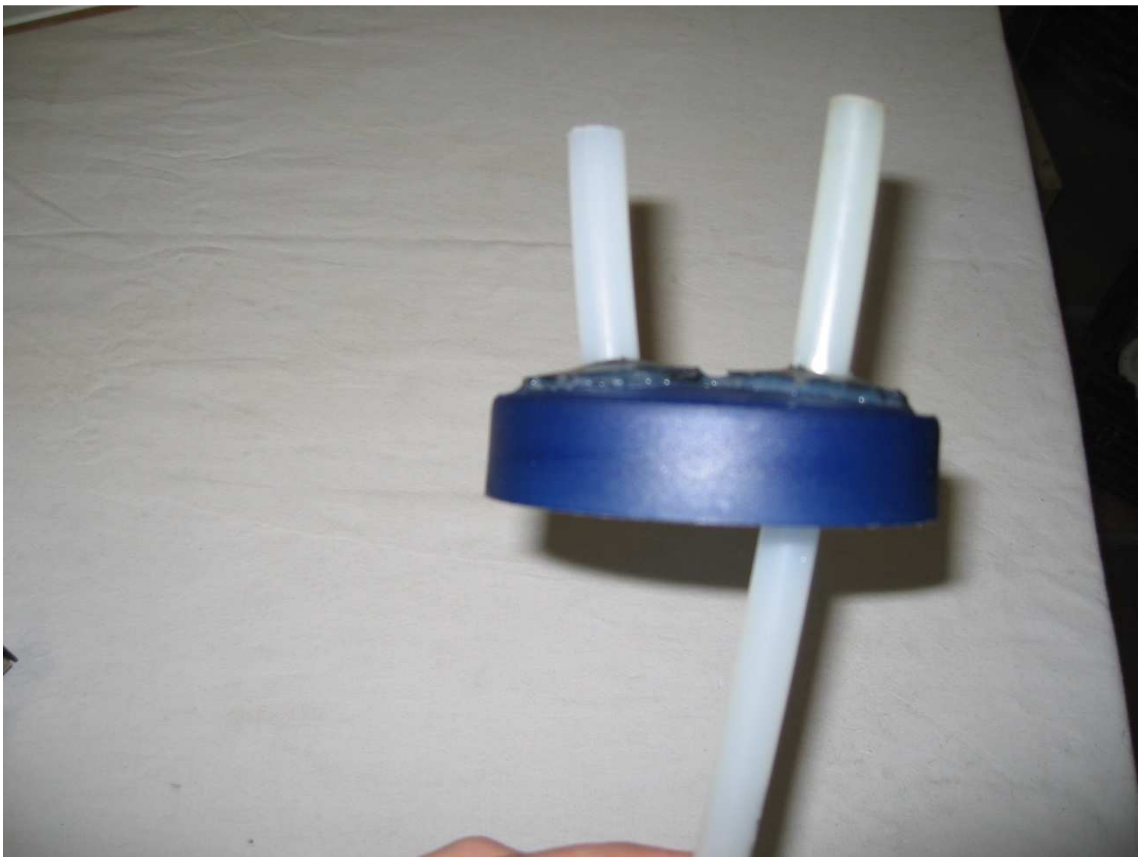
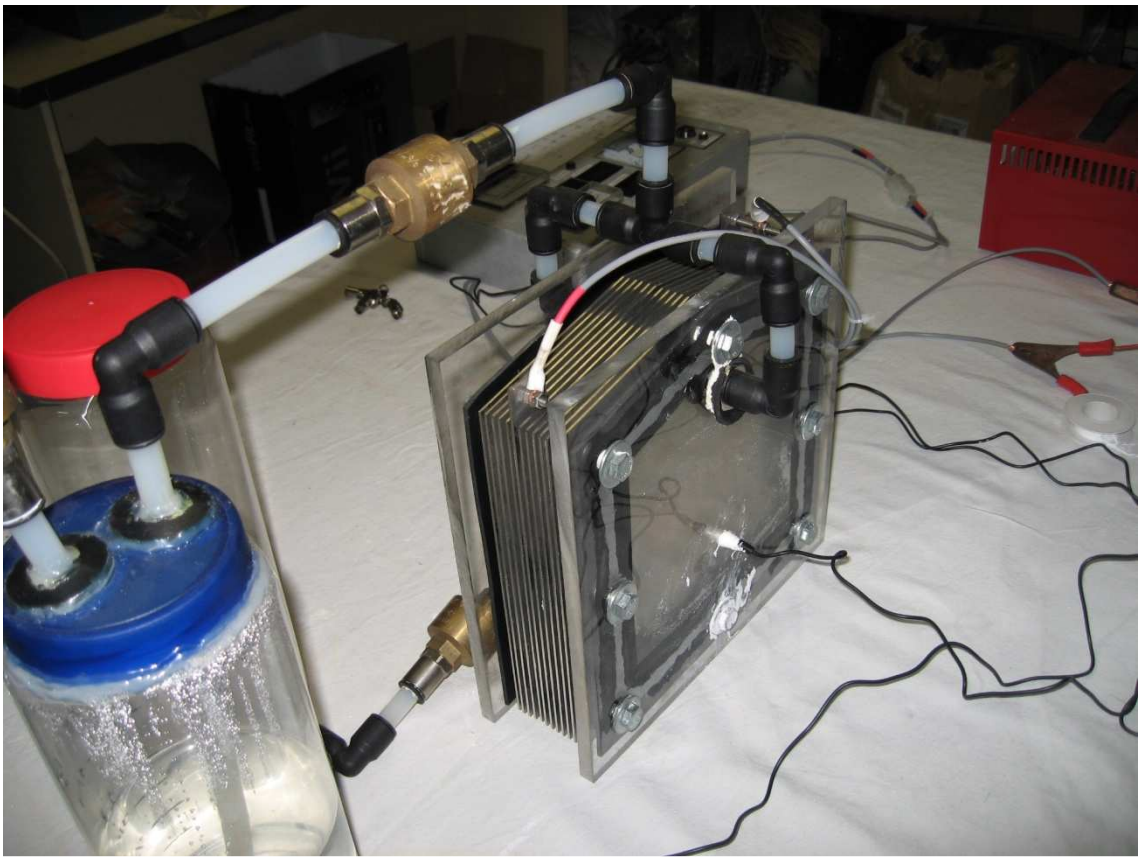
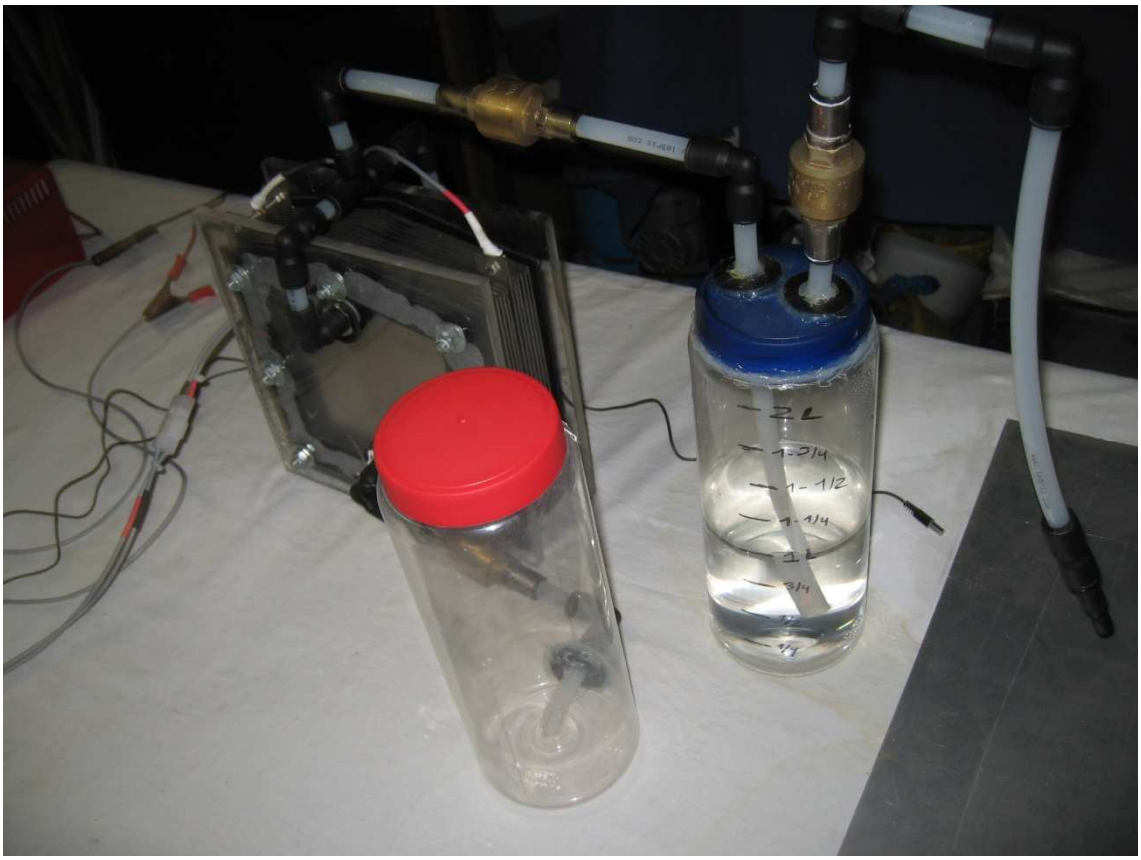


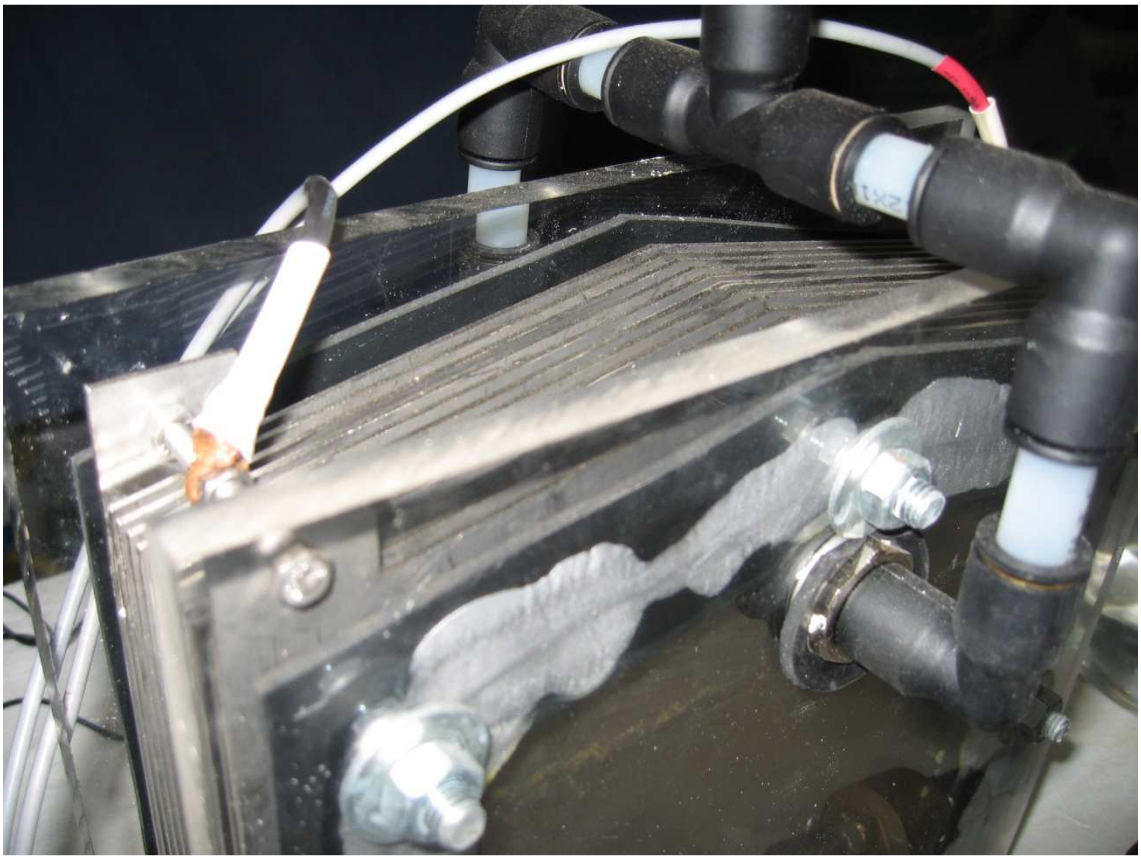
Foto del burbujeador.

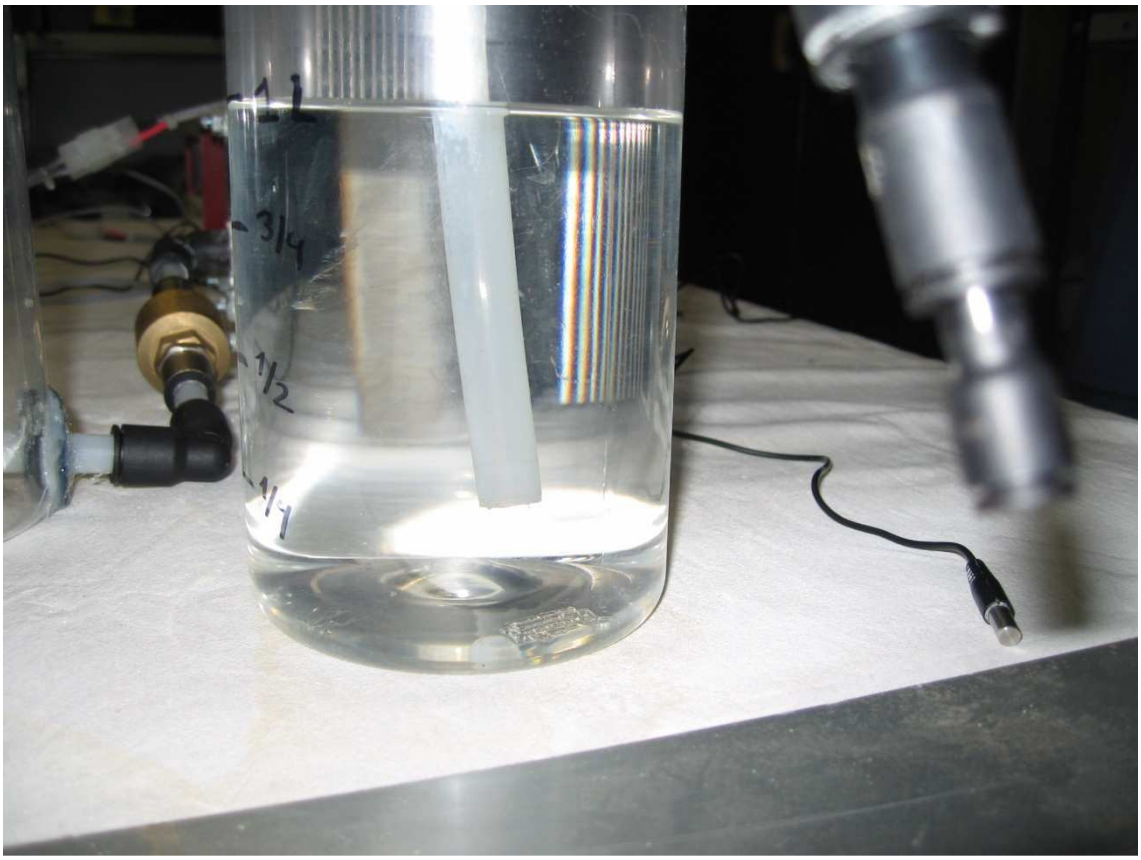
Foto del depósito de electrolito

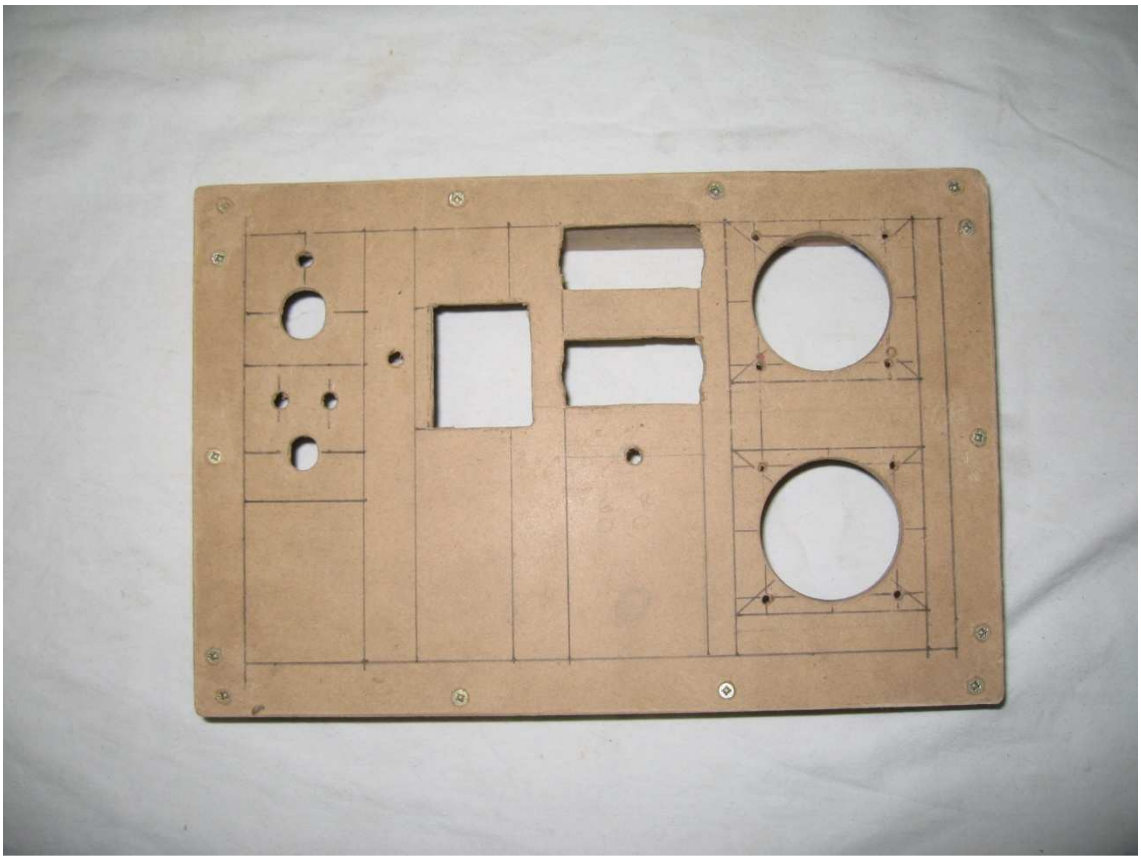



2L
1-3/4
1-1/2
1-1/4
1L
3/4
1/4

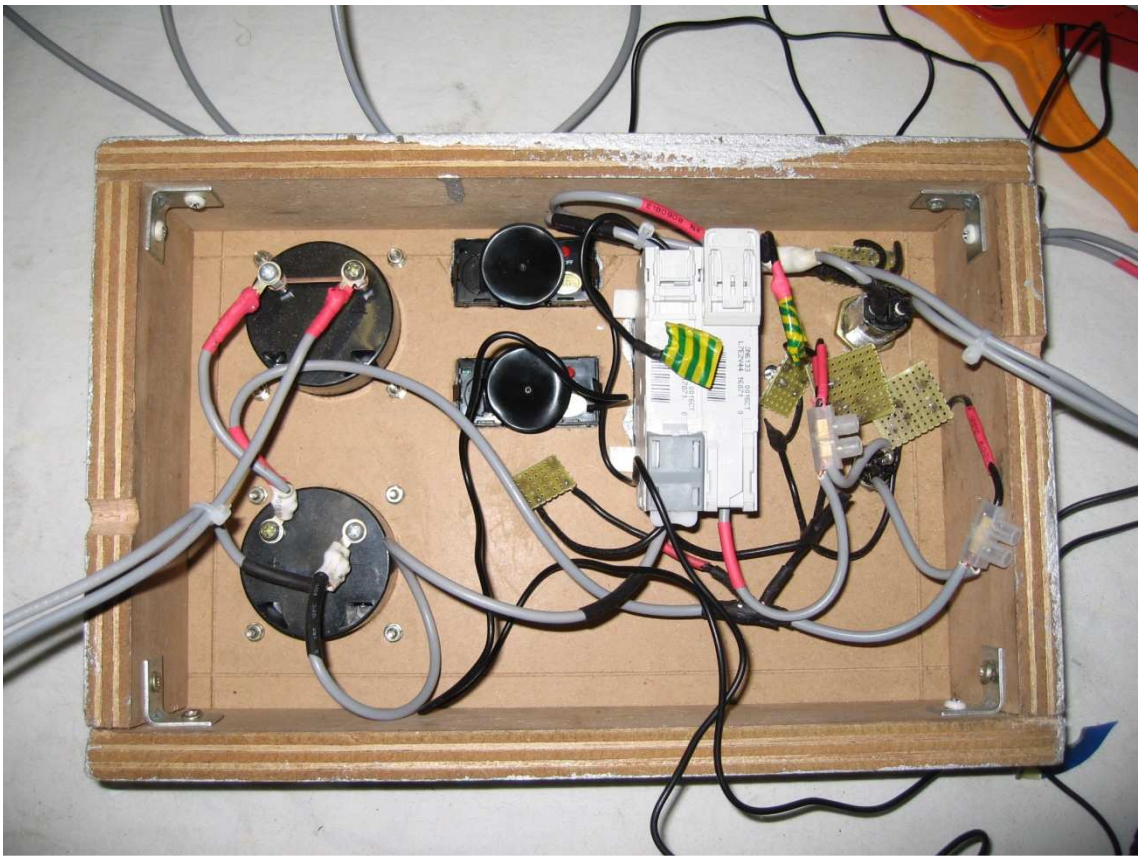
LIBRE

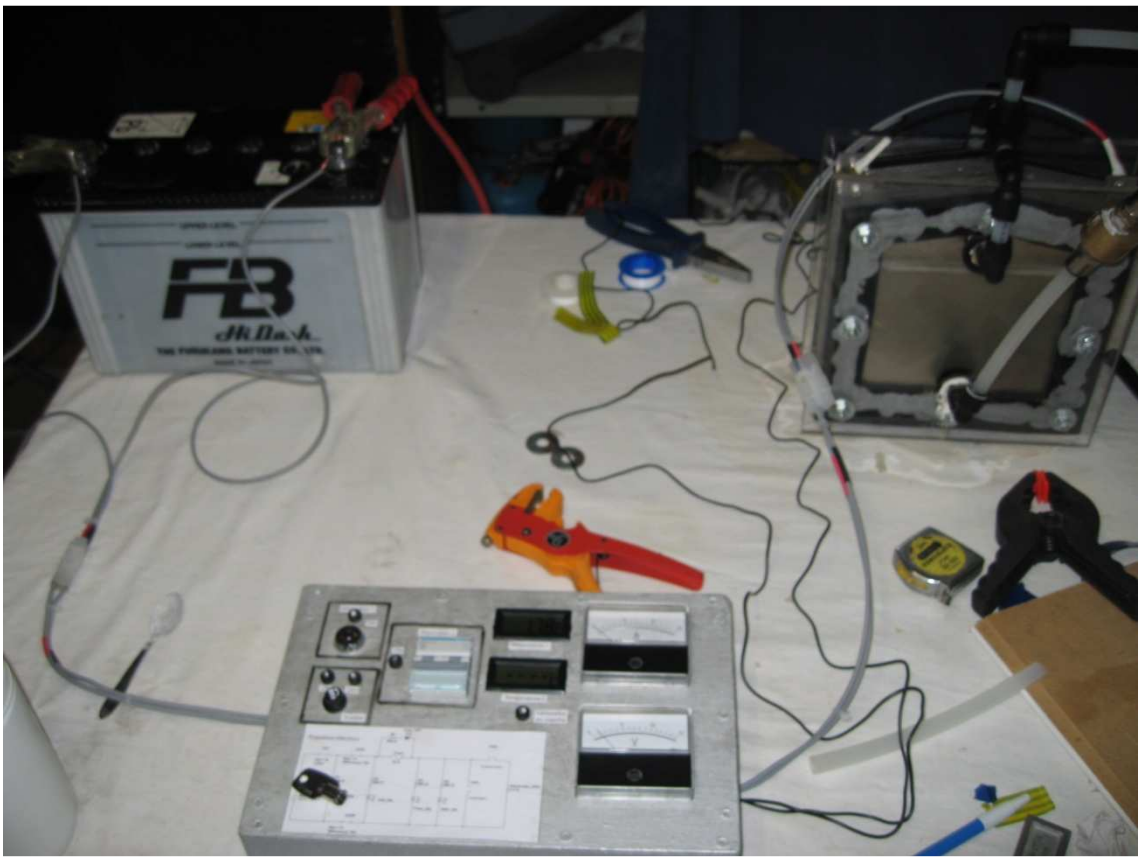



1 L
3/4
1/2
1/4



Interruptor 1
ON
Interruptor 2
ON
15.9°C
Temperatura 1
15.1°C
Temperatura 2
ON
OFF
FUSE
Fusible
Generador
en marcha
A
V
HOPESUN
Esquema eléctrico
Fuse_OFF
R5
680 Ω
Int1
Int2A
Key = B
Llave
Key = A
Diferencial 16A
Fuse
10 A
Amperímetro
R1
680 Ω
R2
680 Ω
R3
680 Ω
R4
680 Ω
Generador_HHO
2.4 Ω
Batería
12 V
Int1_ON
Int2_ON
Fuse_ON
HHO_ON
Voltímetro
Int2B
Key = A
Diferencial 16A




FB

F-805

UPPER LEVEL
LOWER LEVEL
FB
HiNash
THE FURUKAWA BATTERY CO., LTD.
MADE IN JAPAN

5.6. Ensayos

En este apartado realizaremos varios ensayos con el generador de hidrógeno.

