



Antonio Aldaz Riera

**Electroquímica y pilas de combustible :
de antaño a hogaño**

Índice

Introducción
Evolución histórica
Pilas de combustible
Fundamentos de la pila de combustible
Tipos de pilas de combustible
Descripción y estado actual de la tecnología
Pila de ácido fosfórico
Pila de electrolito polimérico
Pila de metanol-aire directa
Pila de carbonatos fundidos
Pila de óxido sólido
Estado actual de la investigación
Conclusión

Introducción

Es rancia tradición universitaria comenzar el curso académico con una

lección inaugural¹ que debe ser impartida por uno de los miembros de las distintas Facultades, y rancia es también la costumbre de que dicha lección deba ser dictada sucesivamente por el miembro más antiguo, en su acepción burocrática, de entre los catedráticos que componen el claustro de la Facultad.

Veán en ello la causa de mi presencia aquí, y de que el tema elegido aborde aspectos de la Ciencia, en este caso de la Ciencia Química, y no deduzcan conclusiones infundadas sobre la capacidad docente del que les habla que pudieran tornarse en lanzas una vez terminada mi charla.

Hace años, asistí a mi primera apertura de curso en la Universidad de Murcia, y los años transcurridos no han eliminado en mí la emoción y el nerviosismo que siento al comenzar un nuevo año académico. Esto es debido ahora, a la responsabilidad que me invade al enfrentarme con las nuevas generaciones que cada año que acuden a la Universidad en demanda de orientación y enseñanzas que les sirvan para realizar su vocación. Un día, desilusionado por el poco éxito que creía obtener de mis enseñanzas, comenté a mi maestro, el Prof. Juan Sancho, mi incompreensión sobre la finalidad o el objetivo que pretendían los nuevos recién llegados a mi Alma -4- Mater, y sobre todo, la frustración que a veces produce el hecho de que nuestro trabajo no dé el fruto esperado en nuestros alumnos. Su contestación fue: «Entre ellos habrá algunos, pocos o muchos, no lo sé, basta con uno, que llegarán a nosotros con vocación ilusionada, para los cuales el estudio no será una penosa obligación sino una alegre devoción. Estos son los que hacen que el profesor sienta más profundamente su responsabilidad, pues puede ser el culpable de que estas vocaciones se agosten en la rutina de una explicación diaria. El profesor tiene una misión más elevada que la mera enseñanza de una disciplina, tiene que enseñar a crear, a hacer la Ciencia. No puede enseñar aquel que no sepa crear pues si se limita a explicar temas, puede ser sustituido, quizás con ventaja, por la cinta magnetofónica, la película sonora o el ordenador. La mayor satisfacción que le puede caber a un profesor con largos años de docencia, es poder, al cabo de ellos, emulando a Sócrates, levantar su copa por aquellos de sus discípulos que, superándole, le han honrado». ¡Qué razón tenía! Realmente es esta una de las pocas satisfacciones que nos restan al profesorado universitario cada vez más relegado, como estamento, en la organización universitaria, cuya voz es quizás oída² pero no escuchada por aquellos que detentan el poder, político o económico, por aquellos que usan la Universidad como fuente de poder personal o como escenario de su lucha política; por aquellos que no comprenden que una de las misiones más importantes del profesor es su crítica al poder, su actuación como conciencia universitaria recordando siempre, aunque a veces no acierte, y casi nunca sea oída, la misión de la Universidad, su inconformidad permanente, casi vital, con la situación científica de su entorno; con su falta de fondos, tantas veces denunciada, para realizar una enseñanza digna.

No vean en mis palabras resentimiento y amargura, no son pronunciadas movidas por un sentimiento de autocompasión, envidia o lástima, como bien saben aquellos de entre ustedes que me conocen; no voy a unirme al coro de los que añoran la Universidad de hace unos años. No, la Universidad actual está a años luz de aquella, hemos mejorado, qué duda cabe, y

afortunadamente su prestigio social y su calidad se han multiplicado. Vean solamente en mis palabras un deseo de mejorarla, no para mí, sino para nuestros alumnos, y por ende, para nuestra Sociedad que es al fin y al cabo la beneficiaria de nuestros conocimientos.