Realizaremos los ensayos con dos fuentes de alimentación eléctrica; la primera con un cargador de baterías de 12 V y la segunda con una batería de acido de 12 V y 90Ah.

El electrolito que usaremos es agua destilada a la que añadimos Hidróxido de sodio (NaOH), también conocido como sosa cáustica. Realizaremos pruebas con 1, 2, 3, 4 y 5% en peso de NaOH.

También realizaremos pruebas con un electrolito basado en agua destilada a la que añadiremos sal común.

El generador de hidrógeno, como hemos descrito en apartados anteriores, tiene una configuración de electrodos de uno positivo en el centro, dos negativos, uno a cada lado y 4 electrodos neutros entre el positivo y cada negativos (- n n n n + n n n n -). Las pruebas las realizaremos con esta configuración de electrodos, pero también haremos algunas pruebas con configuraciones diferentes de electrodos. Para modificar la configuración de los electrodos si tener que modificar el generador, lo que haremos es hacer un puente entre dos electrodos y que estén conectados. De esta manera trabajaran como si solo fuera un electrodo. Las configuraciones que probaremos son con 3 y 2 electrodos neutros entre el positivo y los negativos respectivamente.

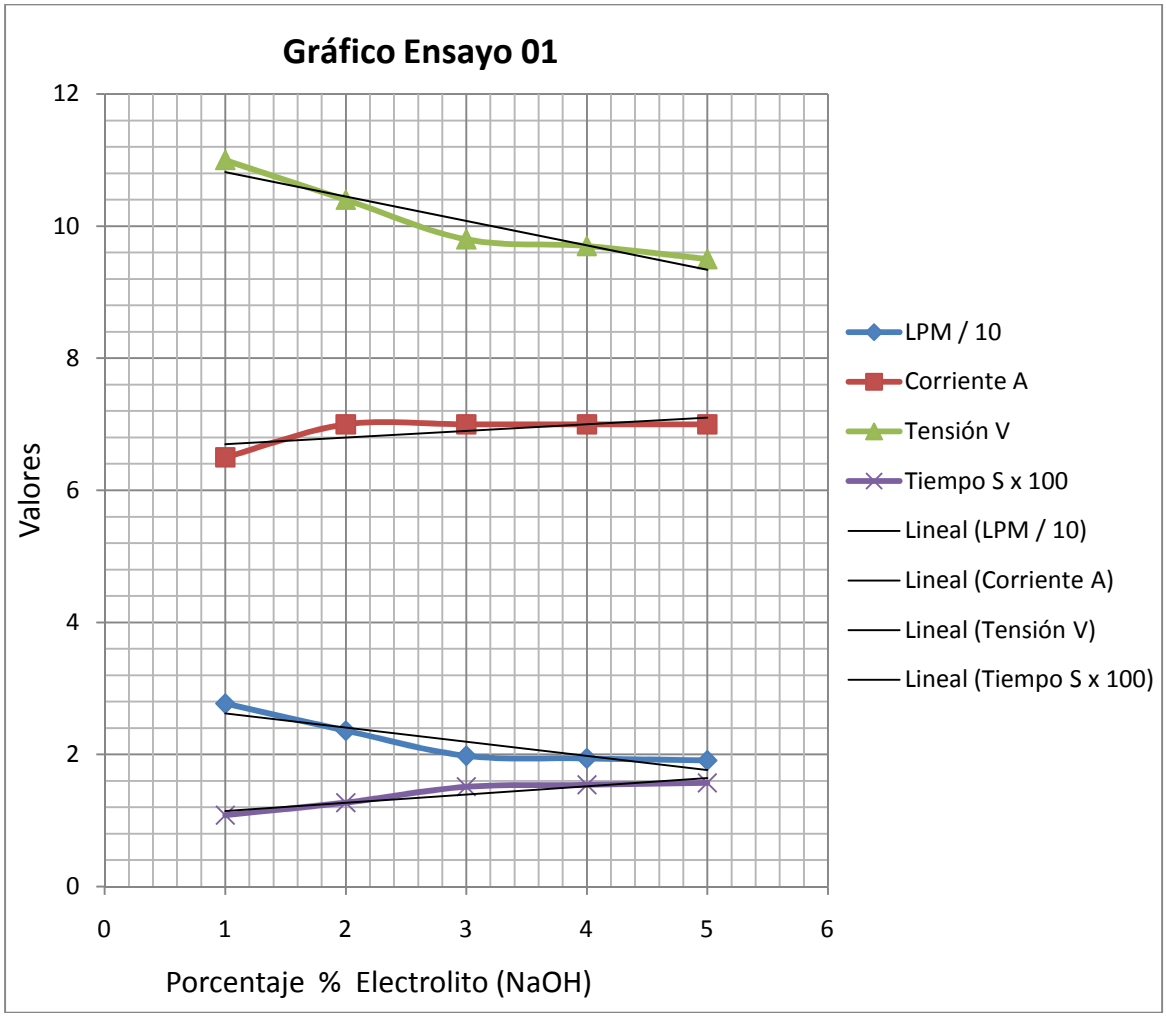
La capacidad interior del generador es de 1,15 L. Como la base del electrolito es agua destilada, la densidad es 1, por lo que el peso del agua destilada es de 1150 g. Si calculamos el 1% de 1150 g es 11,5 g.

1150 g x 1 / 100 = 11,5 g

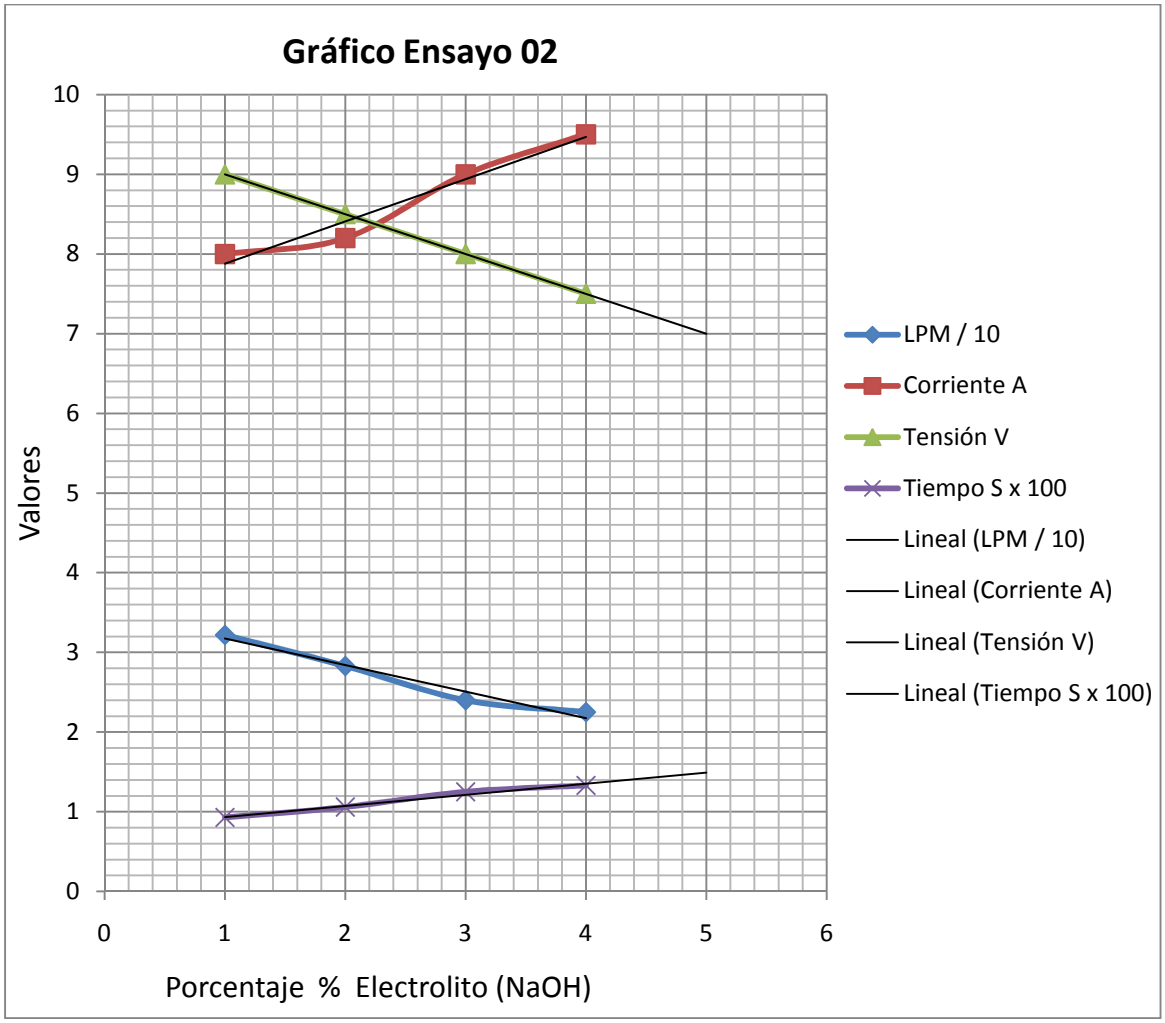
Por cada 1% de Hidróxido de sodio que queramos aumentar, debemos añadir 11,5 g de NaOH.

A continuación hay varias tablas y gráficos con los resultados de los ensayos:

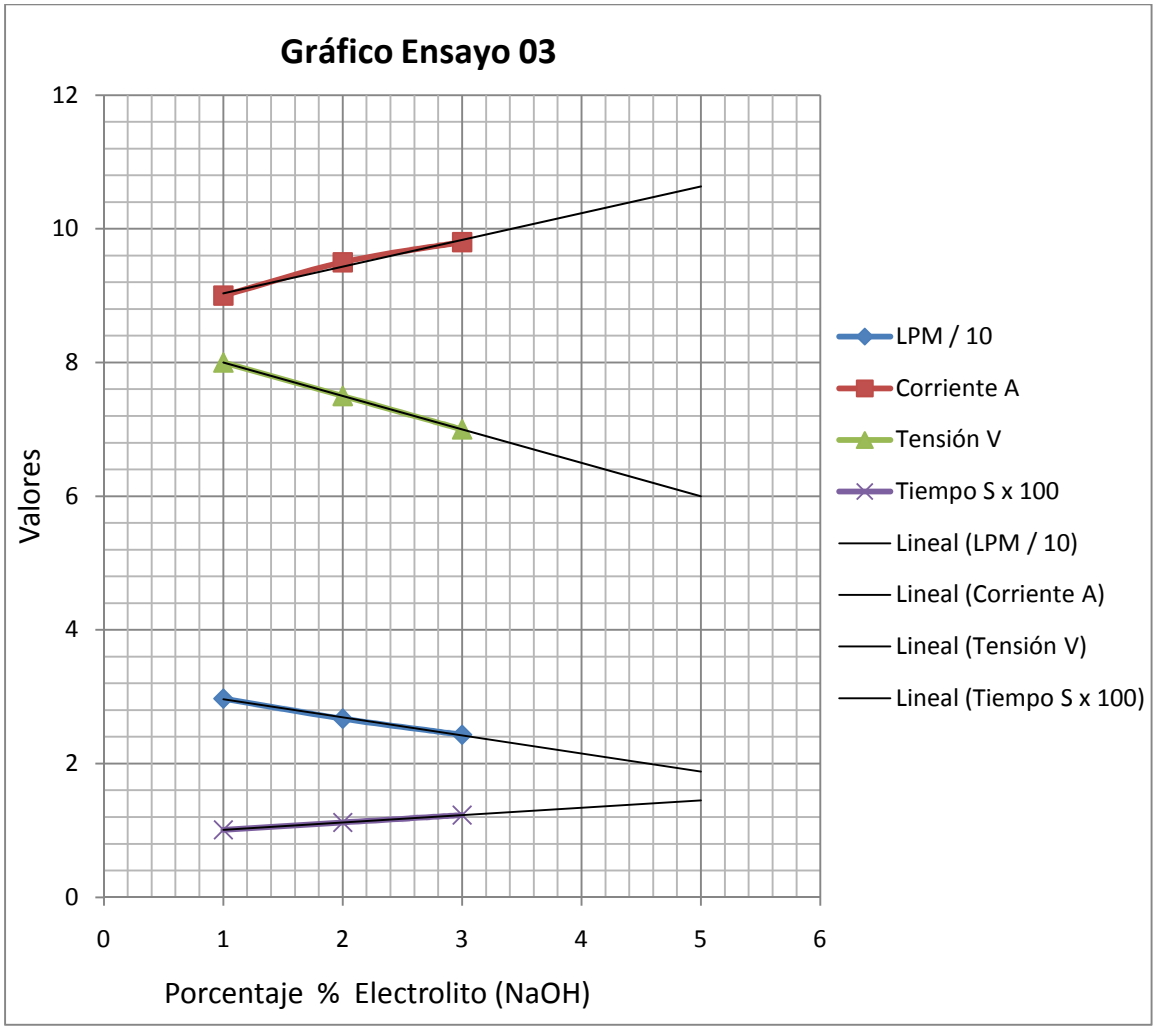
Ensayo 01						
Fuente eléctrica:			*Cargador de batería 12 V*			
Configuración electrodos:			*- n n n n + n n n n -*			
Electrolito:			*Hidróxido de sodio*			
Electrolito NaOH %	**Corriente A**	**Voltaje V**	**Temp. 1 Int. Gen**	**Temp. 2 Agua**	**Tiempo S x 0,5L**	**LPM de Hidrógeno**
1 %	6,5 A	11 V	16,4 ºC	15,1 ºC	108 s	0,277 LPM
2 %	7 A	10,4 V	18,9 ºC	15,3 ºC	127 s	0,236 LPM
3 %	7 A	9,8 V	21,5 ºC	15,3 ºC	151 s	0,198 LPM
4 %	7 A	9,7 V	22,1 ºC	15,4 ºC	154 s	0,194 LPM
5 %	7 A	9,5 V	23,3 ºC	15,4 ºC	157 s	0,191 LPM



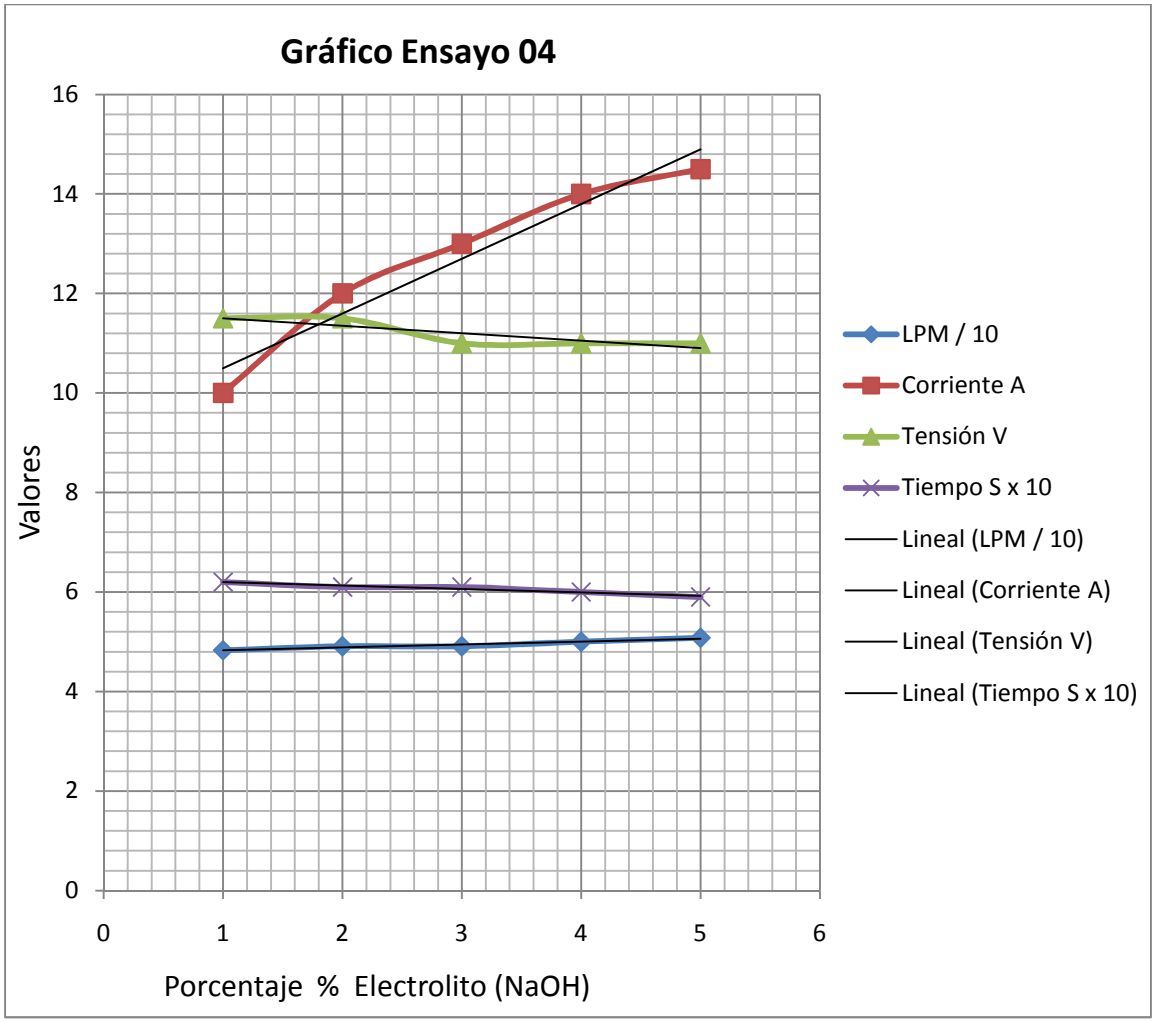
Ensayo 02						
Fuente eléctrica:			*Cargador de batería 12 V*			
Configuración electrodos:			*- n n n + n n n -*			
Electrolito:			*Hidróxido de sodio*			
Electrolito NaOH %	**Corriente A**	**Voltaje V**	**Temp. 1 Int. Gen**	**Temp. 2 Agua**	**Tiempo S x 0,5L**	**LPM de Hidrógeno**
1 %	8 A	9 V	16,8 ºC	15,2 ºC	93 s	0,322LPM
2 %	8,2 A	8,5 V	19,3 ºC	15,3 ºC	106 s	0,283 LPM
3 %	9 A	8 V	23,0 ºC	15,3 ºC	125 s	0,240 LPM
4 %	9,5 A	7,5 V	23,1 ºC	15,4 ºC	133 s	0,225 LPM
5 %	-	-	-	-	-	-



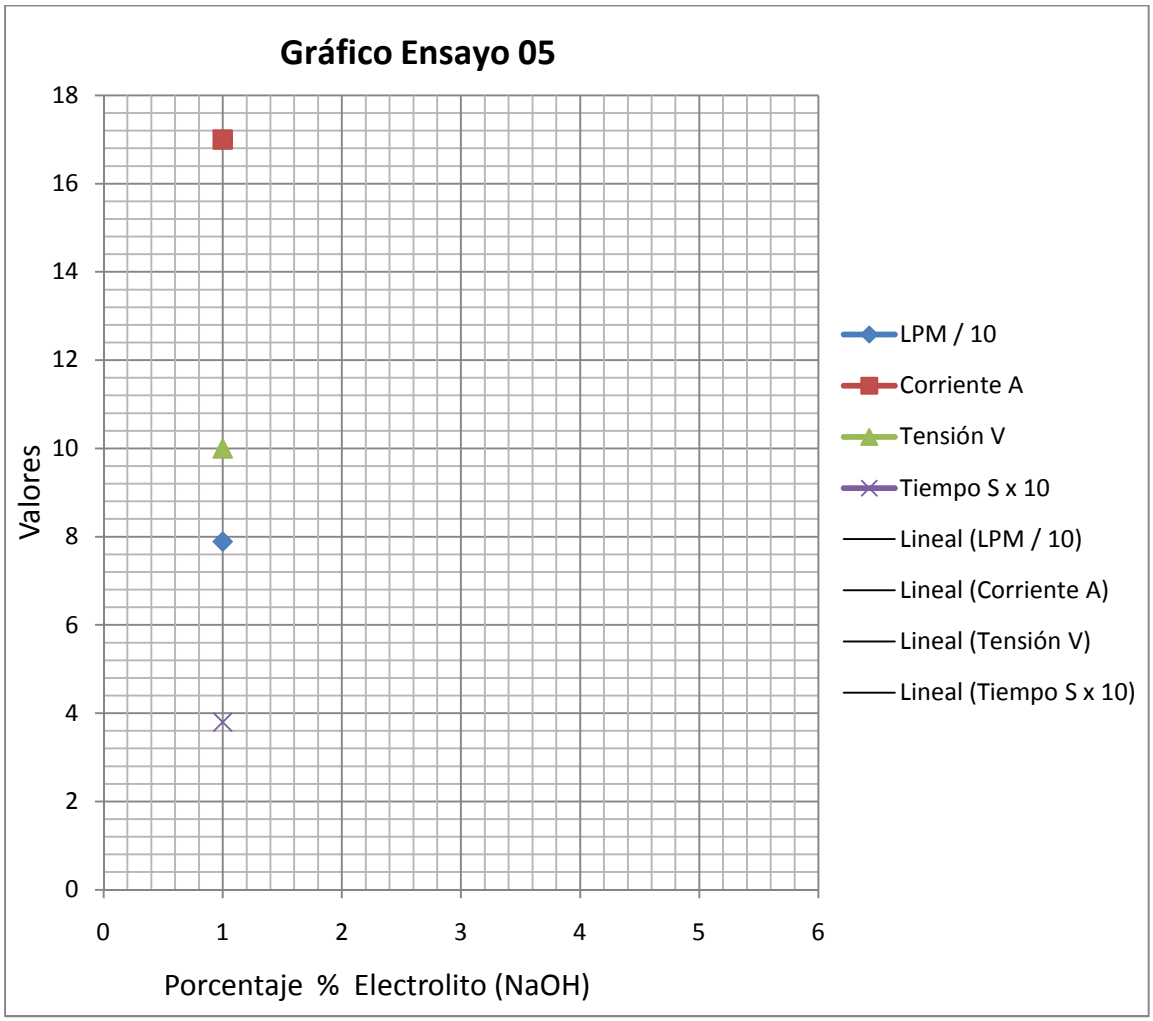
Ensayo 03						
Fuente eléctrica:			*Cargador de batería 12 V*			
Configuración electrodos:			*- n n + n n -*			
Electrolito:			*Hidróxido de sodio*			
Electrolito NaOH %	**Corriente A**	**Voltaje V**	**Temp. 1 Int. Gen**	**Temp. 2 Agua**	**Tiempo S x 0,5L**	**LPM de Hidrógeno**
1 %	9 A	8 V	16,8 ºC	15,2 ºC	101 s	0,297 LPM
2 %	9,5 A	7,5 V	19,3 ºC	15,3 ºC	112 s	0,267 LPM
3 %	9,8 A	7 V	22,1 ºC	15,3 ºC	123 s	0,243 LPM
4 %	-	-	-	-	-	
5 %	-	-	-	-	-	-