-5-

Pero déjenme abandonar estos terrenos, a veces movedizos para personas como yo, enseñadas a realizar críticas objetivamente científicas, y trasladarme a otras aguas mejor conocidas por las que intentaré llevarlos para darles una idea de lo que es, y como se ha desarrollado, una parte de la Ciencia a la que he dedicado toda mi vida universitaria movido por su dificultad, y espoleado por su belleza: La Electroquímica.

Abordar aquí y ahora, intentar un tratamiento exhaustivo de ella, rebasaría no solo mi capacidad sino también su paciencia y por ello, tras definirla como aquella parte de la Química que trata de la interacción entre especies cargadas, de su movimiento, y de su paso de una fase a otra y de que en su aplicación técnica da origen a pilas, baterías, células de síntesis, depósitos metálicos, etc. me centraré en el desarrollo histórico de unos sistemas que actualmente despiertan gran interés como son las pilas de combustible, de las que existen esperanzas, y ya realidades, de que sean capaces de producir energía eléctrica a precios competitivos con el de las centrales clásicas y, desde luego, en forma mucho menos contaminante.

Evolución histórica

La investigación de la evolución de la Electroquímica desde sus primeros balbuceos hasta el desarrollo que posee en la época actual, demuestra el poder impresionante de la observación humana y de su capacidad de deducción, virtudes que no son menos características de los artesanos y precientíficos de la antigüedad que de los científicos actuales, equipados con instrumentación altamente sofisticada y típica de nuestra edad tecnológica.

El conocimiento de los procesos galvánicos puede datar de periodos mucho más antiguos de lo que normalmente se cree. Así, los años finales del siglo XVIII y los primeros del XIX, y los nombres de Galvani y Volta, suelen asociarse con la invención de los primeros generadores de corriente continua, pilas eléctricas, que son a su vez generalmente reconocidos como los primeros sistemas electroquímicos.

-6-

Es sólo después de los hallazgos del arqueólogo W. Koning (1938), y de su explicación sobre la utilidad de unas misteriosas vasijas de barro que habían sido encontradas en varios lugares de la antigua Mesopotamia, que se ha llegado al convencimiento de que existe una elevada probabilidad de que las pilas galvánicas hayan sido conocidas en épocas tan lejanas como las fechadas en los años 500 a.C.

Durante las excavaciones en Khujut Rabuah, cerca de Bagdad, Konig

descubrió varias vasijas en cuyo interior se hallaban colocados concéntricamente, y unidos por asfalto, un tubo de cobre y una barra de hierro. En los alrededores se encontraron también otros tubos de cobre y barras de hierro que no parecían haber sido usadas. Koning interpretó el hallazgo como una pila Fe/Cu con electrodos de repuesto, ya que si la vasija se llenaba con un ácido orgánico tal como vinagre, jugo de cítricos, etc. se obtenía una pila que funcionaba de modo análogo a como lo hace una pila de Volta.

Si continuamos dejando volar la imaginación, no exenta de una buena lógica, es posible que los depósitos muy finos de oro que poseían las joyas de la época, y para los que los expertos encuentran muy difícil explicación, pudieran haber sido depositados en un proceso electrolítico con ayuda de esas pilas.

No es tampoco irrealístico suponer que tales células hubieran sido empleadas en aplicaciones médicas ya que los efectos, más o menos beneficiosos, del choque eléctrico, producido empleando las descargas de la raya eléctrica, en el tratamiento de la epilepsia y la migraña, eran ya conocidos en aquella época y fueron posteriormente empleados por griegos y romanos en los siglos II y I a.C.

Aunque este tipo de tratamiento mediante shock eléctrico, pasó de moda en la Edad Media, comenzó de nuevo a hacerse popular en el Renacimiento, y fue investigado intensamente por Luigi Galvani en Bolonia. Galvani, profesor de Medicina en la Universidad de Bolonia, estaba particularmente interesado en el estudio de la «electricidad animal» y en 1780 comenzó una intensa y meticulosa investigación sobre la respuesta del tejido muscular a la electricidad estática.

-7-

La preparación muscular consistía en la espina dorsal, el nervio crural y las ancas de la rana que se diseccionaban del animal. La conexión de la médula dorsal con un máquina de electricidad estática producía una contracción muscular.

Intentaba encontrar la ley existente entre la cantidad de electricidad que circulaba y la fuerza de la contracción. Después de muchos estudios, Galvani se encontró frente a una conclusión inesperada: Las ancas de la rana podían contraerse aunque estuvieran alejadas del campo producido por el generador de electricidad estática. Durante la investigación de este resultado extraño, y a mediados del año 1780, Galvani descubrió otro fenómeno más extraño todavía: Él y sus colaboradores habían comenzado a estudiar los efectos de la electricidad atmosférica sobre las preparaciones de la rana, en la suposición de que existía alguna relación entre las convulsiones que producía en las ancas de la rana el generador de electricidad estática, y la que se producía ocasionalmente por las descargas de la electricidad estática en la atmósfera. Se encontró la analogía esperada, pero también encontraron que las convulsiones se producían sin la existencia de descargas en la atmósfera.

Como él explicó posteriormente en su obra *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* (1791), en un momento determinado de su investigación, colgó en un alambre de hierro diversos preparados de ranas con ganchos de bronce que hacían contacto con la médula espinal, estos preparados, al contacto con el alambre de hierro que mantenía el conjunto

se contraían «no solamente cuando relampagueaba sino también cuando el día estaba sereno». Obtenía resultados idénticos en el interior de la casa cuando colocaba la rana en una plancha de hierro y presionaba la rana con un gancho de bronce³. Las contracciones solo se producían cuando se empleaban metales y no cuando se utilizaban vidrios o resinas. Construyó un arco con dos metales, uno de los cuales tocaba la médula y el otro el músculo del anca de la rana, y comprobó que la intensidad de las contracciones dependía del tipo de metales que empleaba y que éstas no se producían cuando uno de los metales era sustituido por un aislante.

Galvani había descubierto el fenómeno que luego se llamó galvanismo: la producción de una corriente eléctrica por el contacto de dos metales en un ambiente húmedo. Sin embargo, él no lo interpretó de este modo; pensó que, finalmente, había obtenido una confirmación de la sospecha o teoría existente en el siglo XVIII de que los animales poseen en sus nervios y músculos un «fluido sutil completamente -8- análogo a la electricidad ordinaria». Él había jugado a veces con esa hipótesis sin aceptarla, pero creyó que tenía una prueba clara e irrefutable de esa electricidad animal y dedicó todo su esfuerzo a la elaboración cuidadosa de esa teoría.

Galvani explicó que el músculo podía ser comparado a un pequeño vaso de Leyden con carga eléctrica dual. La electricidad animal era generada en el cerebro y pasaba, vía los nervios, al centro del músculo que se cargaba positivamente en relación a la zona externa que era negativa. El equilibrio eléctrico en el músculo, al igual que en el vaso de Leyden, puede romperse uniéndose con un arco el conductor, nervio, y la zona interna del músculo y eso provocaba una violenta contracción.

La reacción a los trabajos de Galvani fue muy intensa aunque algo confusa. Alessandro Volta, profesor de Filosofía Natural en la Universidad de Pavia, y muy conocido por sus investigaciones sobre la electricidad, avaló inicialmente la teoría de la electricidad animal aunque por los años 1792/93 cambió su apoyo por una reserva escéptica. En un artículo publicado en la revista *Philosophical Transactions of the Royal Society*, Volta acepta la teoría de Galvani, pero simultáneamente avanza la tesis de que los metales empleados en los experimentos, cuando son aplicados sobre los miembros húmedos del animal pueden por sí mismos, excitar y separar del equilibrio al fluido eléctrico, y así actuar los órganos del animal sólo en forma pasiva».

A finales de 1793 Volta había cambiado su apoyo a la teoría de Galvani por el apoyo a la suya propia al comprobar, entre otros hechos, que las contracciones se podían originar directamente con una rana entera, simplemente conectado sus ancas y espalda por un arco bimetálico.

Galvani no cede en su teoría y demuestra, junto con su sobrino Aldini, que las contracciones musculares se podían obtener igualmente sin el empleo de metales, conectando directamente el músculo al nervio. Estudia también las propiedades eléctricas de los torpedos y encuentra que las descargas eléctricas se generan en unos órganos análogos a los de los nervios y músculos y ello le afirma en la bondad de su teoría.