Ensayo 04						
Fuente eléctrica:			*Batería 12 V*			
Configuración electrodos:			*- n n n n + n n n n -*			
Electrolito:			*Hidróxido de sodio*			
Electrolito NaOH %	**Corriente A**	**Voltaje V**	**Temp. 1 Int. Gen**	**Temp. 2 Agua**	**Tiempo S x 0,5L**	**LPM de Hidrógeno**
1 %	10 A	11,5 V	18,3 ºC	15,4 ºC	62 s	0,483 LPM
2 %	12 A	11,5 V	20,4 ºC	15,5 ºC	61 s	0,491 LPM
3 %	13 A	11 V	22,2 ºC	15,5 ºC	61 s	0,491 LPM
4 %	14 A	11 V	24 ºC	15,6 ºC	60 s	0,500 LPM
5 %	14,5 A	11 V	25,5 ºC	15,6 ºC	59 s	0,508 LPM

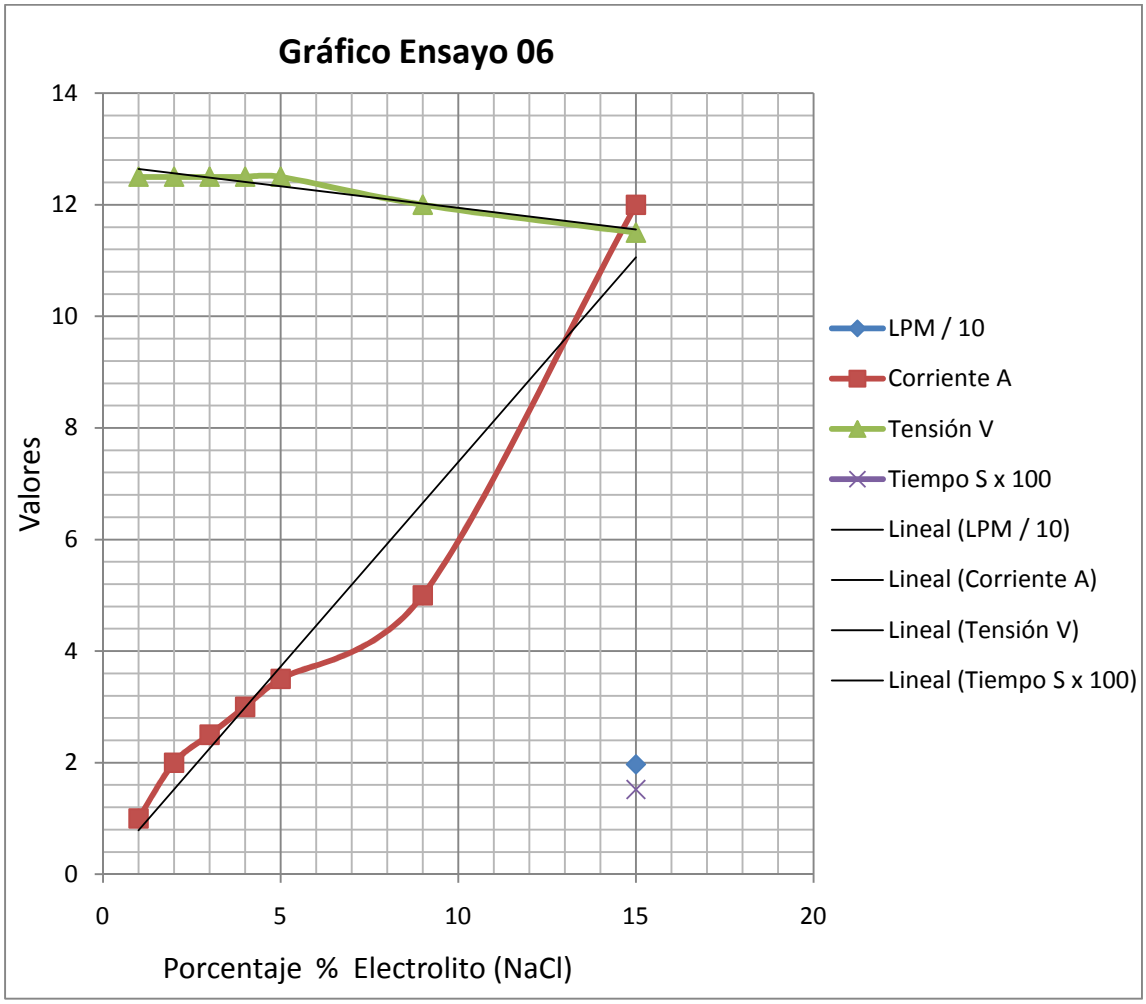


Ensayo 05						
Fuente eléctrica:			*Batería 12 V*			
Configuración electrodos:			*- n n n + n n n -*			
Electrolito:			*Hidróxido de sodio*			
Electrolito NaOH %	**Corriente A**	**Voltaje V**	**Temp. 1 Int. Gen**	**Temp. 2 Agua**	**Tiempo S x 0,5L**	**LPM de Hidrógeno**
1 %	17 A	10 V	18,5 ºC	15,4 ºC	38 s	0,789 LPM
2 %	-	-	-	-	-	-
3 %	-	-	-	-	-	-
4 %	-	-	-	-	-	-
5 %	-	-	-	-	-	-
*Fallo del fusible por sobre tensión						



Ensayo 06						
Fuente eléctrica:			*Batería 12 V*			
Configuración electrodos:			*- n n n n + n n n n -*			
Electrolito:			*Sal*			
Electrolito NaCl %	**Corriente A**	**Voltaje V**	**Temp. 1 Int. Gen**	**Temp. 2 Agua**	**Tiempo S x 0,5L**	**LPM de Hidrógeno**
1 %	1 A	12,5 V	16,8 ºC	15,4 ºC	-	-
2 %	2 A	12,5 V	17,3 ºC	15,5 ºC	-	-
3 %	2,5 A	12,5 V	17,6 ºC	15,5 ºC	-	-
4 %	3 A	12,5 V	17,7 ºC	15,6 ºC	-	-
5 %	3,5 A	12,5 V	17,9 ºC	15,6 ºC	-	-
9 %	5	12 V	18,5 ºC	15,7 ºC	-	-
15 %	12	11,5 V	21,6 º C	15,7 ºC	152	0,197 LPM

*El electrolito genera mucho residuo y el agua se vuelve de color amarillento
En el ensayo de 15%, durante el tiempo de prueba:
- La corriente a variado de 7,5 A a 12 A
- El voltaje a variado de 11,5 V a 11 V
- La temperatura 1 (Int. Gen) a variado de 18,8 ºC a 21,6 º C



Como podemos comprobar en las tablas de resultados y las gráficas, utilizando el cargador de baterías como fuente eléctrica (Ensayos 01, 02 y 03) no obtenemos resultados favorables, ya que cuanto más porcentaje de Hidróxido de sodio añadimos, la intensidad que circula aumenta, pero la tensión disminuye, lo que provoca que cuanto más electrolito añadimos, más tiempo tarda en generar la misma cantidad de hidrógeno, es decir que disminuye la generación de hidrógeno.

Si observamos los ensayos con la batería como fuente eléctrica (Ensayos 04 y 05), vemos que los resultados son los esperados: a mayor cantidad de electrolito, mayor es la generación de hidrógeno.

En el ensayo 05, utilizando la batería como fuente eléctrica y la combinación de placas – n n n + n n n – , solo hemos realizado la prueba con el 1% de hidróxido de sodio, ya que como podemos observar, solo con el 1% la intensidad del generador ya era de 17 amperios, y nuestro sistema no está preparado para aguantar este valor o superior de intensidad. Durante la prueba, el fusible instalado en el circuito eléctrico hizo su función y cortó el paso de corriente, protegiendo el circuito. Por este motivo, solo hemos realizado la prueba con el 1%, ya que si seguimos aumentando el porcentaje de electrolito los valores de intensidad se hubieran disparado.

El ensayo 06, es una prueba utilizando como electrolito agua destilada a la que hemos añadido sal (NaCl). Como observamos en la tabla y la gráfica, necesitamos mucho más porcentaje en peso de sal que de Sosa cáustica para conseguir la circulación de corriente a través del electrolito. La prueba la hemos realizado hasta un 15% en peso de NaCl. Como podemos comprobar los resultados son favorables ya que se genera hidrógeno pero la cantidad es muy pequeña comparada con el porcentaje de NaCl que debemos añadir.

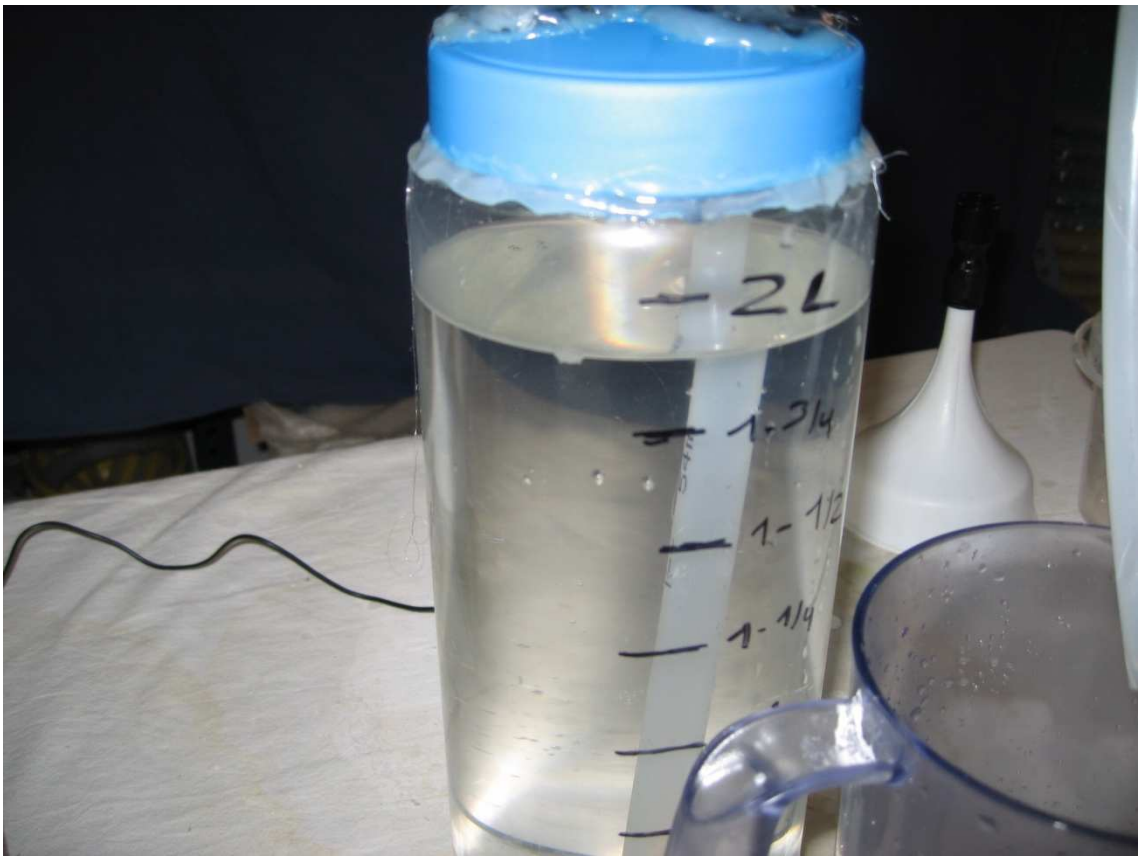
Otros inconvenientes que presenta el utilizar NaCl como electrolito, es que al producirse la generación de hidrógeno, el electrolito genera muchos residuos: pasa de un color transparente al principio a un color amarillo tirando a ocre, y genera muchas partículas que se quedan flotando en el interior, ensuciando los electrodos. En la siguiente imagen podemos ver el electrolito resultante.

En conclusión el Ensayo más favorable para nuestro proyecto es el 04. El que hemos realizado con la combinación de electrodos correcta (- n n n n + n n n n -), utilizando la batería de 12 V y 90 Ah como fuente eléctrica, y la sosa cáustica como electrolito.

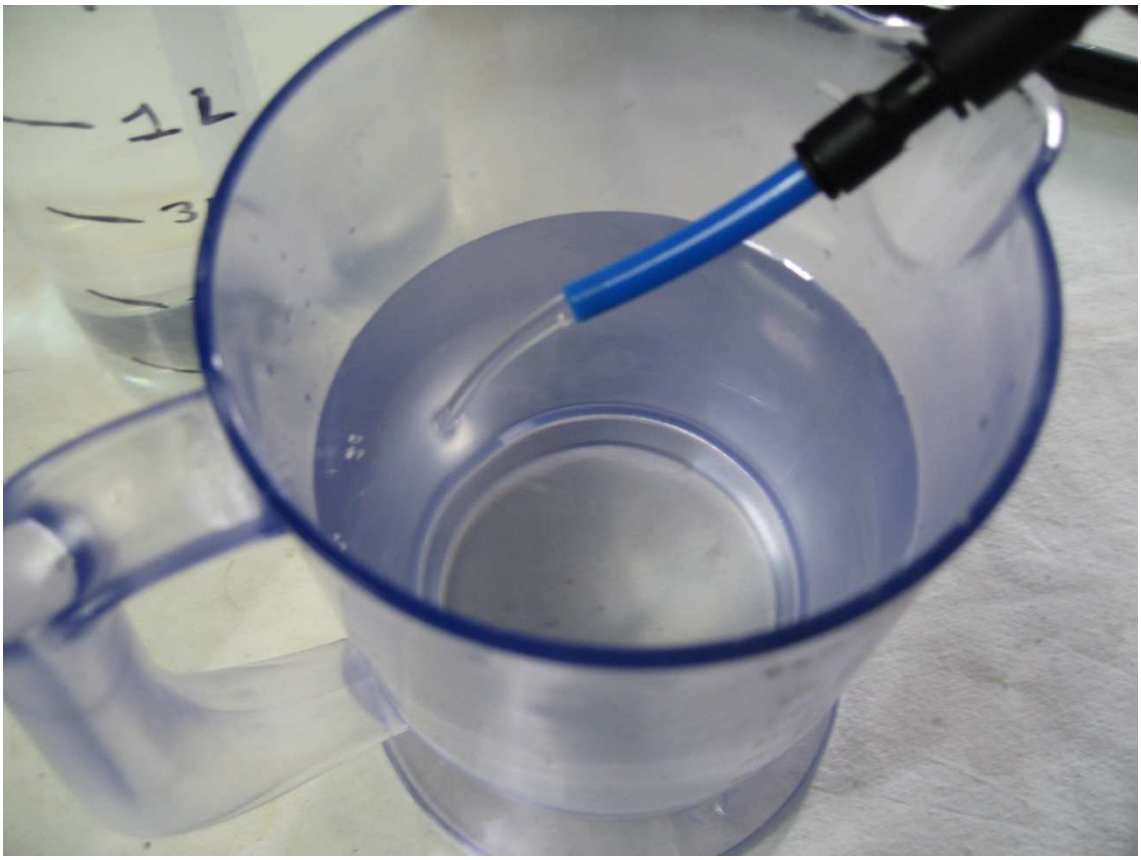
Si necesitáramos generar más hidrógeno podríamos hacer una combinación de placas tal como en el ensayo 05 (- n n n + n n n -) y conseguiríamos mucha más producción de hidrógeno, pero antes deberíamos modificar el circuito eléctrico ya que el consumo de amperios sería mucho más elevado y el circuito tal y como lo tenemos no lo soportaría.

5.6.1. Fotos de los ensayos

PRUEBAS Y ENSAYOS
Proyecto
Generador de hidrogeno
Autor
Héctor Holgado Secas
Fecha
Anotaciones
Electrolito NaOH %
Corriente A
Voltaje V
Temperatura 1 Int. Gen °C
Llama
SAMSUNG
00:01:23.30
00:01:17.88
00:00:38.15
Parar
Vuelta

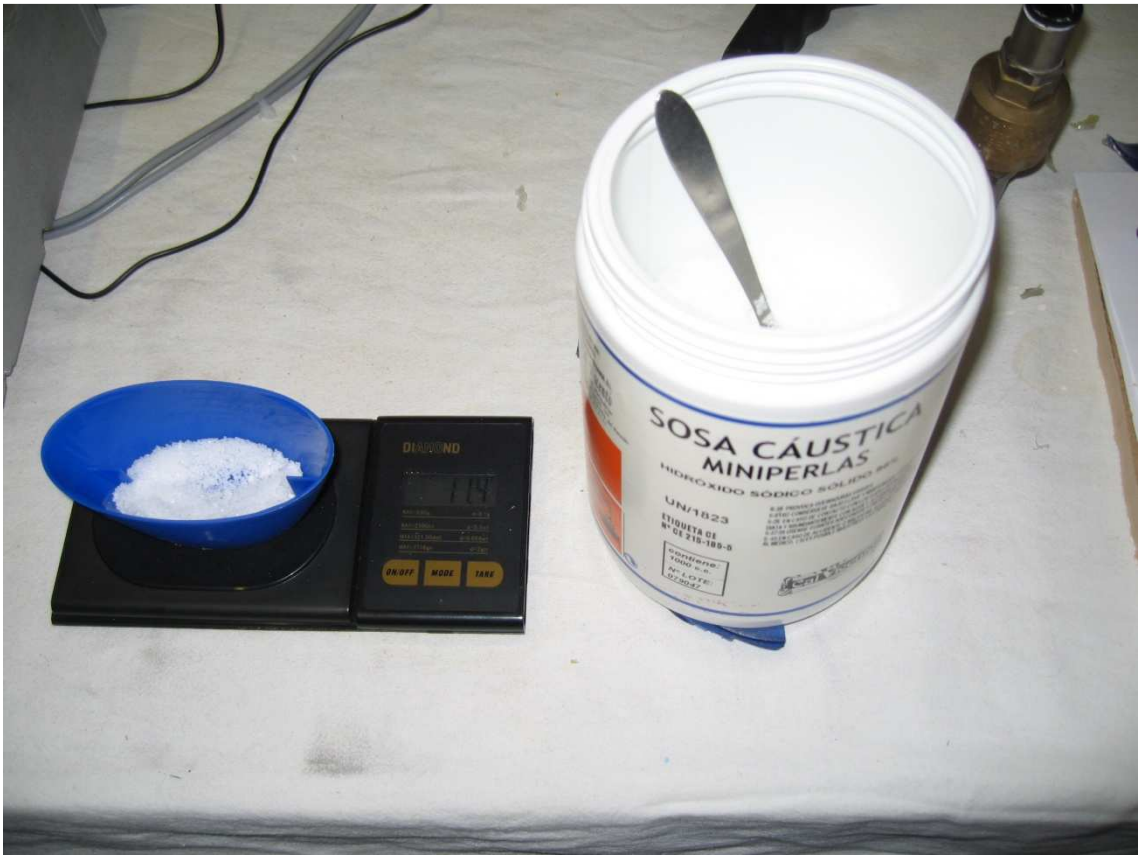

2L
1-3/4
1-1/2
1-1/4

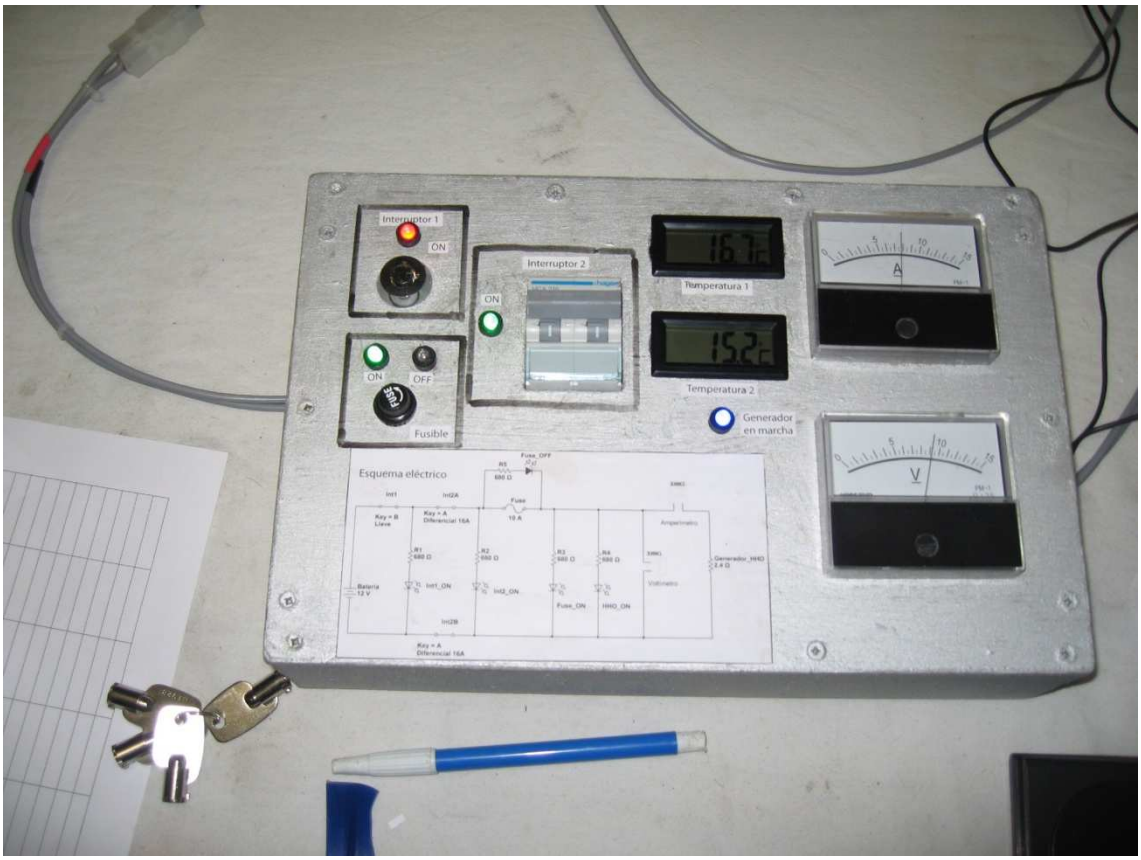
1-3/4
1-1/2
1-1/4

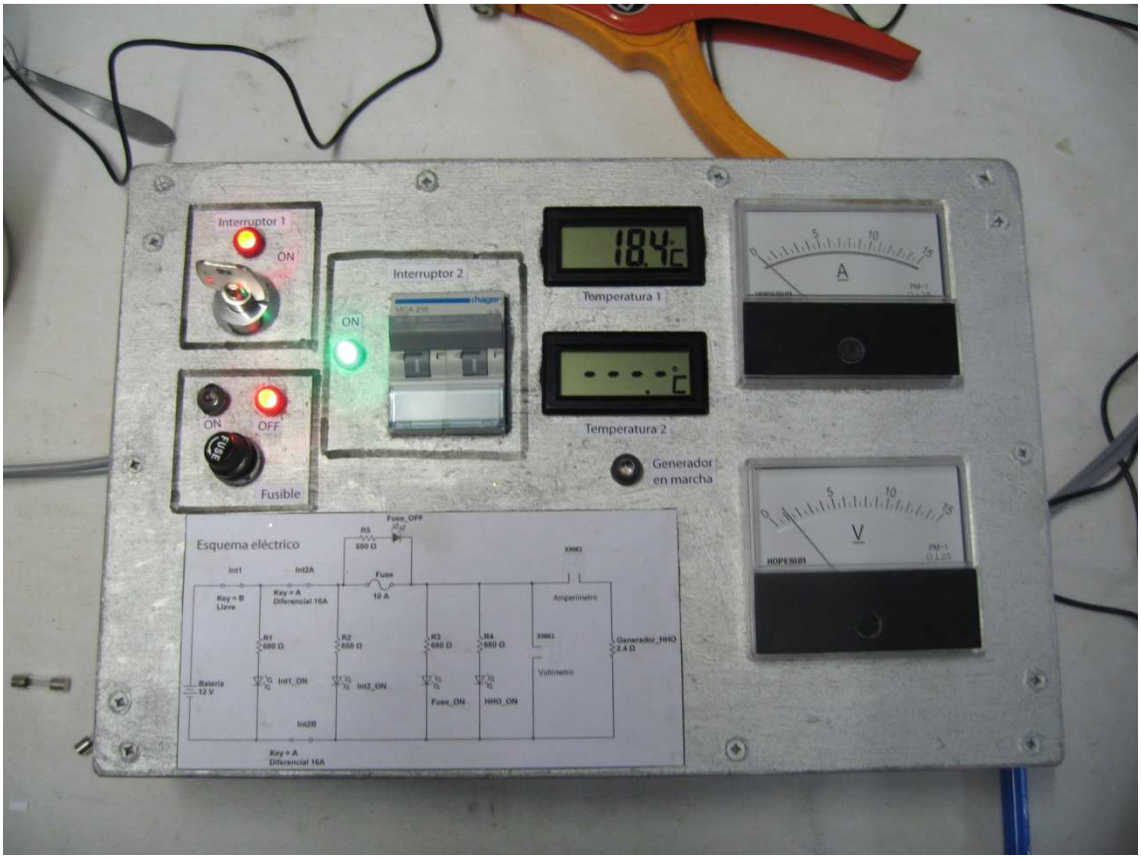

1L

2L
1-3/4
1-1/2
1-1/4
1L
3/4
1/2
1/4

2L
1-3/4
1-1/2
1-1/4


DIAMOND
ON/OFF
MODE
TARE
SOSA CÁUSTICA
MINIPERLAS
HIDRÓXIDO SÓDICO SÓLIDO
UN/1823


Interruptor 1
ON
Interruptor 2
ON
16.7
Temperatura 1
15.2
Temperatura 2
ON
OFF
Fusible
Generador en marcha
A
V
Esquema eléctrico


Interruptor 1
ON
Interruptor 2
ON
18.4
Temperatura 1
Temperatura 2
ON
OFF
Fusible
Generador en marcha
A
V
Esquema eléctrico

6. CONCLUSIÓN

Como hemos comentado anteriormente, la situación energética actual se fundamenta en un modelo energético insostenible, ya que gran parte de la energía consumida proviene de fuentes no renovables, básicamente combustibles fósiles como son el carbón, el gas o el petróleo además de la energía nuclear.