Mientras tanto, Volta investiga con gran detalle las experiencias de -9-

Galvani ya que, como físico, estaba muy interesado en su cuantificación: ¿Cómo pueden encontrarse las causas si uno no determina la cantidad y la calidad de los efectos?». Desmenuza las experiencias de Galvani y

demuestra que existen dos efectos distintos: la unión de músculo y nervio por medio de un metal provoca contracciones, pero no como lo había explicado Galvani, ya que era la electricidad quien excitaba el nervio y este al músculo, «no había lugar para la existencia de un vaso de Leyden en el músculo, una electricidad natural fluye constantemente por el cuerpo de la rana y su perturbación por circuitos externos causa las convulsiones». Además, empleó una rana intacta, hecho antinatural para un anatomista como Galvani, y demostró que ésta se convulsionaba cuando se la sometía a una descarga de Leyden, o se le aplicaba entre ancas y espalda un arco bimetálico.

Así, Volta dedujo que, en el segundo caso, era la presencia del arco bimetálico la que producía la electricidad y no el propio animal. La tendencia de los resultados de Volta era reducir cada vez más el dominio de la electricidad animal y ampliar el de la electricidad generada por bimetales. Volta supuso, con gran certeza, que la electricidad estaba generada por el contacto metálico y que un circuito efectivo para la generación de electricidad debía contener al menos un conductor húmedo, el nervio en el caso de la rana, y que la electricidad se debía generar «más que en el nervio, en el contacto metal-conductor húmedo».

La siguiente etapa de Volta fue determinar la fuerza electromotriz, empleando sus palabras, de varias combinaciones de conductores. Confirmó de esta manera, que esta fuerza electromotriz sólo se genera cuando se emplean metales distintos.

Volta descubre rápidamente un modo de multiplicar la electricidad.

Advierte que el apilamiento directo de metales no aumenta la electricidad ya que solo produce la misma fuerza electromotriz que la de los dos discos extremos colocados en el conductor húmedo. Sin embargo, si cada dos conductores metálicos intercala un conductor húmedo, la fuerza electromotriz se multiplica.

Los trabajos de Volta le llevan a construir la primera pila eléctrica probablemente hacia el año 1796 y este descubrimiento debe ser incluido entre -10- los más importantes de la Ciencia. En una carta dirigida al presidente de la Royal Society de Londres, publicada posteriormente en sus *Philosophical Transactions*, y fechada el 20 de marzo de 1800, detalla, con una descripción minuciosa, su pila. Estaba constituida por «discos de cobre, o mejor plata, y estaño, o mejor zinc, distribuidos por igual, separados por un tejido o cartón, impregnado de agua en la que se ha disuelto sal común y dispuestos de una manera especial». A esta «fuente de poder perpetuo» como Volta la describe, la denominó «torpedo eléctrico» al poseer una disposición columnar muy parecida al órgano eléctrico de esta raya.

Por vez primera, los científicos disponían de una fuente capaz de generar corriente continua⁴ en cantidades apreciables.

El efecto inmediato de la carta de Volta se produjo a las seis semanas de su fecha de envío. Antes de que fuera leída formalmente ante la Royal Society, junio 1800, Nicholson y Carlisle habían construido una pila con la que realizaron la descomposición electrolítica del agua, y poco tiempo después, 1807, Davy obtiene por primera vez un metal alcalino por electrólisis.

Casi simultáneamente por tanto, la generación de electricidad y su empleo

en síntesis química, aparecen en el panorama científico de la época, y con ellos empieza el nacimiento de la Electroquímica que comienza a sentar sus bases científicas con los trabajos del inglés Michael Faraday, discípulo de Davy, quién establece las primeras leyes cuantitativas de la electrólisis.

Pilas galvánicas y baterías, jugaron también un papel decisivo en el desarrollo de diversas ramas de la Física tales como la electrodinámica y el electromagnetismo, puesto que se emplearon en el descubrimiento de las leyes de Ampere, Ohm, Joule, Faraday etc.

Debe ser recordado que durante la primera mitad del siglo XIX, los únicos sistemas para la producción de energía eléctrica en cantidades apreciables para su aplicación práctica, eran las pilas electroquímicas. Telégrafo, motores eléctricos, y otros dispositivos, funcionaban con pilas, por lo que en ese tiempo se desarrollaron multitud de nuevas células tales como las de Damell, Bunsen, Grove, Leclanche Jacobi y muchas otras. Fue tal el impulso dado a esta parte de la Electroquímica que, tan pronto una nueva versión -11- aparecía con resultados apreciables, se organizaba su producción en masa en tan corto tiempo que resulta asombroso, incluso contemplado este fenómeno industrial bajo la óptica actual. Así por ejemplo, de la pila desarrollada por Leclanche, que es hoy en día la pila más vendida, se fabricaron en los tres primeros años más de 20.000 ejemplares.

No es extraño por tanto, que a mediados del siglo pasado François Arago dijera sobre los trabajos de Volta: «Al comienzo del año 1800 (la fecha de un descubrimiento tan importante no puede ser dejada en el olvido) como continuación de algunos planteamientos teóricos, el ilustre profesor imagina formar una larga columna superponiendo sucesivamente un disco de cobre, un disco de zinc y un disco de trapo húmedo, con la escrupulosa atención de jamás invertir este orden. ¿Qué esperar a priori de tal combinación?. Y bien, no dudo en decirlo, esta masa en apariencia inerte, esta mezcla extraña, esta pila de tantas parejas de metales diferentes separados por un poco de líquido, es, en cuanto a la singularidad de sus efectos, el instrumento más maravilloso que jamás ha inventado el hombre, incluyendo el telescopio y la máquina de vapor».

No mucho tiempo después de los trabajos electroquímicos de Faraday, Grove, 1842, un jurista que se había sentido atraído por la electroquímica, y que ya había inventado una pila galvánica, demuestra que el experimento de Nicholson y Carlisle de la descomposición electroquímica del agua, podía ser invertido y obtener así energía eléctrica a partir de la combinación entre hidrógeno y oxígeno, combinación que se realizaba de forma continua en una célula electroquímica. Se demuestra por vez primera, que las limitaciones que poseían, en cuanto a su duración, los tipos de pila basados en el ingenio de Volta, podían ser eliminadas y obtener energía eléctrica sin interrupción. De hecho, Grove empleó su célula en 1842 en combinación con las primitivas lámparas incandescentes para alumbrar la sala de conferencias de la Royal Society.

La «batería voltaica gaseosa», tal como la denominó para distinguirla de su pila galvánica, consistía en una serie de tubos (100) de vidrio cerrados por un extremo y con el otro introducido en una disolución ácida. La parte superior de los tubos contenía hidrógeno y oxígeno alternadamente

y tenían hojas de platino platinizado conectadas en serie y en contacto con las fases líquida y gaseosa. Cuando Grove encontró que su batería generaba la energía -12- necesaria como para descomponer el agua, rápidamente comprendió la belleza intrínseca de tal fenómeno: «Esto es, a mi entender, el efecto más interesante de la batería, exhibir tal bello ejemplo de la correlación de las fuerzas de la Naturaleza». Además de ello, Grove se apercebó de la naturaleza heterogénea del proceso electroquímico al intentar explicar la causa del bajo rendimiento de su batería. Se necesitaba «una notable superficie de acción... Es obvio que si el platino toca el líquido, éste se distribuirá sobre la superficie por acción de la capilaridad y se expondrá así una gran área a la acción de la atmósfera gaseosa».

El descubrimiento de Grove constituye el principio del desarrollo de las pilas de combustible hidrógeno-oxígeno de las cápsulas espaciales Gemini y Apolo.

El avance en este terreno no se detiene. Como ya se ha señalado, Leclanché en 1867 inventa la pila zinc-dióxido de manganeso que, con ligeras modificaciones, es la conocida pila seca actual. Sin embargo, el principal problema de las pilas desarrolladas en esta época, con excepción de la de Grove, es su carácter irreversible no pueden ser recargadas, por lo que una vez que se consume el material activo, la pila es, desgraciadamente, tirada literalmente a la basura.

Los trabajos de Planté en 1860, se dirigen a solucionar este problema y así desarrolla el acumulador de plomo que con diversas variantes, pero sin modificaciones básicas, todos llevamos como parte del sistema de arranque de nuestro automóvil: «En una nota que he presentado a la Academia, he indicado la ventaja de sustituir platino por plomo en el sistema de Jacobi. He llevado a cabo estudios especiales que indican que la fuerza contraelectromotriz obtenida por inmersión en agua acidulada, es dos veces y media mayor que la obtenida empleando platino platinizado, y seis y media veces superior a la obtenida con platino normal. Esta fuerza electromotriz, aunque producida por placas del mismo material, es muy superior a la que originan los elementos de Grove y Bunsen, debido a la gran afinidad del peróxido de plomo por el hidrógeno. Esta pila secundaria es muy fácil de construir... Tomando láminas finas de plomo se puede obtener una gran superficie en un espacio muy pequeño. Los nueve elementos que he construido están contenidos en una caja cúbica de 36 cm de lado... dando potentes descargas de electricidad».