Si tenemos en cuenta que cada vez hay más población y que aumenta el consumo de energía, esto conlleva a que las fuentes energéticas se estén agotando cada vez con mayor celeridad y no poder abastecer a toda la población de energía suficiente.

Como también sabemos, el otro gran problema de estas energías es toda la contaminación que generan. Esto provoca la contaminación y destrucción del planeta. Esto sumado al hecho que estamos agotando los recursos energéticos del planeta, nos lleva a un modelo energético insostenible que debe modificarse hacia un modelo sostenible.

El problema es que se ha desarrollado poco la tecnología de las energías renovables, ya que no se le ha dado importancia. Siempre se ha optado por el uso de energías no renovables como el petróleo, el carbón o el gas. En la actualidad y cada vez más, se le está dando mucha importancia a las energías renovables. La sociedad se está concienciando sobre el tema y está evolucionando hacia un modelo energético sostenible. Ahora, y cada vez más, se están desarrollando nuevas técnicas y tecnología para poder aprovechar los recursos renovables de los que disponemos, como son la energía eólica, solar, mareomotriz, o el hidrógeno como combustible. Estas fuentes energéticas son inagotables y limpias, ya que no producen ningún tipo de contaminante ni residuo durante la generación de energía.

Esta evolución energética que está haciendo la sociedad es un gran avance para la humanidad, pero aún pasará mucho tiempo hasta que la sociedad se base únicamente en un modelo energético sostenible al 100%.

En esta evolución energética que está sufriendo la sociedad, no podemos olvidar el hidrógeno como combustible. Este elemento, probablemente será el substituto de los hidrocarburos actuales. Un claro ejemplo son los automóviles, ya que aplicado a los motores de combustión interna, las únicas emisiones que estos provocarían sería vapor de agua, frenando de esta manera el efecto invernadero. A parte de que el hidrógeno podemos extraerlo del agua, y es un recurso inagotable.

Generar hidrógeno en grandes cantidades hoy en día resulta costoso, y se necesita investigar y desarrollar nuevas técnicas que permitan generar hidrógeno de una manera más económica. Cuando esto se consiga, el hidrógeno ya podrá competir y apartar a los combustibles fósiles, pero de momento, como resulta más caro producirlo que la energía que nos aporta, no es rentable.

El objetivo de este proyecto era realizar un estudio y diseño de un generador de hidrógeno de pequeñas dimensiones y producción de hidrógeno reducida, para la aplicación en vehículos con motor de combustión interna para conseguir un ahorro de combustible y mejorar la combustión, reduciendo así los gases contaminantes.

Esta sería una posible medida para reducir el consumo de petróleo hasta el día en que la tecnología esté suficientemente desarrollada y el modelo energético global sea sostenible y no dependa de los combustibles fósiles como el petróleo.

El objetivo de este proyecto es la construcción del generador de hidrógeno y su estudio. Después de realizar todo este trabajo, ahora vendría la parte de instalación en un vehículo de combustión interna, realizar pruebas y ensayos, y comprobar la teoría de que se reduce el consumo de carburante y las emisiones de gases contaminantes. Esta continuación podría dar pie a un nuevo proyecto.

Aunque no haya podido realizar las pruebas con un motor, este proyecto demuestra la facilidad con que se puede conseguir hidrógeno. La construcción del generador es relativamente fácil y la materia “prima” del hidrógeno es muy barata, es agua destilada. Esto demuestra que el hidrógeno está al alcance de todos, y que con un poco más de investigación el hidrógeno se convertirá en un elemento cotidiano que utilicemos día a día, ya sea almacenado en pilas de hidrógeno que nos generen energía eléctrica o en forma de combustible. Los combustibles fósiles desaparecerán y su lugar lo ocupara el hidrógeno, ya que es inagotable y no produce contaminación, ya que su único residuo es agua.

Otro problema que tiene el hidrógeno hoy en día es su almacenamiento. La naturaleza peligrosa del producto hace que sea difícil almacenarlo, lo que se traduce en un proceso caro. Actualmente los métodos de compresión y licuado son efectivos pero requieren una gran aportación de energía extra. Se están desarrollando nuevas técnicas más fáciles, más seguras y más económicas pero de momento son técnicas en vías de desarrollo.

El hidrógeno es la fuente energética del futuro. Nos aporta grandes beneficios; la energía generada es limpia y tiene mejores características energéticas que los combustibles actuales. Hemos de mejorar la tecnología para mejorar los procesos de

obtención y de almacenamiento, ya que actualmente está en una fase inicial. Cuando consigamos esto, el hidrogeno como combustible será una realidad.

Entre todos estamos avanzando hacia un mundo más sostenible, donde la sociedad se base en un modelo energético sostenible, y no se agoten los recursos del planeta ni se produzca contaminación. Llegaremos a este punto, pero aún queda un largo camino por recorrer. Hasta entonces, debemos avanzar, evolucionando con nuevas investigaciones y tecnologías, y mediante pequeños cambios en la sociedad y sobre todo en la mentalidad del ser humano, y así seguro que llegaremos a alcanzar el objetivo: un mundo basado 100 % en un modelo energético inagotable y no contaminante.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Jeremy Rifkin; "*Cuando se agote el petróleo. La economía del hidrógeno. La creación de la red energética mundial y la redistribución del poder en la Tierra"*; Ediciones Paidós Iberica S.L. , 2002.

- Mario Aguer Hortal, Ángel L. Miranda Barreras ; "*El hidrógeno: fundamento de un futuro equilibrado. Una introducción al estudio del hidrógeno como vector energético.*"; Ediciones Díaz de Santos S.A., 2005.

- Michael Frank Hordeski ; "*Alternative fuels. The future of hydrogen*"; CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.

- José Ignacio Linares Hurtado, Beatriz Yolanda Moratilla Soria; "*El hidrógeno y la energía. Análisis de situación y prospectiva de nuevas tecnologías energéticas*"; Asociación Nacional de Ingenieros del ICAI, Universidad Pontificia Comillas, 2007.

- Ram B. Gupta; "*Hydrogen Fuel. Production, Transport and Storage*"; CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009.

- Adriana del Pilar Moreno Robinson, Jaime Lobo-Guerrero Uscátegui; "*Implementación y análisis sistema de alimentación de hidrógeno para un motor de combustión interna";* Uniandes, 2007.

- Luis Antonio Cano Rodríguez ; "*Motor de combustión de hidrógeno*"; Universidad Carlos III, Departamento de ingeniería mecánica, Área de ingeniería térmica, 2005.

- Aline Léon; "*Hydrogen Technology. Mobile and Portable Aplications*"; Editorial Springer / Springer Serien in Green Energy and Technology, 2008.

- Cheng, H., Scott, K. y Ramshaw, C. ; "*Intensification of Water Electrolysis in a Centrifugal Field*"; Journal of Electrochemical Society, v149 n11, 2002.

- Johanna Ivy.; "Summary of Electrolytic Hydrogen Production, milestone completion report"; Golden, CO, National Renewable Energy Laboratory, 2004.

- Stan Gibilisco; *"Alternative Energy Demystified"*; Editorial McGraw-Hill, 2007.

- Luis Merino, Pepa Mosquera; *"Energías renovables para todos.";* Haya Comunicación, 2003.

- Comisión Europea *; "Libro Verde. Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético"*; Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2001.

Recursos de internet

- **www.icaen.net** *(octubre 2011)*
- **www.aeh2.org** *(octubre - noviembre 2011)*
- **www.h2euro.org** *(octubre - noviembre 2011)*
- **www.electronicafacil.net** *(noviembre 2011 - enero 2012)*
- **reyhidrogeno.blogspot.com** *(noviembre 2011 - enero 2012)*
- **www.erenovable.com** *(setiembre - octubre 2011)*
- **www.solociencia.com** *(setiembre 2011)*
- **www.fuelcellstore.com** *(noviembre 2011)*
- **www.fuelcelltoday.com** *(noviembre 2011)*
- **www.iea.org** *(setiembre 2011)*
- **www.motordehidrogeno.net** *(setiembre - noviembre 2011)*
- **www.ariema.com** *(noviembre 2011)*
- **www.appice.es** *(octubre - noviembre 2011)*
- **www.ptehpc.org** *(octubre - noviembre 2011)*
- **www.hydrogenics.com** *(noviembre 2011)*
- **www.accagen.com** *(noviembre 2011)*

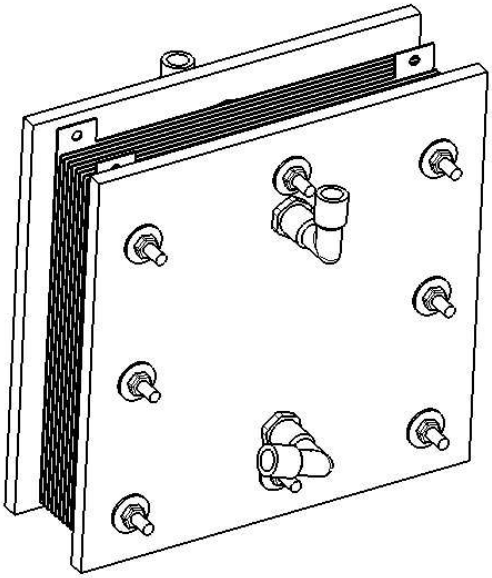
ANEXO I: Especificaciones técnicas del generador

GENERADOR DE HIDRÓGENO

Prototipo 1.0

Especificaciones técnicas

Imagen



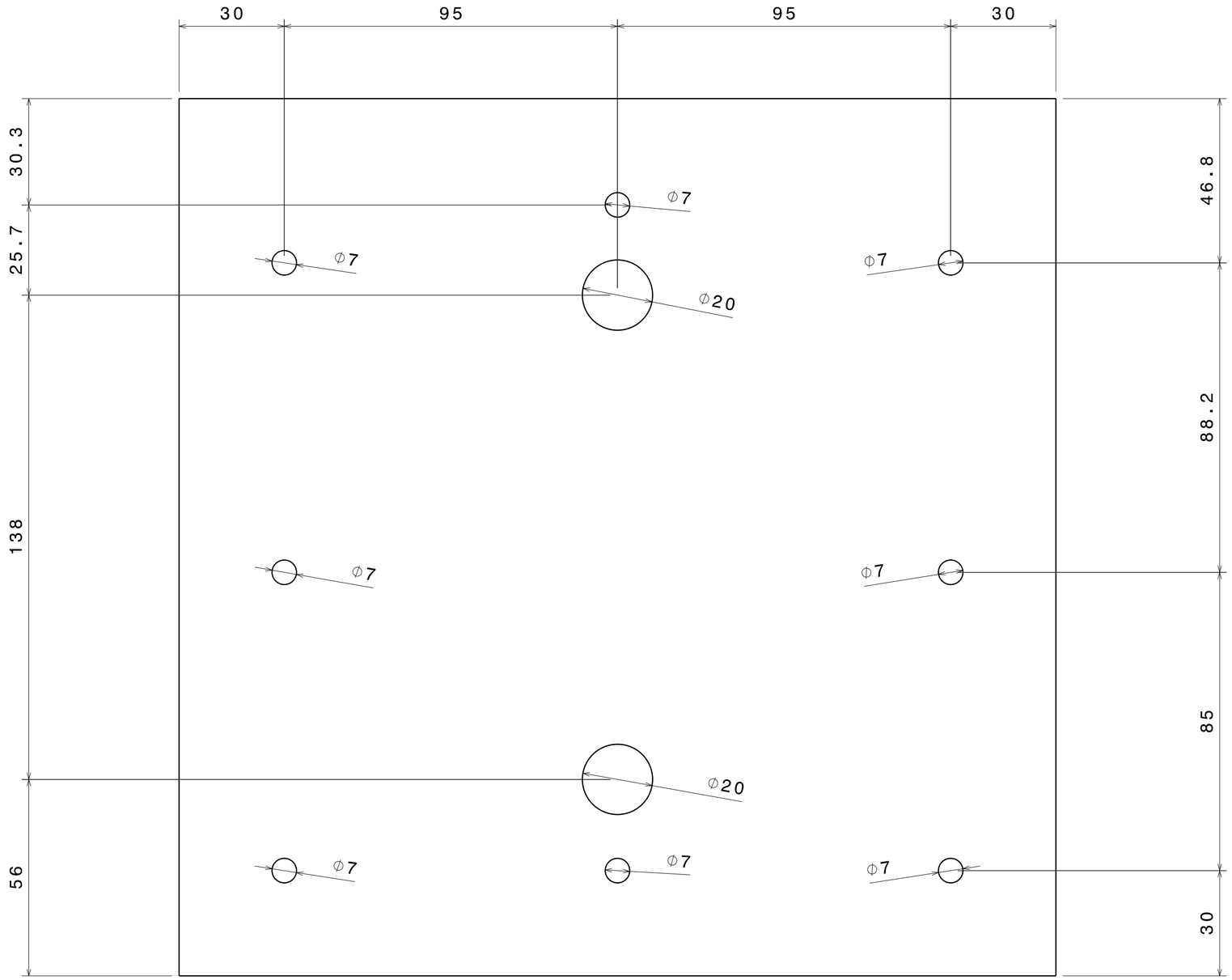
Datos técnicos	
Peso vacio	9500 g
Peso lleno	10800 g
Ancho sin racores	85 mm
Ancho con racores	170 mm
Largo	250 mm
Alto	250 mm
Ancho de las tapas	10 mm

Largada de las tapas	250 mm
Altura de las tapas	250 mm
Ancho de los electrodos	1,5 mm
Largada de los electrodos	230 mm
Altura de los electrodos	230 mm
Largada conexión electrodo	25 mm
Altura conexión electrodo	15,6 mm
Distancia entre electrodos -	41 mm
Ancho de las juntas	3 mm
Ancho juntas comprimidas	2,75 mm
Largada de las juntas	210 mm
Altura de las juntas	210 mm
Largada interior de las juntas	190 mm
Altura interior de las juntas	190 mm
Distancia entre tapas	65 mm
Distancia entre electrodos	2,70 mm
Distancia tapa y electrodo	10,80 mm
Altura racor inferior	60 mm
Altura racores superiores	195 mm
Diámetro pernos	8 mm
Largada pernos	100 mm
Diámetro tornillos conexión	5 mm
Largada tornillo conexión +	15 mm
Largada tornillo conexión -	50 mm
Capacidad electrolito máx.	1300 ml
Capacidad electro. de trabajo	1150 ml
Diámetro tubos salida	12 mm
Diámetro tubo entrada	12 mm
Tensión de funcionamiento	12 V
Corriente de funcionamiento	10 A
Corriente máxima	15 A
Electrolito recomendado	NaOH
Cantidad de electrolito	1% – 8%
Temperatura de trabajo	15 – 30ºC
Temperatura máxima	60 ºC

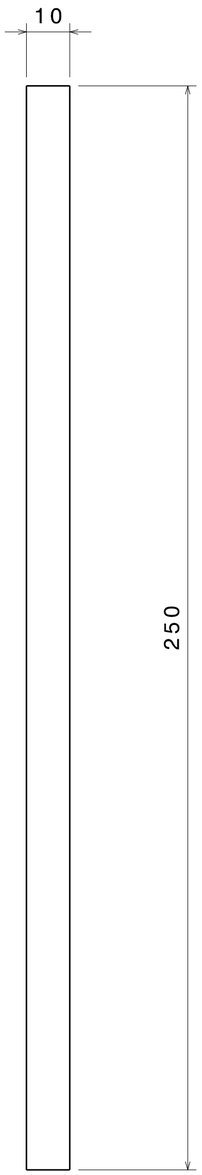
ANEXO II: Planos

Referencia de planos					
Nº	**Nombre**	**Archivo**	**Tamaño ISO**	**Escala**	**Observaciones**
001	Tapa generador Parte delantera	GH_plano_01.pdf	A2	1:1	Metacrilato
002	Tapa generador Parte trasera	GH_plano_02.pdf	A2	1:1	Metacrilato
003	Electrodo conexión	GH_plano_03.pdf	A2	1:1	Acero Inox. 316L 3 unidades
004	Electrodo neutro	GH_plano_04.pdf	A2	1:1	Acero Inox. 316L 8 unidades
005	Junta	GH_plano_05.pdf	A2	1:1	Goma 18 unidades
006	Codo pasa tabiques	GH_plano_06.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
007	Perno, Rosca y Arandela	GH_plano_07.pdf	A4	1:1	Acero 8 unidades
008 1/5	Ensamblaje Vista frontal	GH_plano_08_1.pdf	A2	3:4	
008 2/5	Ensamblaje Vista trasera	GH_plano_08_2.pdf	A2	3:4	
008 3/5	Ensamblaje Detalles	GH_plano_08_3.pdf	A2	3:4	
008 4/5	Ensamblaje Vista corte	GH_plano_08_4.pdf	A2	1:1	
008 5/5	Ensamblaje Expansionado	GH_plano_08_5.pdf	A2	1:4	
009	Deposito electrolito	GH_plano_09.pdf	A2	3:4	
010	Burbujeador	GH_plano_10.pdf	A2	3:4	
011	Racor en T	GH_plano_11.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
012	Racor en L	GH_plano_12.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
013	Racor recto	GH_plano_13.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
014	Racor reductor	GH_plano_14.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
015	Racor adaptador	GH_plano_15.pdf	A4	1:1	Marca Parker - Legris
016	Válvula antirretorno	GH_plano_16.pdf	A4		Marca Itap - York
017	Boquilla	GH_plano_17.pdf	A4	1:1	
018	Esquema eléctrico	GH_plano_18.pdf	A4	1:1	
019	Caja de control	GH_plano_19.pdf	A2	1:1	

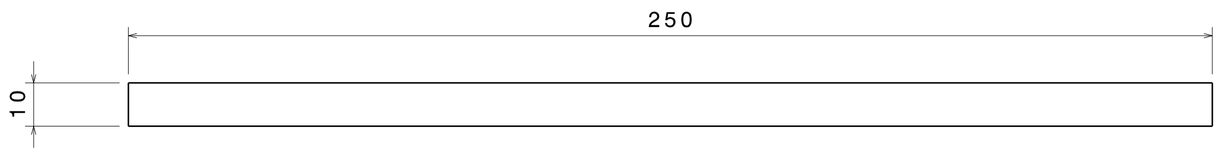
*Los planos están realizados con el software CATIA V5.