-13-

Aunque Grove había abandonado sus trabajos sobre su pila de combustible al no poder competir con las más eficientes pilas galvánicas, Ludwig Mond y Charles Lange en 1889, repiten los trabajos de Grove y por primera vez introducen en la lexicografía científica el término pila de combustible. Intentando hacer un sistema más práctico, sustituyen, el oxígeno por el aire y el hidrógeno por gas industrial, y advierten de la importancia de evitar la introducción total del electrodo en el ácido sulfúrico y reducir así la superficie del triple contacto entre gas, electrolito y metal. Evitan el problema empleando un electrolito en forma cuasi sólida introduciéndolo en una matriz de asbesto. Consiguieron construir un prototipo de 1,5w que consideraron como no práctico por el elevado coste

del platino, por el envenenamiento que se producía en este por la presencia de monóxido de carbono en el gas industrial, y por la elevada caída óhmica en el separador.

Sin embargo, el avance electroquímico no se circunscribe a las baterías. Siguiendo los trabajos de Davy sobre electrólisis de sales fundidas, Hall y Heroult descubren independientemente, que el aluminio metálico podía ser obtenido por electrólisis de criolita fundida, y desarrollan el método actual de síntesis de aluminio.

Davy describe en 1825, lo que seguramente puede ser el primer experimento de protección catódica: «La comisión de Lores del Almirantazgo, con su celo usual por promover el interés de la Armada por la aplicación de la Ciencia, me ha dado permiso para comprobar los resultados prácticos de mis trabajos en barcos de guerra, y parece muy razonable esperar, a menos que alguna causa interfiera que nuestro saber actual desconoce, que la adición de pequeñas masas de zinc o lo que es más barato, de hierro, puestas en contacto con el cobre que cubre los cascos de los navíos, prevenga enteramente su corrosión. Además, como la electricidad negativa no es favorable a la vida vegetal ni animal y origina el depósito de magnesia, una sustancia altamente nociva para la creación de incrustaciones vegetales sobre el casco de cobre, hay grandes y razonables expectativas de que, a la vez, se mantenga el casco de los navíos limpio, lo que es muy importante tanto en comercio como en guerra».

Sin embargo, todo este extraordinario desarrollo de la Electroquímica se vio frenado por el hecho de que los conocimientos básicos no avanzaban a la misma velocidad que lo hacían las aplicaciones industriales. Ello -14- era debido al poco interés mostrado por la comprensión íntima del fenómeno electroquímico ya que, al no existir procesos competitivos a los desarrollados electroquímicamente, y al ser éstos altamente rentables, no se comprendía por la mayoría la razón o el por qué de este tipo de estudios.

Lamentablemente para la Electroquímica, a uno de los temas que más vigor demostraba, generación de energía eléctrica, pronto le salió un fuerte, y por ahora invencible, competidor, la generación de energía eléctrica empleando primero la dinamo y luego el alternador.

A la posibilidad de empleo de la energía eléctrica como fuente de tracción le nacieron también dos enemigos: las máquinas térmicas de vapor y el motor de explosión, y en el momento crucial de decisión, y a pesar de opiniones científicas de peso tan considerable como la de Ostwald, la industria del automóvil decide el abandono de la energía eléctrica como fuente motriz. Sin embargo, el automóvil colaboró también al desarrollo electroquímico. El arranque manual de los motores de explosión no convence excesivamente. Se desarrolló así la batería de plomo de Gaston Planté, cuya alta reversibilidad permite numerosas cargas y descargas. Con el advenimiento de nuevos motores más potentes y el mayor consumo eléctrico de los nuevos sistemas auxiliares, las exigencias para un mejor comportamiento de la batería de plomo se multiplican y la investigación aplicada desarrolla nuevos modelos.

Mientras tanto, el desarrollo de la sociedad y la llegada de la electrónica, provoca la necesidad de sistemas autónomos y ligeros de producción de energía eléctrica, por lo que continúa el interés de los

científicos por la mejora y desarrollo de nuevas pilas y baterías. Quizás para dar una idea de la importancia de estos sistemas en la sociedad actual, debemos indicar que la potencia total de todas las baterías y pilas existentes es superior a la potencia mundial de producción de energía eléctrica.