Front view
Scale: 1:1



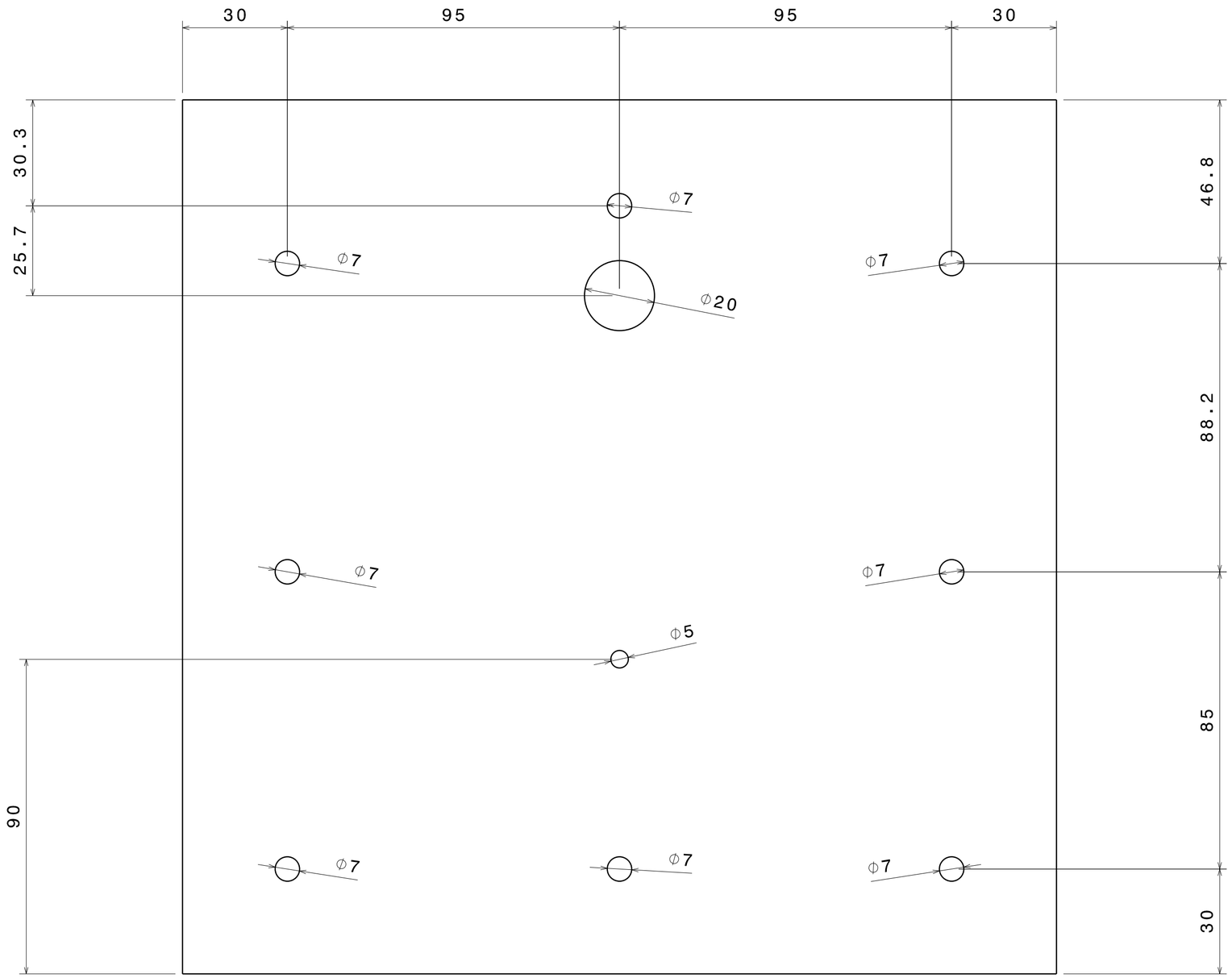
Left view
Scale: 1:1



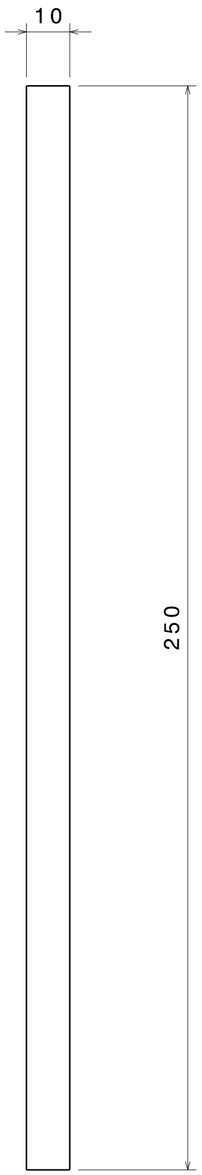
Top view
Scale: 1:1

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Tapa generador Parte delantera	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrógeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 001	PLANO 1/1

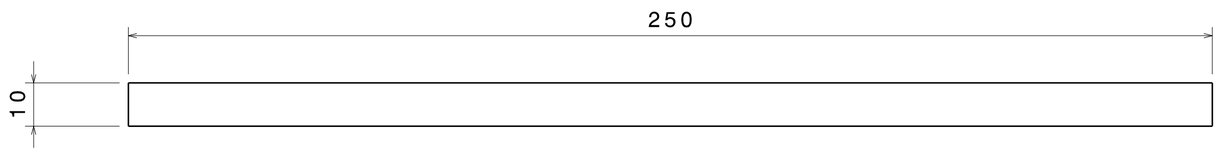
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Front view
Scale: 1:1



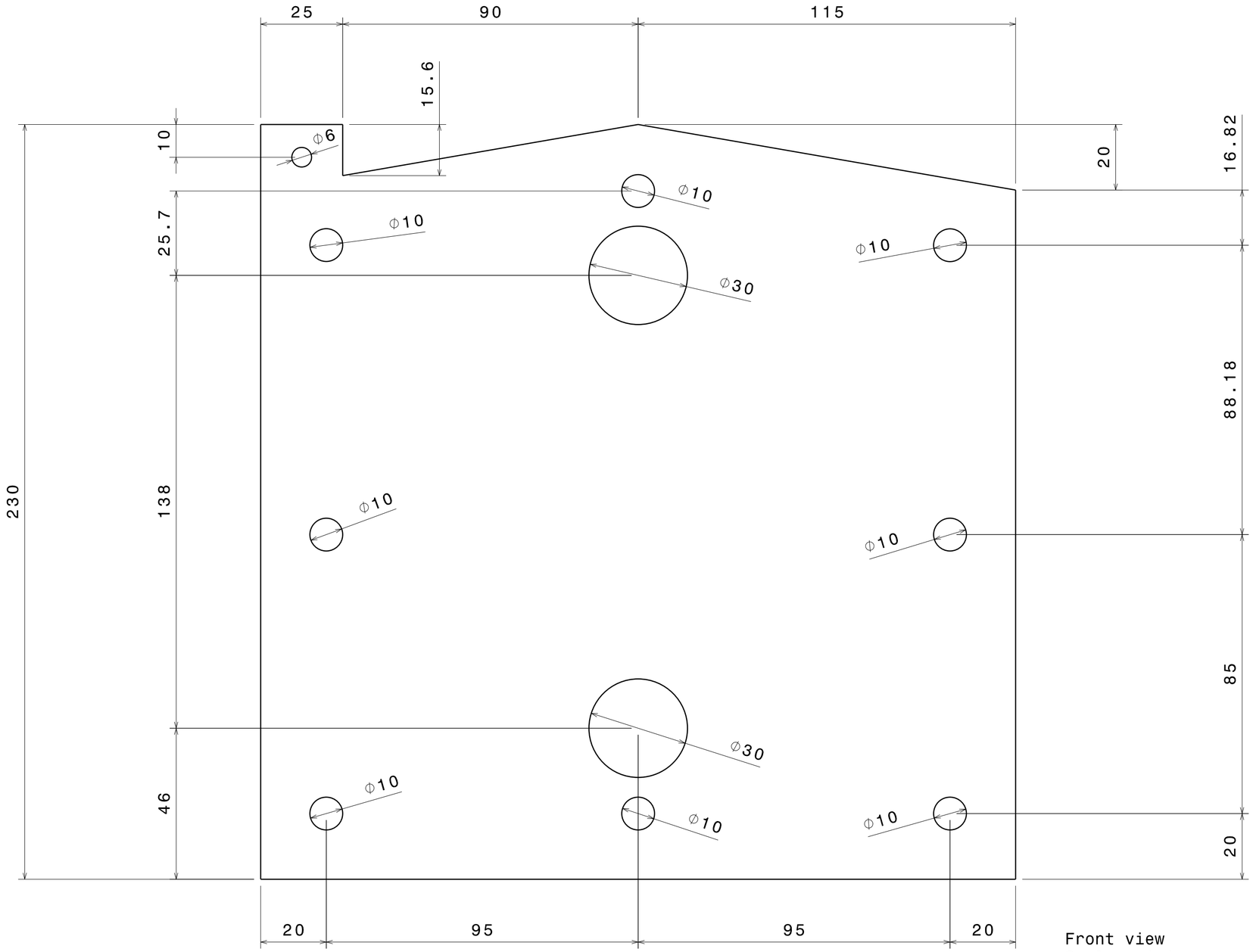
Left view
Scale: 1:1



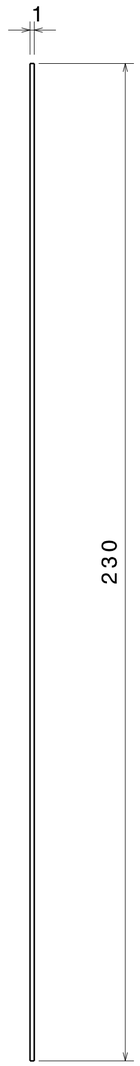
Top view
Scale: 1:1

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Tapa generador Parte trasera	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrógeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 002	PLANO 1/1

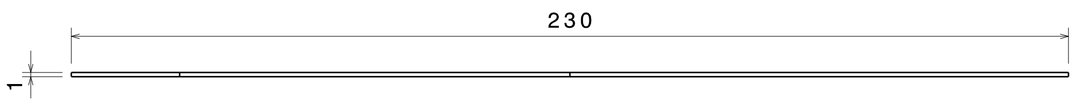
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Front view
Scale: 1:1



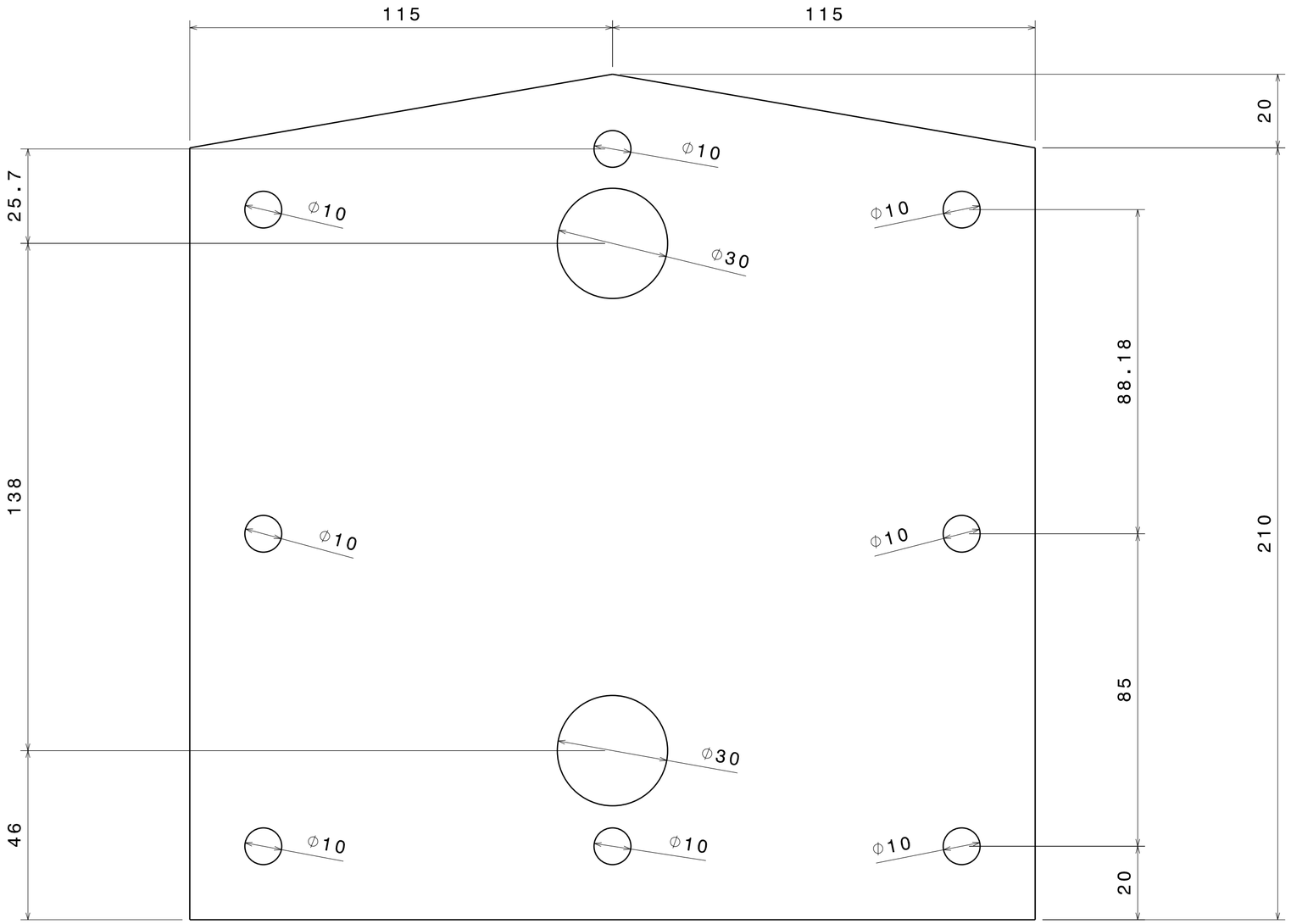
Left view
Scale: 1:1



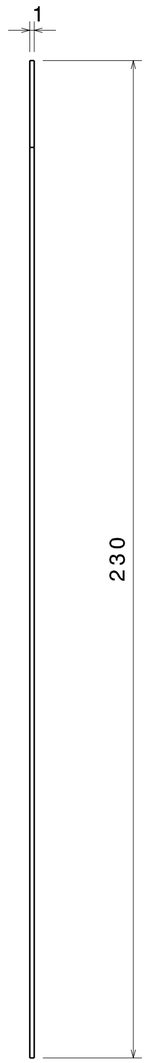
Top view
Scale: 1:1

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Electrodo conexión	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO: A2	PROYECTO: Generador de Hidrógeno	
ESCALA: 1:1	NUMERO DE DIBUJO: 003	PLANO: 1/1

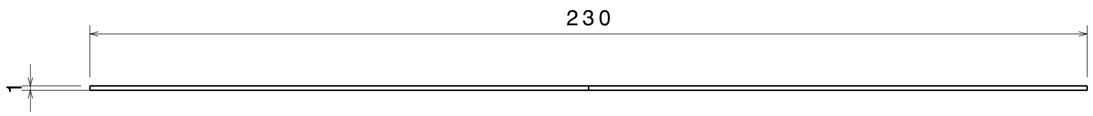
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Front view
Scale: 1:1



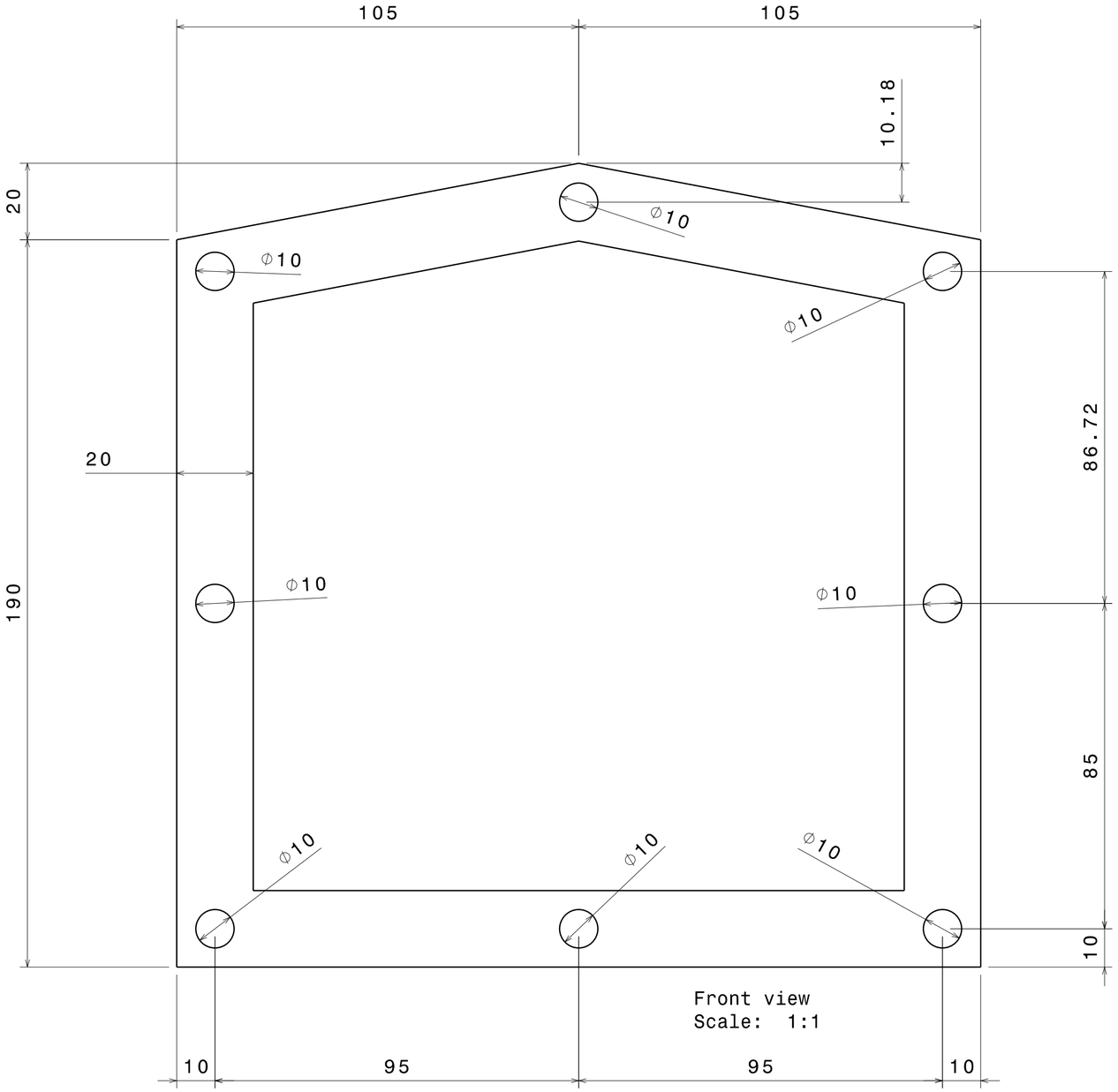
Left view
Scale: 1:1



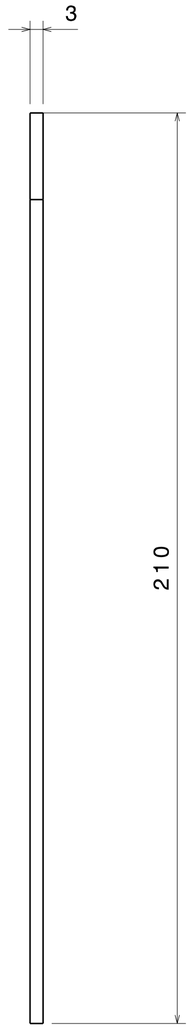
Top view
Scale: 1:1

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Electrodo neutro	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrógeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 004	PLANO 1/1

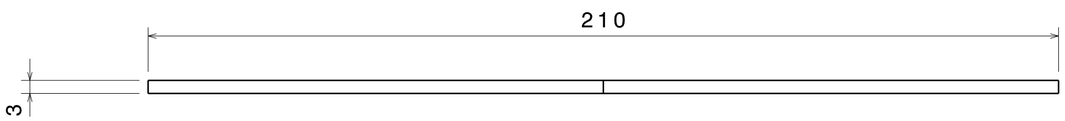
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Front view
Scale: 1:1



Left view
Scale: 1:1

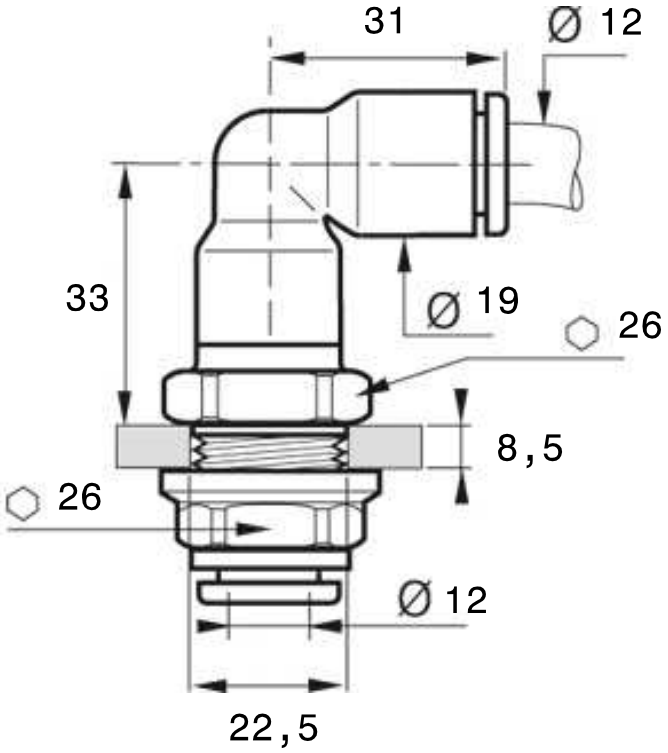


Top view
Scale: 1:1

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Junta	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 005	PLANO 1/1

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

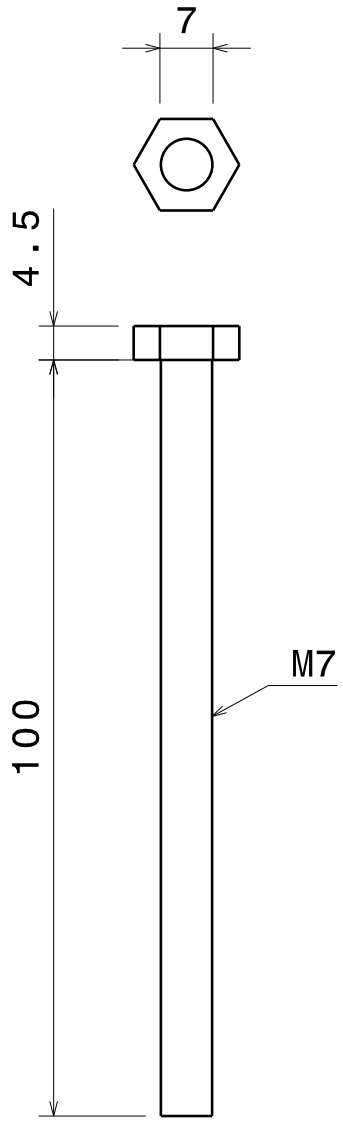


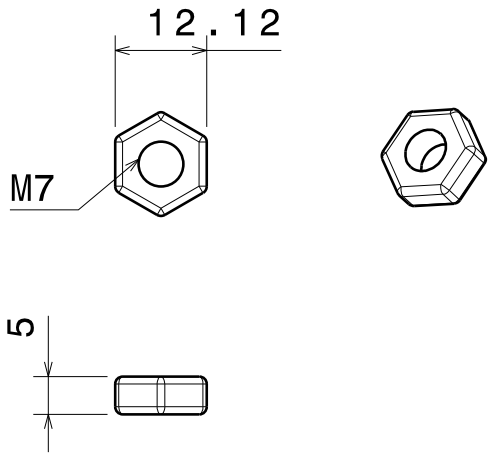
Imagen

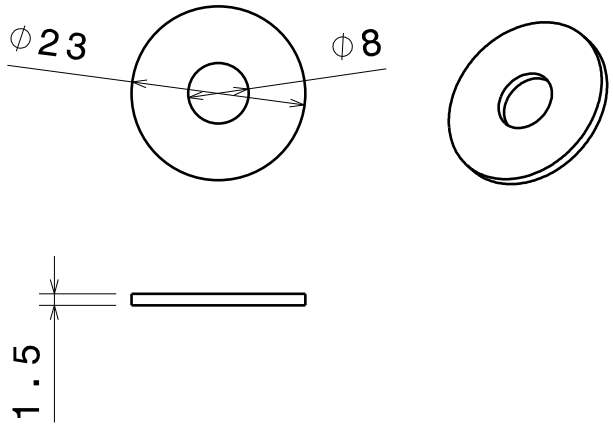
ELEMENTO DISEÑADO POR: Parker Legris	Codo pasa tabiques	
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 006	PLANO 1/1