En la actualidad, la demanda de fuentes autónomas de energía eléctrica -15- no solamente ha aumentado, sino que se ha extendido hacia otras áreas de empleo que exigen nuevas características a las pilas y acumuladores y que van, desde centrales de nivelación de consumo y de emergencia, con potencias del orden de megavatios, hasta las pilas de los estimuladores cardiacos, con potencias de microvatios.

Sin embargo, la cantidad limitada de energía que puede ser producida por una pila o almacenada en un acumulador, no satisface algunas necesidades en las que es imprescindible un suministro continuo. Este hecho, y la política mundial, hacen renacer otra vez, finales de los 60, el interés en las pilas de combustible en cuya historia y estado actual vamos a incidir con mayor profundidad.

Pilas de combustible

Nos habíamos quedado en la pila de Mond-Langer desechada por su bajo rendimiento y elevado coste. A ella siguió poco después, 1896, la de W. Jacques, desarrollada para usos domésticos y que también poseía bajos rendimientos.

El desarrollo de la Termodinámica en la última mitad del siglo XIX, aumentó el conocimiento de la relación existente entre las energías electroquímica y térmica, lo que indujo a Ostwald en 1894 a concluir que el modo de resolver el problema de la obtención de energía barata debía ser encontrado en la Electroquímica y a indicar que si se descubriera una pila galvánica capaz de producir eficientemente energía eléctrica directamente de carbón y aire, podría nacer una revolución técnica: «La Edad de la Combustión Electroquímica» que no solo produciría energía más barata, sino que la generaría de modo mucho más limpio sin contaminar el medio ambiente.

W. W. Jacques desarrolló en 1895, lo que parece ser la primera pila de gran potencia, 1,5Kw, compuesta por unas 100 células elementales a la que siguió otra de 30Kw.

-16-

Aunque durante la primera mitad del siglo XX se realizaron varios intentos de desarrollo de pilas capaces de trabajar directamente con carbón, el desconocimiento de las bases del proceso electroquímico fue la causa de que ninguna de ellas tuviera éxito.

Uno de los primeros en comprender la importancia del aumento de la velocidad de la reacción electrodica fue Baur en 1921, quien construyó una pila de carbonato fundido que operaba a 1000° C empleando una ánodo de carbón y un cátodo de cobre. Aunque la idea de Baur tenía una sólida base científica, fue incapaz de eliminar la corrosión y los problemas de resistencia de materiales inherentes a la elevada temperatura de trabajo.

En este mismo período se introdujo la máquina de combustión interna cuyos fundamentos teóricos fueron mucho mejor comprendidos, dada su mayor simplicidad, que los de la cinética electroquímica.

Se ha indicado que la falta de progreso en la comprensión de la cinética electroquímica y de la electrocatalisis durante la primera mitad del siglo XX, ha sido debida a que se intentó aplicar la termodinámica reversible a un proceso que es intrínsecamente irreversible: el paso de corriente neta por una interfase electroquímica.

J. O'M Bockris ha acuñado con gran éxito la expresión «hito nernstiano» y ha ido tan lejos en sus críticas como para achacar a la termodinámica reversible la existencia de las máquinas de combustión interna, muy ineficientes y contaminadoras.

Sea cierta o no su aseveración, si cabe decir que en 1915 existían más vehículos eléctricos que ahora.

El primer gran proyecto sobre pilas de combustible que alcanzó éxito, se realizó en 1932 por Francis Bacon, ingeniero asociado con la Universidad de Cambridge y descendiente del famoso filósofo del mismo nombre. Bacon supuso, con muy buena lógica, que el empleo de platino haría prohibitiva cualquier pila de combustible por lo que, para emplear materiales más baratos, cambió el medio ácido por básico y empleó níquel como material electroquímico. Aparte de ello, pensó que un aumento de la temperatura y de la presión -17- aumentaría la actividad electrocatalítica del níquel.

Después de más de veinticinco años de investigación, en agosto de 1959 puso de manifiesto el éxito de sus ideas con la construcción de un sistema de 5Kw capaz de hacer circular un camión de dos toneladas de peso. En Octubre del mismo año, H. K. Ihrig construyó en los Estados Unidos un tractor con un potencia de 20 HP.