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



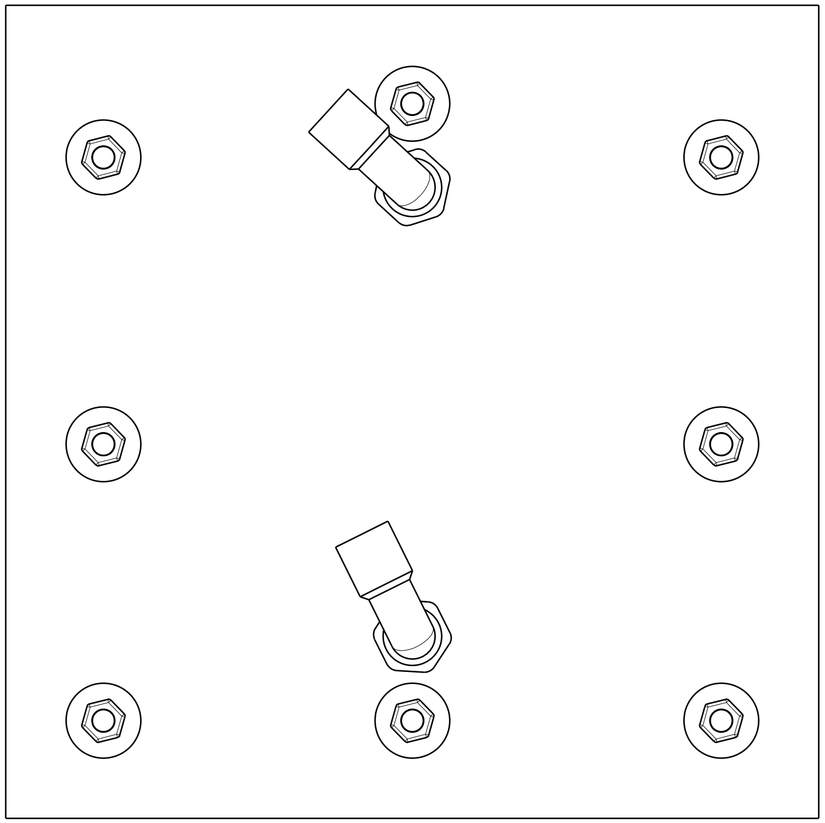




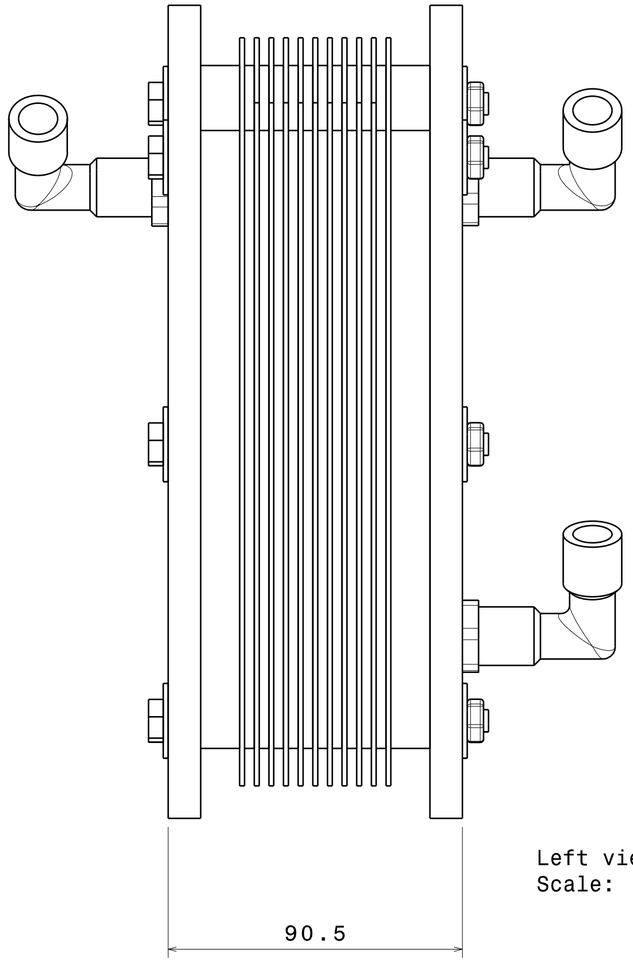
DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Perno, Rosca y Arandela	
FECHA: 19/12/2011		
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 007	PLANO 1/1

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

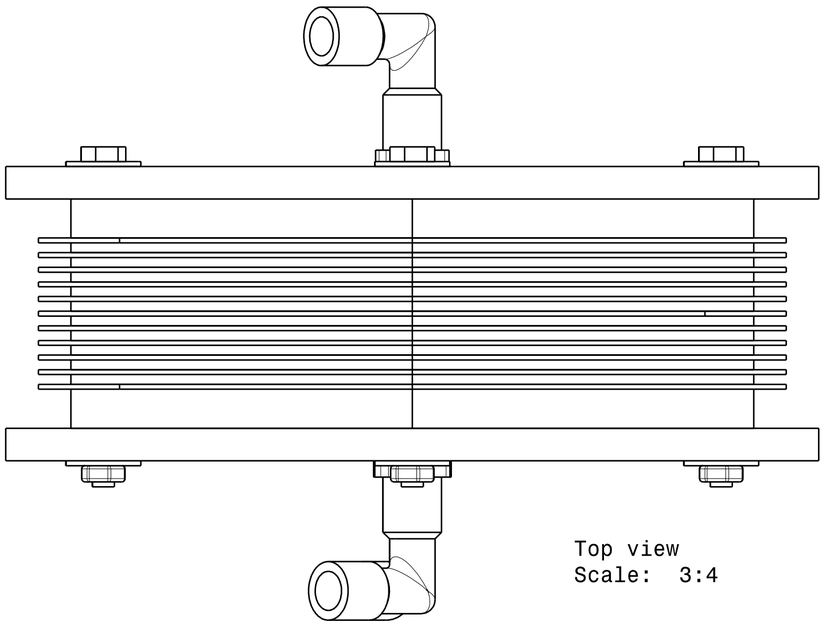
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



Front view
Scale: 3:4



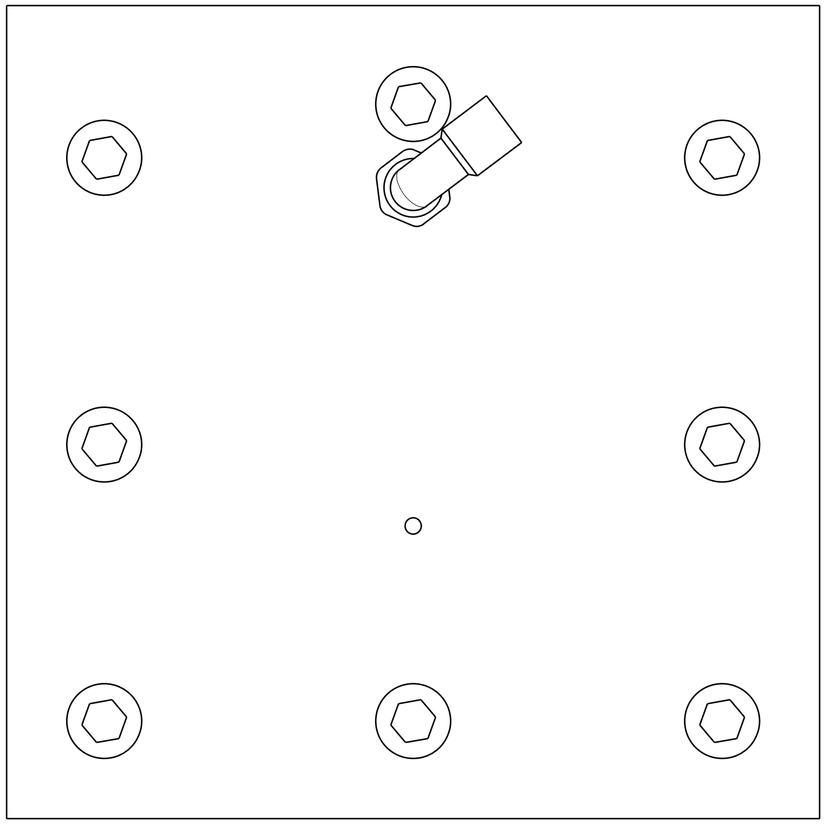
Left view
Scale: 3:4



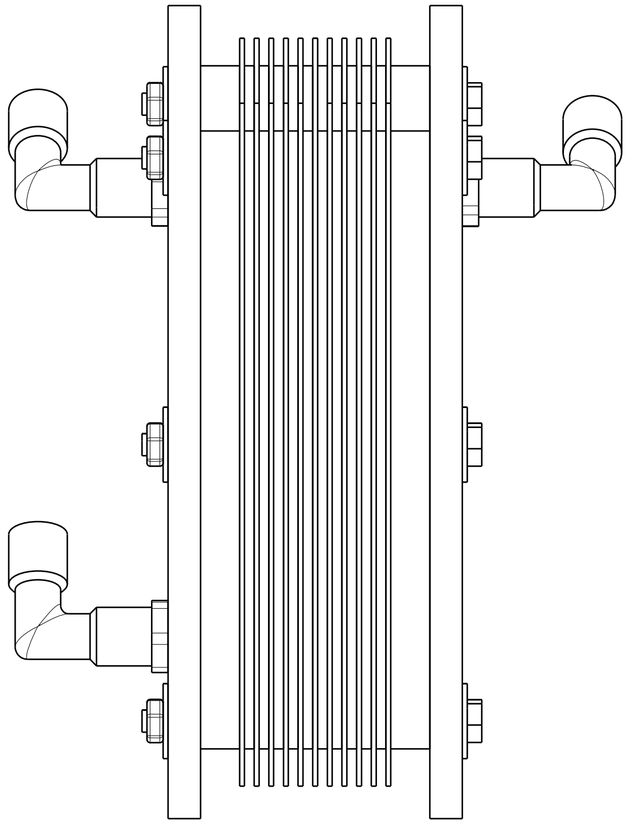
Top view
Scale: 3:4

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Ensamblaje Vista frontal		I _
FECHA: 18/12/2011			H _
			G _
			F _
			E _
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno		D _
			C _
ESCALA 3:4	NUMERO DE DIBUJO 008	PLANO 1/5	B _
			A _

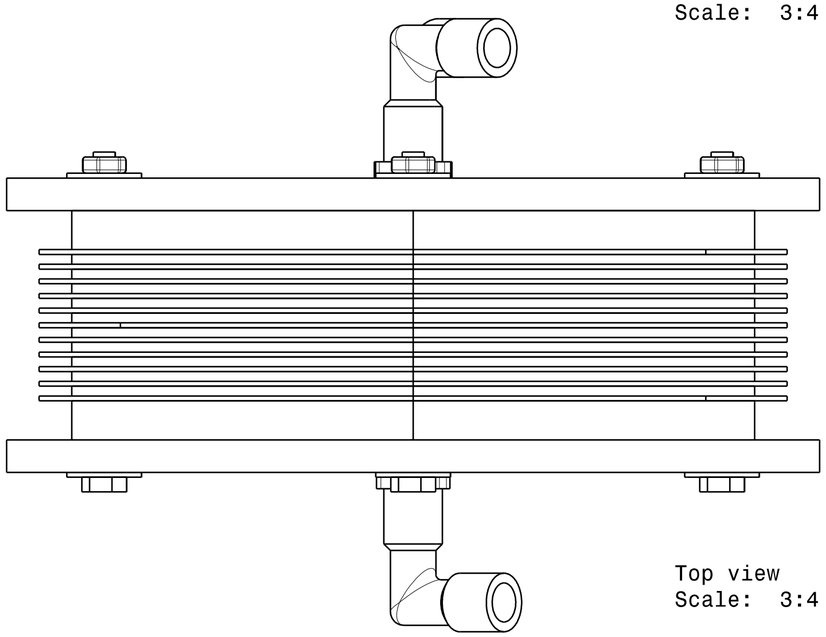
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Front view
Scale: 3:4



Left view
Scale: 3:4

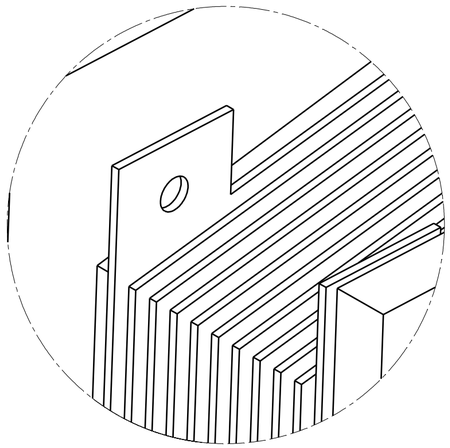


Top view
Scale: 3:4

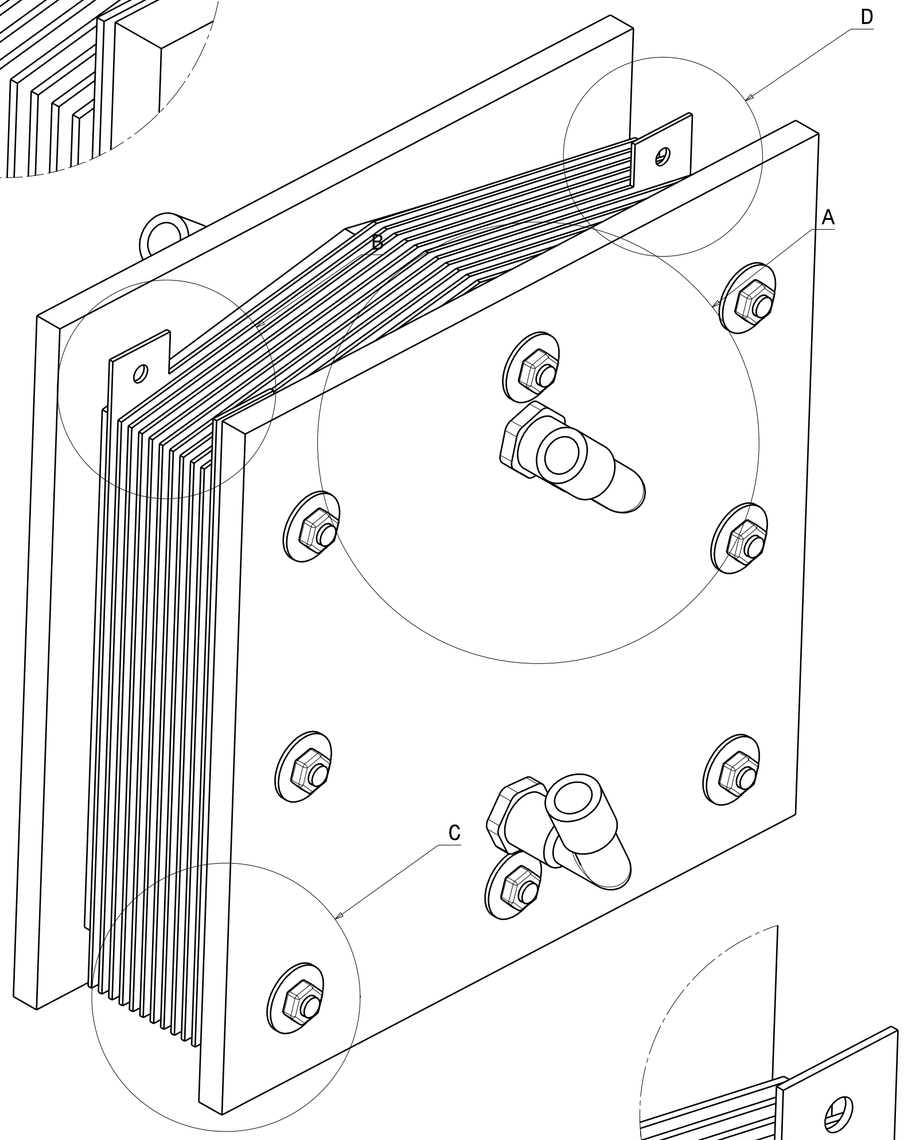
DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Ensamblaje Vista trasera	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 3:4	NUMERO DE DIBUJO 008	PLANO 2/5

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

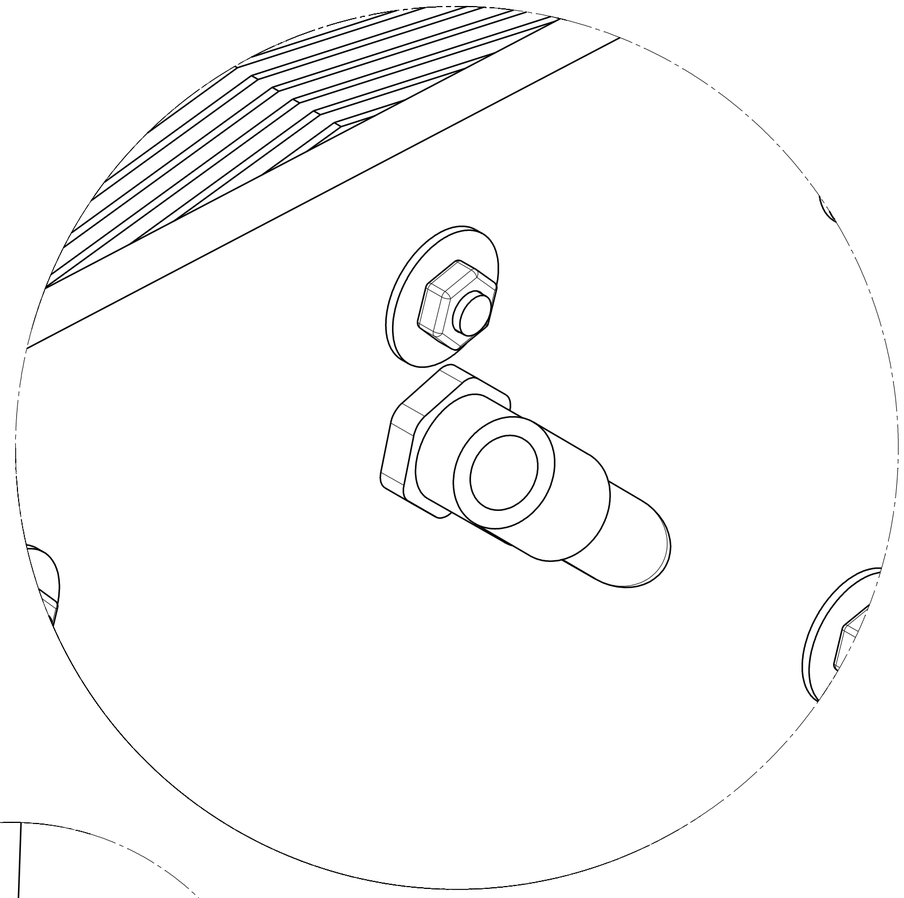
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



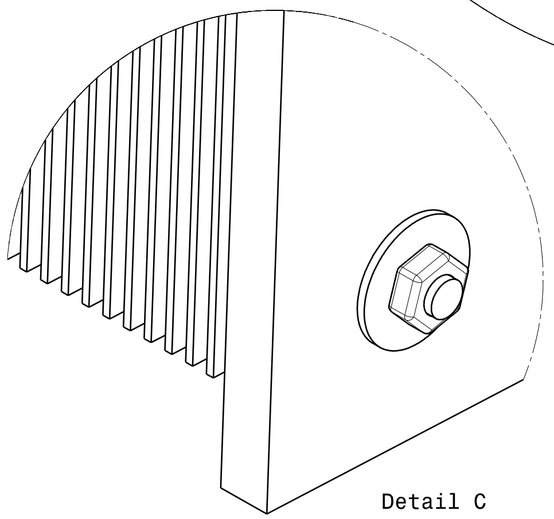
Detail B
Scale: 3:2



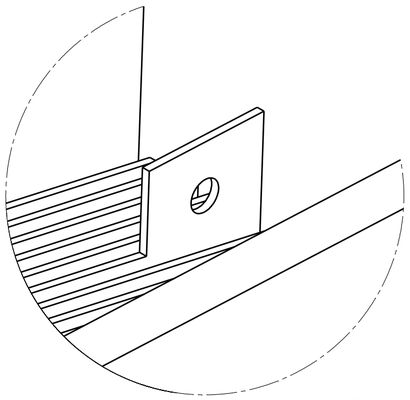
Isometric view
Scale: 3:4



Detail A
Scale: 3:2



Detail C
Scale: 3:2

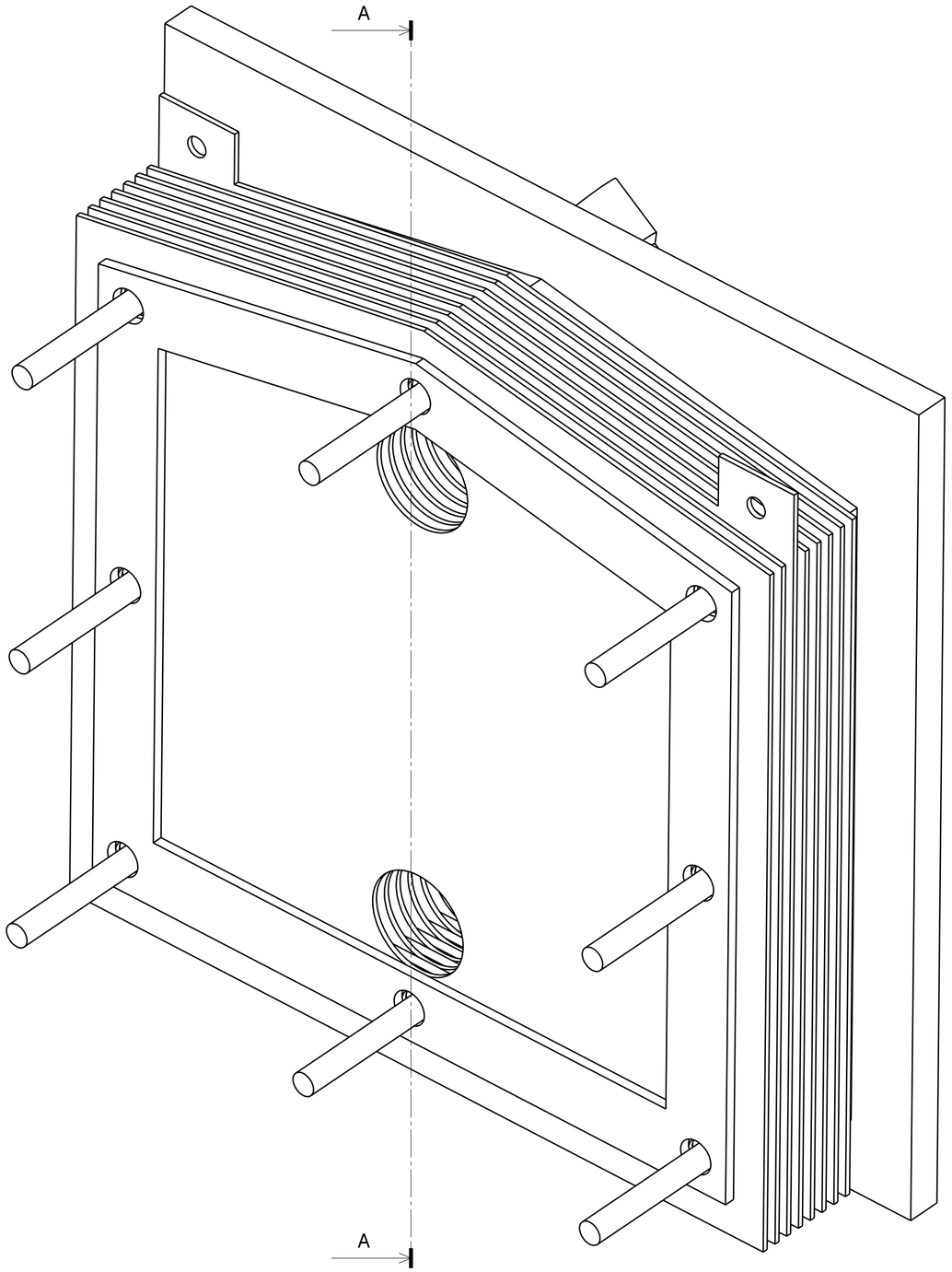


Detail D
Scale: 3:2

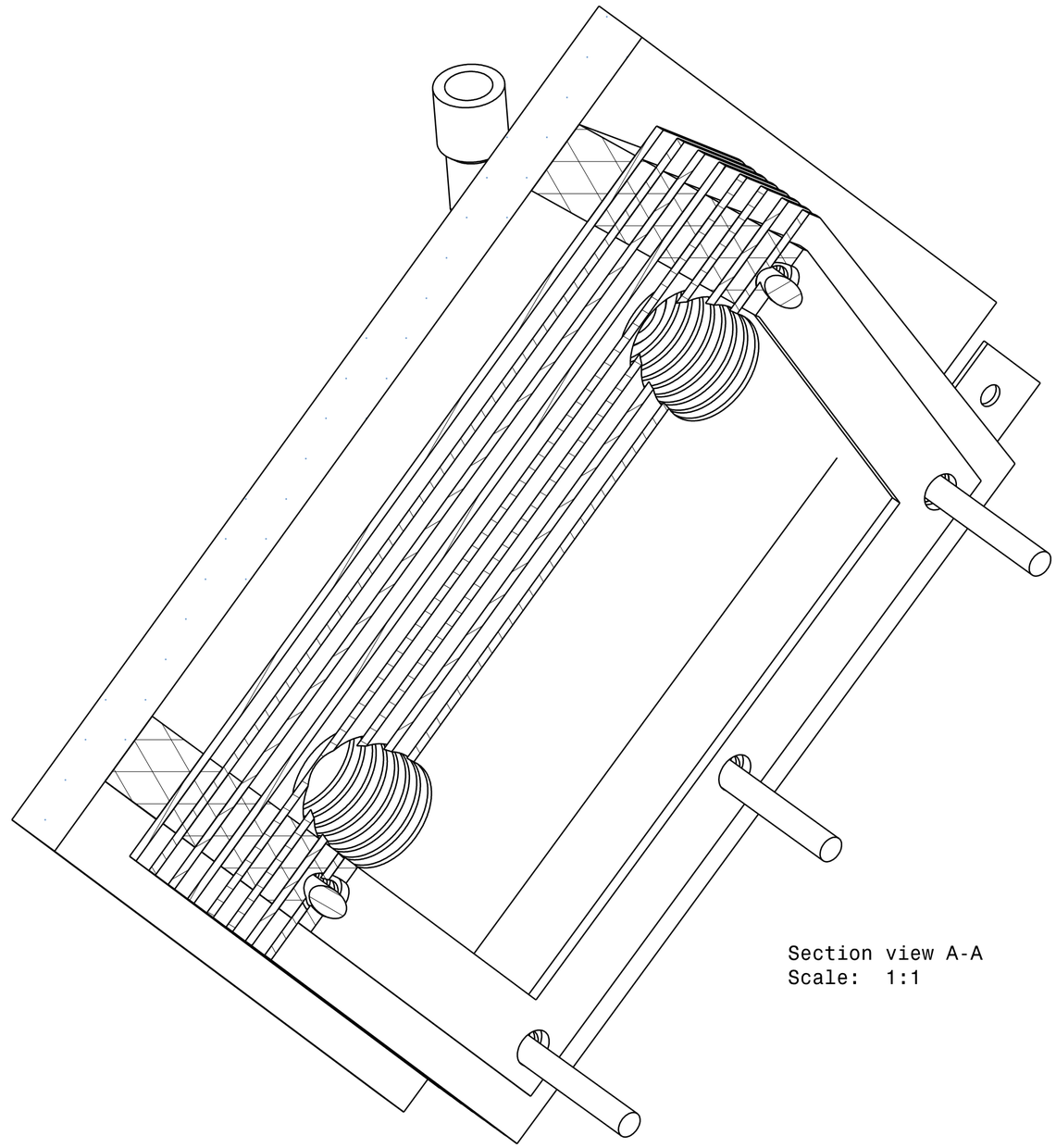
DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Ensamblaje Detalles	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 3:4	NUMERO DE DIBUJO 008	PLANO 3/5

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



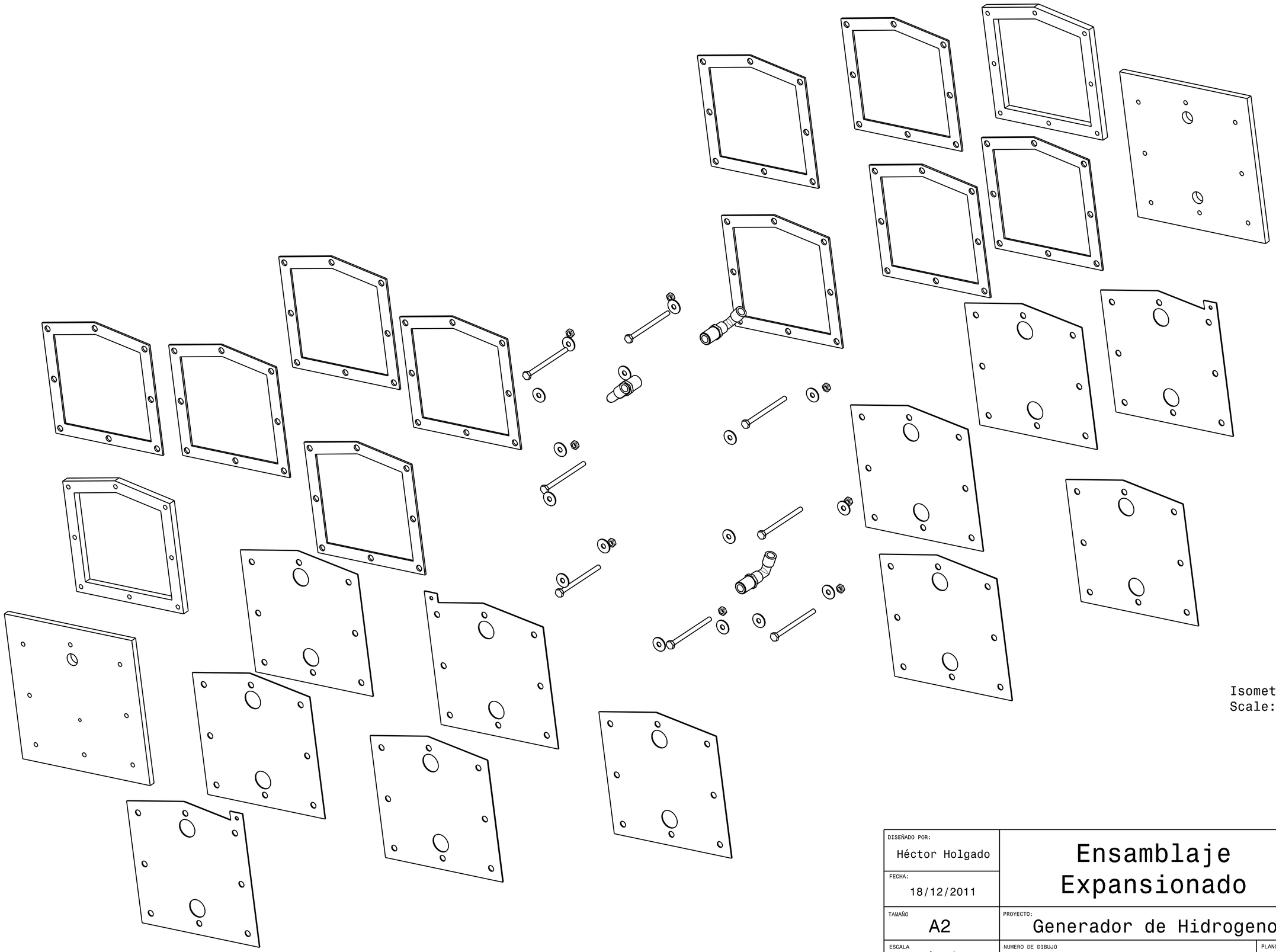
Isometric view
Scale: 1:1



Section view A-A
Scale: 1:1

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Ensamblaje Vista corte	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 008	PLANO 4/5

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

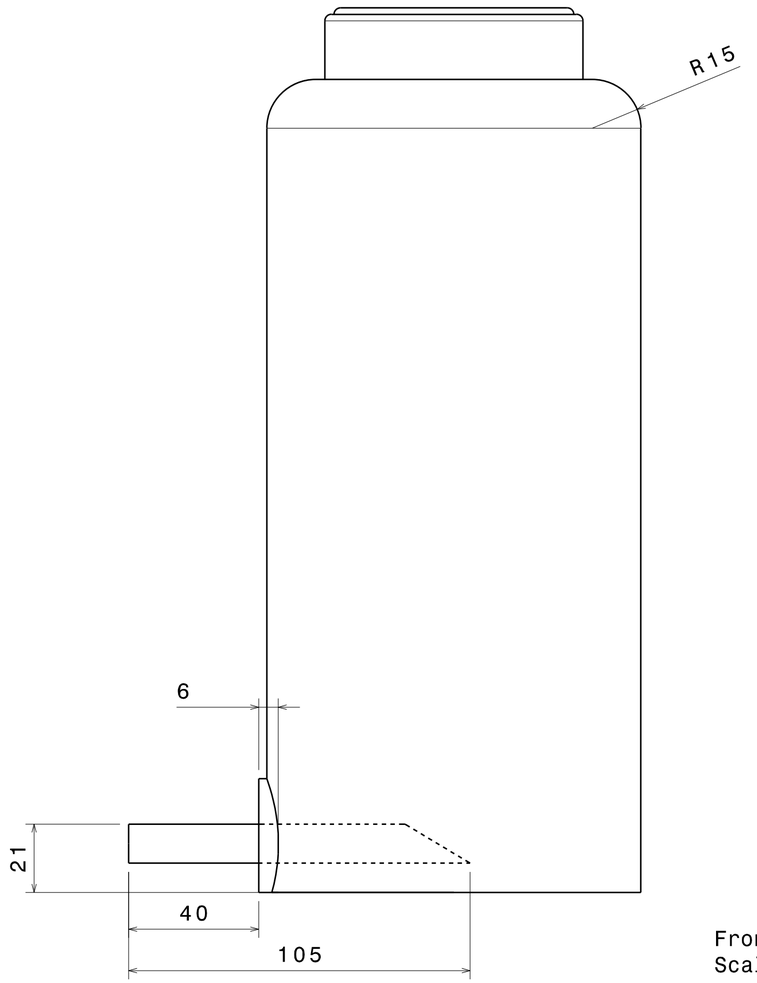


Isometric view
Scale: 1:4

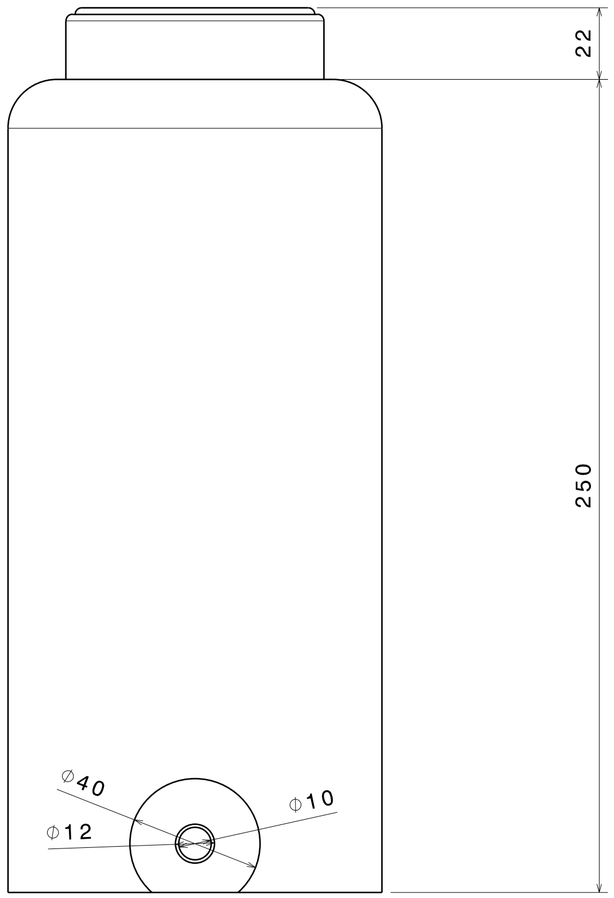
DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Ensamblaje Expansionado	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:4	NUMERO DE DIBUJO 008	PLANO 5/5

I _
H _
G _
F _
E _
D _
C _
B _
A _

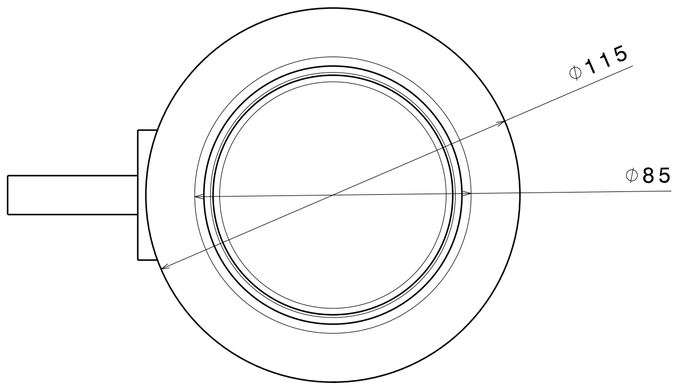
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Front view
Scale: 3:4



Left view
Scale: 3:4

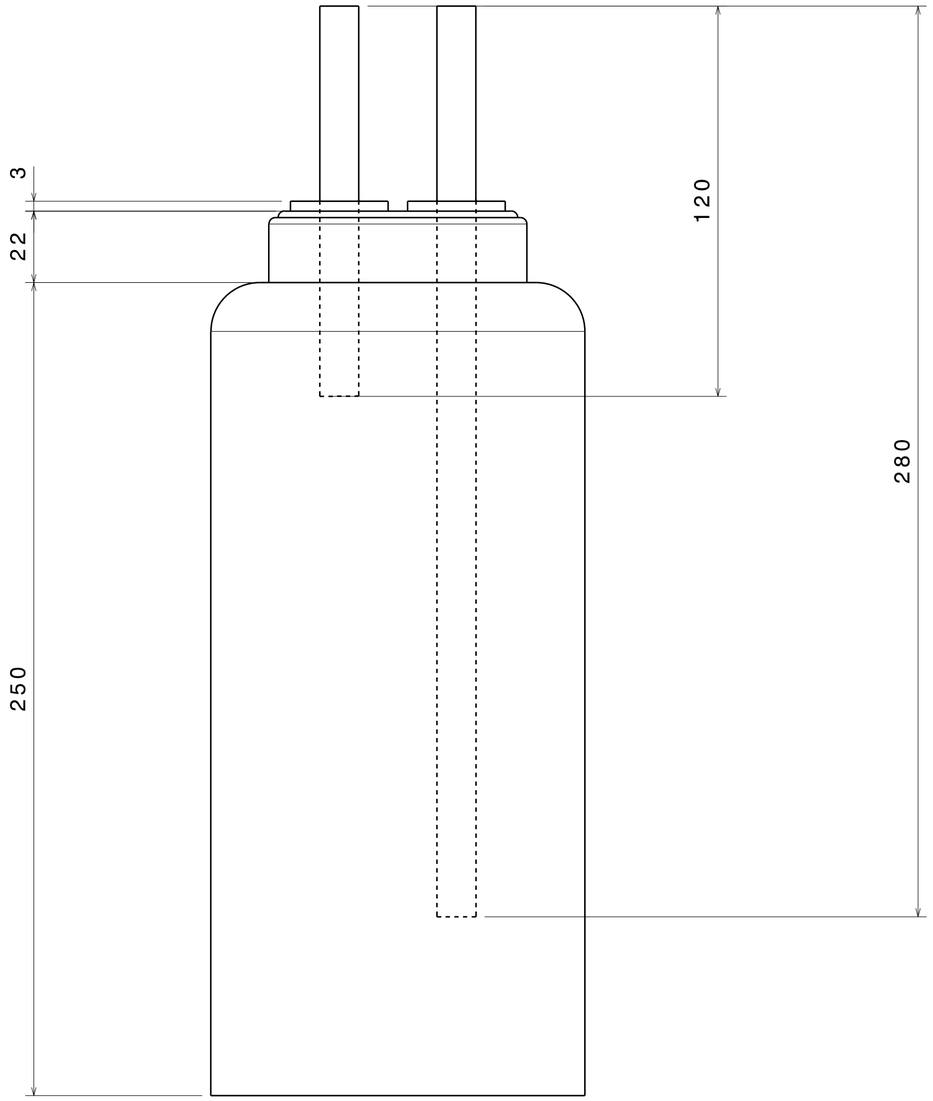


Top view
Scale: 3:4

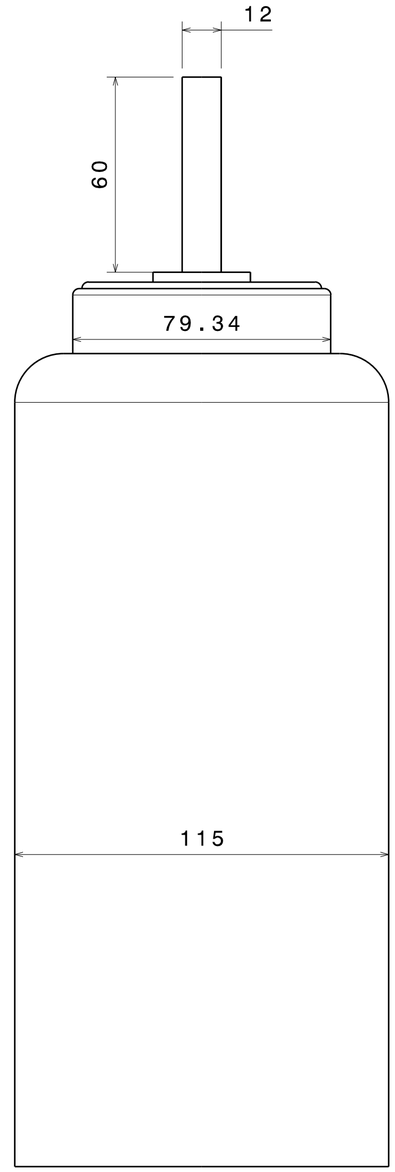
DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Depósito electrolito		
FECHA: 19/12/2011			
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno		
ESCALA 3:4	NUMERO DE DIBUJO 009	PLANO 1/1	

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

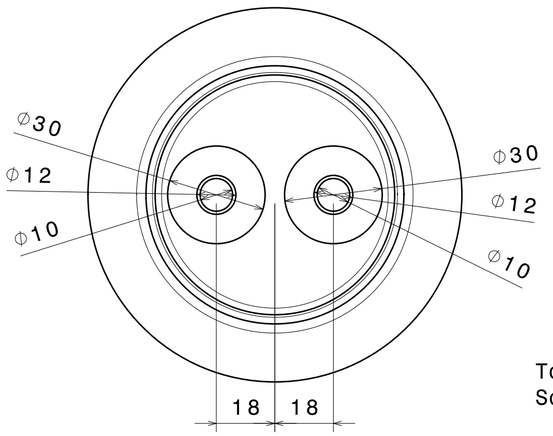
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



Front view
Scale: 3:4



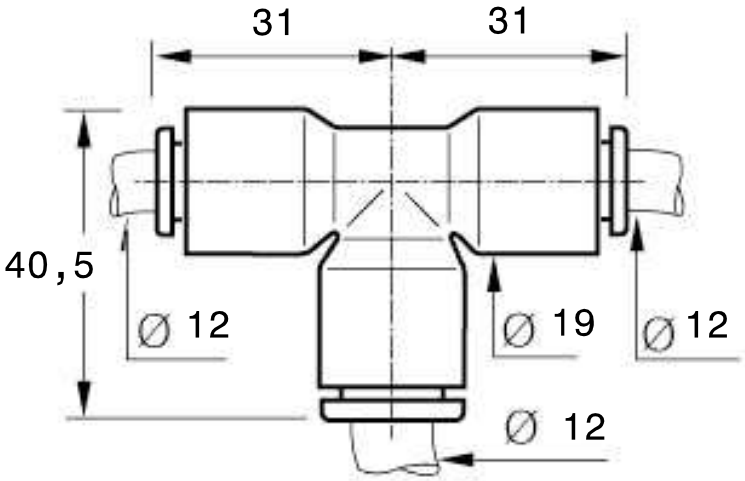
Left view
Scale: 3:4



Top view
Scale: 3:4

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Burbujeador	
FECHA: 19/12/2011		
TAMAÑO: A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA: 3:4	NUMERO DE DIBUJO: 010	PLANO: 1/1

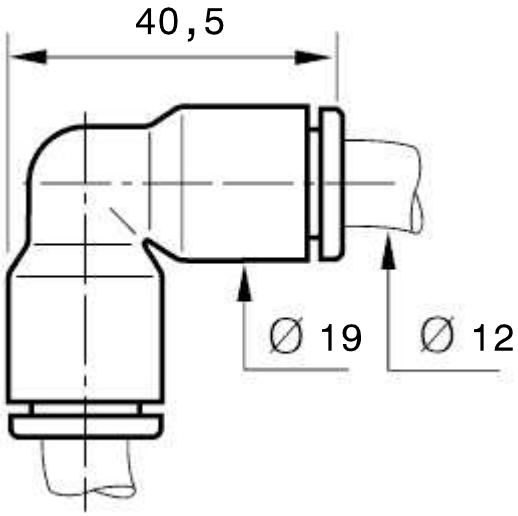
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Imagen

ELEMENTO DISEÑADO POR: Parker Legris	Racor en T	I	_
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		H	_
		G	_
		F	_
		E	_
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	D	_
		C	_
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 011 / PLANO 1/1	B	_
		A	_

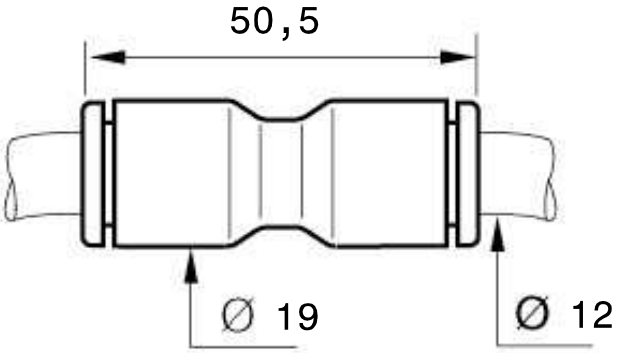
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Imagen

ELEMENTO DISEÑADO POR: Parker Legris	Racor en L	I	_
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		H	_
		G	_
		F	_
		E	_
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	D	_
		C	_
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 012 / PLANO 1/1	B	_
		A	_

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

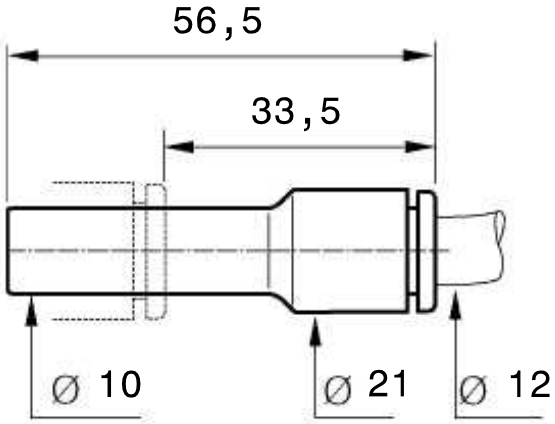


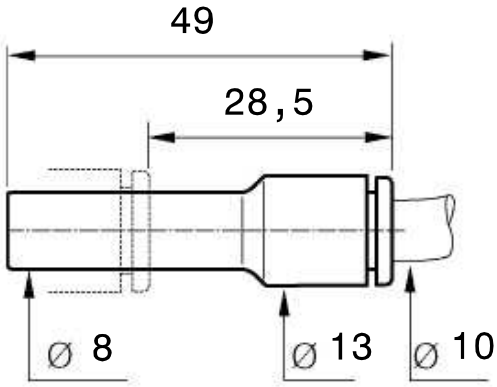
Imagen

ELEMENTO DISEÑADO POR: Parker Legris	Racor recto	
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 013	PLANO 1/1

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

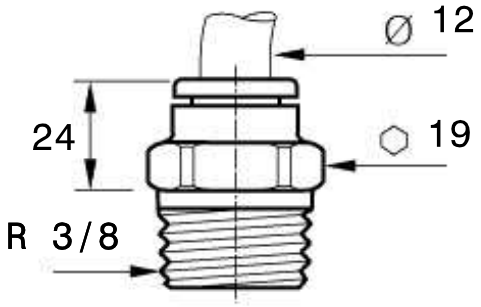


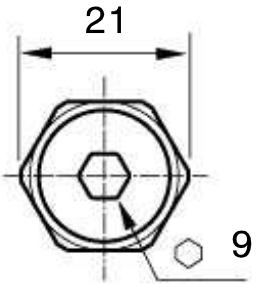


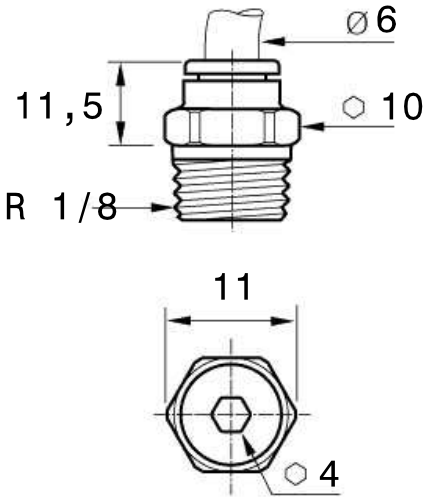
Imagen

ELEMENTO DISEÑADO POR: Parker Legris	Racor reductor	I	_
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		H	_
		G	_
		F	_
		E	_
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	D	_
		C	_
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 014 / PLANO 1/1	B	_
		A	_

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



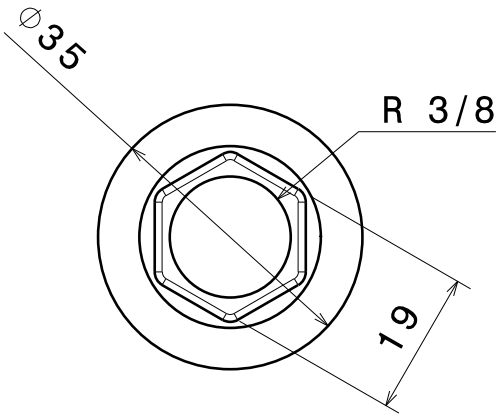




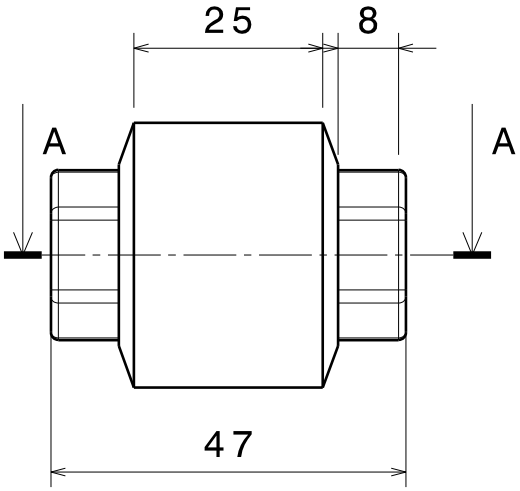
Imagen

ELEMENTO DISEÑADO POR: Parker Legris	Racor adaptador	I	_
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		H	_
		G	_
		F	_
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	E	_
		D	_
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 015 / PLANO 1/1	C	_
		B	_
		A	_

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

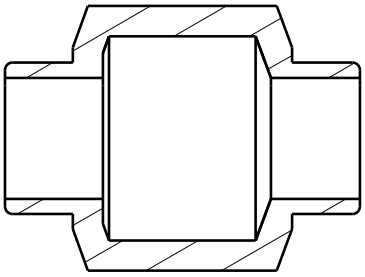


Right view
Scale: 1:1



Front view
Scale: 1:1

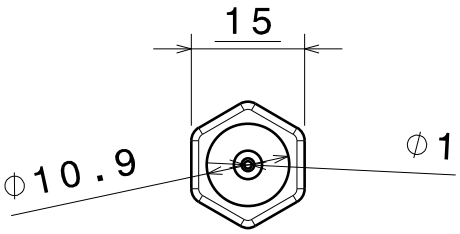
Imagen



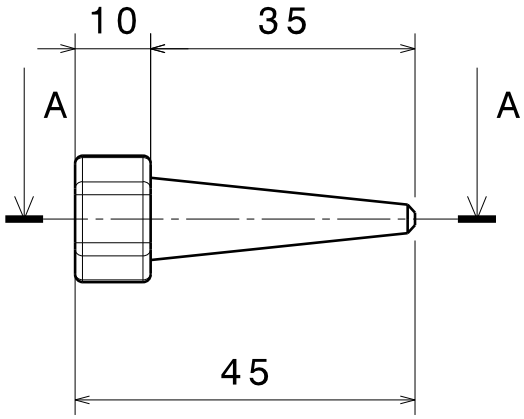
Section view A-A
Scale: 1:1

ELEMENTO DISEÑADO POR: York Itap	Válvula antirretorno	I	_
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		H	_
		G	_
		F	_
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	E	_
		D	_
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 016 / PLANO 1/1	C	_
		B	_
		A	_

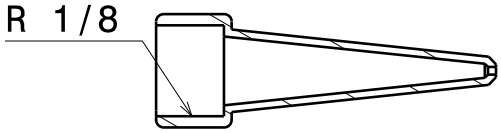
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



Right view
Scale: 1:1



Front view
Scale: 1:1



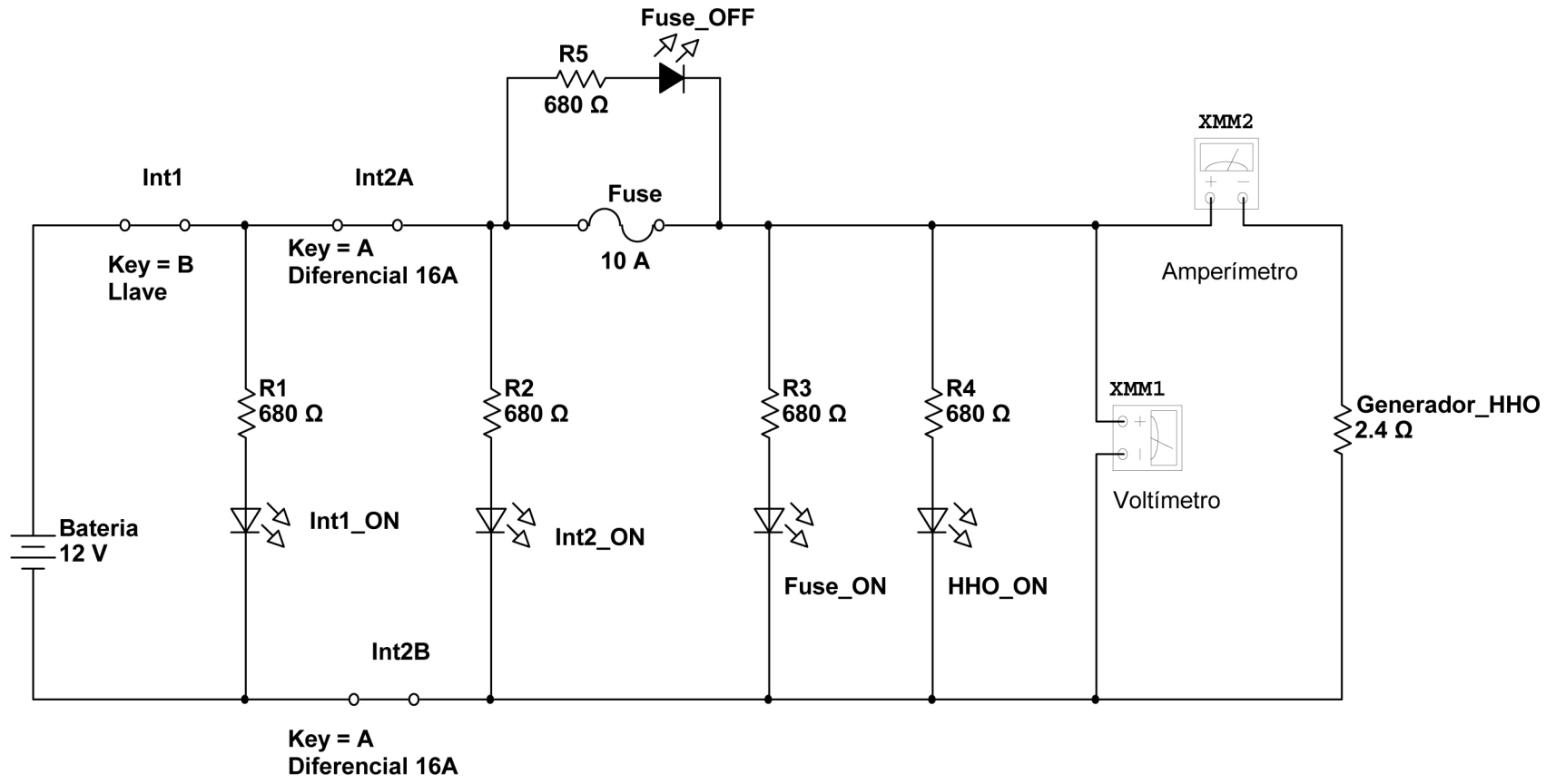
Section view A-A
Scale: 1:1

Imagen

ELEMENTO DISEÑADO POR: Desconocido	Boquilla	
PROYECTO DISEÑADO POR: Héctor Holgado		
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 017	PLANO 1/1

I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_

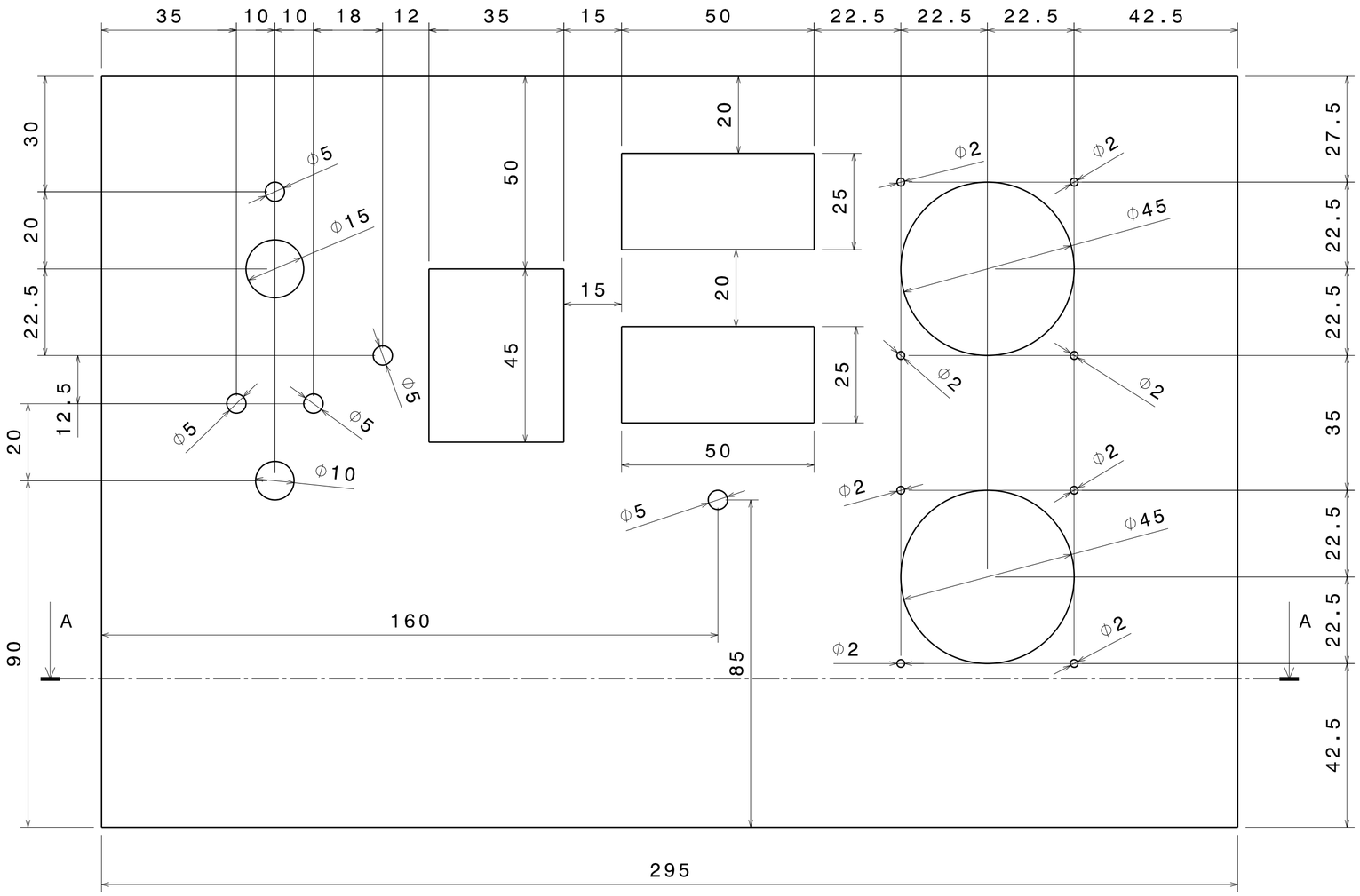
Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.



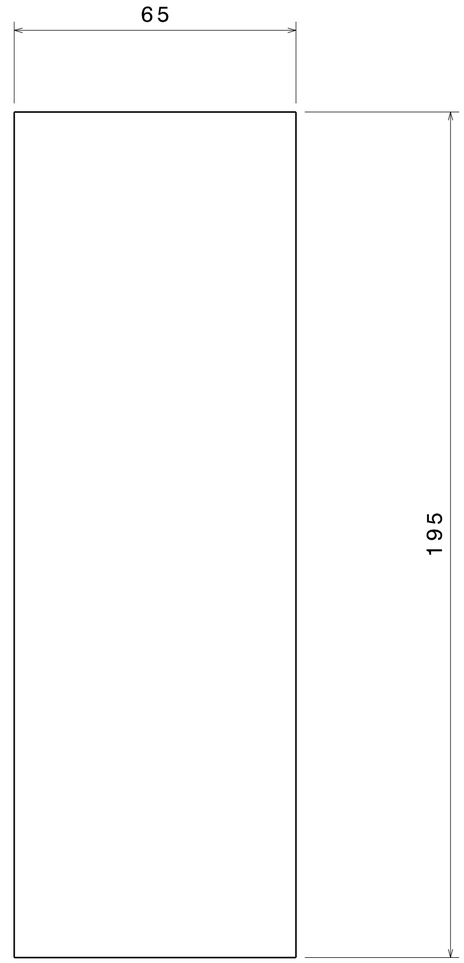
DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Esquema eléctrico	
FECHA: 19/12/2011		
TAMAÑO A4	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 017	PLANO 1/1

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

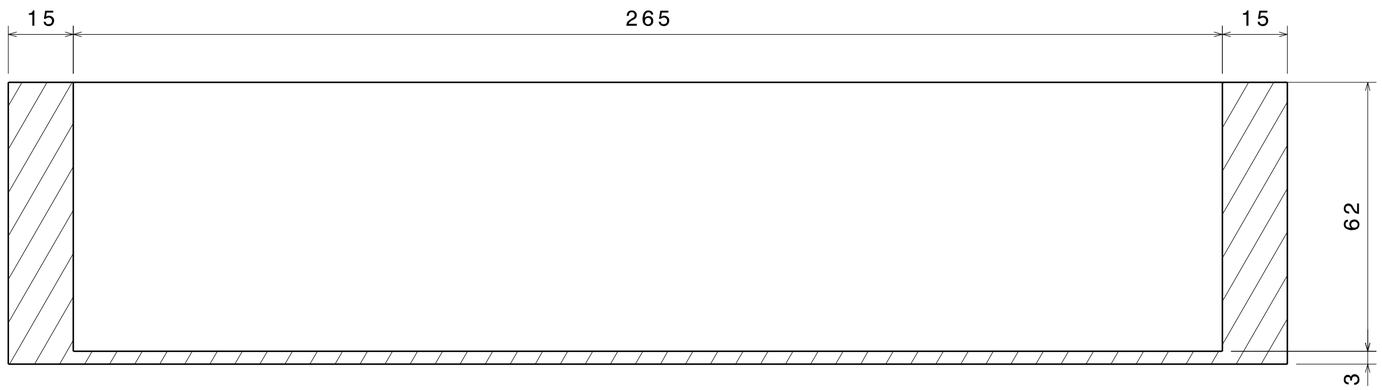
I	_
H	_
G	_
F	_
E	_
D	_
C	_
B	_
A	_



Front view
Scale: 1:1



Left view
Scale: 1:1



Section view A-A
Scale: 1:1

DISEÑADO POR: Héctor Holgado	Caja de control	
FECHA: 18/12/2011		
TAMAÑO A2	PROYECTO: Generador de Hidrogeno	
ESCALA 1:1	NUMERO DE DIBUJO 019	PLANO 1/1

I _
H _
G _
F _
E _
D _
C _
B _
A _

Este dibujo es de nuestra propiedad; no pueden ser reproducido o comunicado sin nuestro consentimiento por escrito.

ANEXO III: Costes

Detalle de los costes de construcción del generador de hidrógeno.

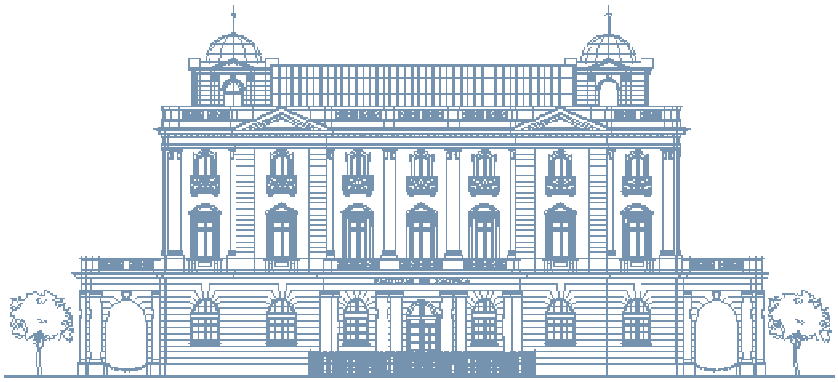
Elementos del sistema		
Nombre	***Cantidad***	***Precio €***
Metacrilato transparente	2	12,1445
Chapas Acero Inox. Corte laser	9	160
Junta Plancha goma 03	1,5	13,464
Tornillos DIN 933 6,8 08x100 Zinca	8	1,6632
Tuercas DIN 934 H de 08 Zinca	8	0,1488
Arandelas anchas DIN 9021 de 08 Z	16	0,6
Tornillos DIN 933 6,8 04x60 Zinca	1	0,12
Tornillos DIN 933 6,8 04x30 Zinca	1	0,1
Tuercas DIN 934 H de 08 Zinca	7	0,082
Pasa tabiques codo T-12 Inst Legris	3	27,8054
Codo Legris 12 mm	7	29,0232
Te Legris 12 mm	1	5,383
Tubo Legris Poliamida 12mm	1	4,3352
Unión doble T-12 Inst Legris	1	3,8938
Reductor tubo Legris 08 12	1	2,7986
Reductor tubo Legris 06 08	1	1,6754
Unión T-12 3/8 Inst Legris	6	21,2286
Válvula retención York 12 = 3/8	3	9,843
Unión T-06 1/8 Inst Legris	1	1,422
Boquilla	1	5,25
Bote plástico transparente	2	3,20
Maderas para caja control	2	2,20
Amperímetro panel analógico	1	11,66
Voltímetro panel analógico	1	10,89
Termómetro digital panel	2	28,60
Hilo línea flexible 2,5mm 10m	1	4,4475
Hilo Rijido 0,28mm Negro	1	0,10
Conexión cerradura llaves	1	7,21
Magnetot. II. 16 A	1	19,095
Conector Bandeja 3 Ctos. Faxton	4	9,44
Porta fusible cristal ABC	2	2,5840
Fusible cristal 10 A	10	0,7948
Led 5mm Azul alto brillo	2	0,82
Led 5mm Rojo alto brillo	4	3,544
Led 5mm Verde alto brillo	4	1,372
Soporte para Led de 5mm	10	2,71
Res. Carbon 1/4w 5-10%	15	0,9

Placa fibra de vidrio pistas	1	2,63
Tubo termo retráctil B11 9,5 mm	1	2,9374
Tubo termo retráctil B11 12,7 mm	1	2,7076
Tubo termo retráctil 4,8mm Rojo	1	0,26
Tubo termo retráctil 4,8mm Negro	1	0,235
Regletas de conexión	1	1,0678
TOTAL NETO		420,3858

Herramientas y consumibles		
Nombre	***Cantidad***	***Precio***
Eje corona starret 14-030mm 6,5 c/muelle	1	10,2480
Corona starret 22 blist	1	9,1760
Tester Multimetro Digital	1	7,0575
Broca HHs-Co DIN 338 10,50 mm	1	5,505
Cola termo fusible	1	8,15
Cinta aislante	2	2,18
Teflón cinta	6	4,5
Pattex juntas	1	6,76
Bridas nylon blister	1	1,1625
TOTAL NETO		54,739

Coste total	
Nombre	***Precio***
TOTAL NETO Elementos del sistema	420,3858
TOTAL NETO Herramientas y consumibles	54,739
TOTAL	475,1248
18% IVA	85,5224
TOTAL IVA INCLUIDO	560,6472

ANEXO IV: Archivos adjuntos

Detalle de los archivos adjuntos en el proyecto.

Referencia de archivos				
Nº	**Nombre**	**Archivo**	**Software**	**Extensión**
01	Tapa delantera	01_lateral_delante.CATPart	Catia V5	.CATPart
02	Tapa trasera	02_lateral_detras.CATPart	Catia V5	.CATPart
03	Electrodo conexión	03_chapa_conexion.CATPart	Catia V5	.CATPart
04	Electrodo neutro	04_chapa_neutra.CATPart	Catia V5	.CATPart
05	Junta	05_junta.CATPart	Catia V5	.CATPart
06	Junta doble	06_junta_doble.CATPart	Catia V5	.CATPart
07	Tornillo	07_tornillo.CATPart	Catia V5	.CATPart
08	Rosca	08_rosca.CATPart	Catia V5	.CATPart
09	Arandela	09_arandela.CATPart	Catia V5	.CATPart
10	Codo pasa tabiques	10_pasatabiques.CATPart	Catia V5	.CATPart
11	Codo	11_codo.CATPart	Catia V5	.CATPart
12	Burbujeador	12_burbujeador.CATPart	Catia V5	.CATPart
13	Depósito	13_deposito.CATPart	Catia V5	.CATPart
14	Válvula de retención	14_valvula_ret.CATPart	Catia V5	.CATPart
15	Boquilla	15_boquilla.CATPart	Catia V5	.CATPart
16	Caja eléctrica	16_caja_circuito.CATPart	Catia V5	.CATPart
17	Esquema general	17_esquema_gen.CATProduct	Catia V5	.CATProduct
18	Generador	18_generador.CATProduct	Catia V5	.CATProduct
19	Plano 01	p1.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
20	Plano 02	p2.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
21	Plano 03	p3.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
22	Plano 04	p4.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
23	Plano 05	p5.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
24	Plano 06	p6.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
25	Plano 07	p7.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
26	Plano 08 1/5	p8_1.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
27	Plano 08 2/5	p8_2.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
28	Plano 08 3/5	p8_3.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
29	Plano 08 4/5	p8_4.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
30	Plano 08 5/5	p8_5.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
31	Plano 09	p9.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
32	Plano 10	p10.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
33	Plano 11	p11.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
34	Plano 12	p12.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
35	Plano 13	p13.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
36	Plano 14	p14.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
37	Plano 15	p15.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
38	Plano 16	p16.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
39	Plano 17	p17.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
40	Plano 18	p18.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
41	Plano 19	p19.CATDrawing	Catia V5	.CATDrawing
42	Dibujo generador 01	dibujo01.jpg	Adobe Photoshop	.jpg
43	Dibujo generador 02	dibujo02.jpg	Adobe Photoshop	.jpg
44	Circuito eléctrico	circuito_electrico.ms11	Multisim 11.0	.ms11
45	Pruebas y ensayos	Ensayos.xlsx	Excel	.xlsx