En 1964, y bajo contrato para General Dynamics, Allis-Chalmers desarrolla un pila de 0,75Kw para mover un submarino personal de investigación que empleaba como combustible hidracina y como comburente oxígeno gaseoso. Rápidamente se descubrió las numerosas ventajas que ofrecía una pila de combustible hidrógeno-oxígeno como sistema energético para los vuelos aeroespaciales. Entre ellas destacaba la independencia de la luz solar, al contrario de los que sucede con los paneles solares que obligan a que los satélites de órbita baja necesiten baterías de almacenamiento para los periodos de oscuridad.

Además, las pilas de combustible tienen una eficiencia alta, lo que origina una baja emanación de calor, y pueden producir agua potable como producto final. La duración de las misiones espaciales, 7-14 días, era demasiado grande como para que la producción de energía eléctrica pudiera ser encomendada a las baterías primarias no recargables, pero suficientemente corta como para hacer utilizable otras fuentes energéticas distintas de las células solares. Como resultado de todo ello la NASA (National Aeronautics and Space Administration) decidió emplear las pilas de combustible en sus proyectos espaciales y desarrolló un extenso programa de investigación en unión de Universidades y empresas privadas. A primeros de los 60, General Electric desarrolla la pila de electrolito sólido polimérico que aunque de baja potencia, 1 Kw, generaba también el agua necesaria para la vida a bordo. A partir de aquí el desarrollo comienza a acelerarse. Las ideas y conceptos de Bacon son desarrolladas

por la Pratt and Whitney Division of United Aircraft Corporation (actualmente United Technologies Co.) para su empleo en el espacio. La pila se aligera de peso manteniendo unas eficiencias de 0.15 A/cm² a 0,85V y constituye la fuente energética en la misión lunar Apolo.

-18-

La actividad en la investigación relativa a las pilas de combustible se aceleró extraordinariamente durante los años 60 por la enorme cantidad de fondos dedicada al proyecto aeroespacial por el gobierno americano (no se debe olvidar que los proyectos Apolo y Gemini basaban la obtención de energía eléctrica y agua en la pila de combustible hidrógeno-oxígeno y que los proyectos soviéticos debían utilizar sistemas parecidos).

A principio de los 70, los principales problemas y conclusiones que existían habían sido razonablemente bien definidos y eran:

1.- El hidrógeno se reconocía como el único combustible realmente efectivo para el funcionamiento práctico de una pila. Los hidrocarburos y alcoholes tenían una actividad muy baja aún empleando cantidades exageradas de catalizadores (metales preciosos de alto precio, platino, paladio). Los reactivos tipo hidracina era exageradamente energéticos (inestables) como para ser empleados en sistemas comerciales.

Para ser utilizables comercialmente, las pilas de combustible debían ser capaces de funcionar con reactivos baratos y fáciles de manejar, tales como el gas natural, metano, y otros derivados ligeros del petróleo. Dado que estos reactivos envenenaban los catalizadores, debían ser transformados en hidrógeno por reformado químico, lo que encarecía los sistemas.

2.- Las pilas de combustibles que manejan electrolitos líquidos solo funcionan con catalizadores extremadamente caros como el platino, que se requiere en cantidades muy elevadas. A mediados de los 60 estas cantidades eran del orden de ¡0.5 Kg por Kw! Mientras que esto podía ser tolerable en aplicaciones aeroespaciales o militares, es completamente inaceptable para un uso comercial.

3.- Dada la juventud tecnológica de las pilas de combustible y la dificultad de los problemas de electrocatálisis básica que existían, deberían transcurrir del orden de diez a veinte años antes de que pudieran ponerse en el mercado pilas de combustible lo suficientemente económicas como para poder competir con otras fuentes energéticas.

El efecto combinado del convencimiento del mundo industrial de la inexistencia -19- de una inmediata aplicación comercial, junto con la disminución del presupuesto espacial y militar de los Estados Unidos (verdadero impulsor hasta entonces de esta investigación), fueron desastrosos para el desarrollo de las pilas de combustible y en 1971 se rumoreaba que las pilas de combustible eran otra tecnología, como la magneto-hidrodinámica, que debería ser desechada.

En los 80 se renovó otra vez el interés en la pilas de combustible principalmente en los Estados Unidos y Japón. Las causas de este renovado interés fueron:

1.- Los Gobiernos americano y japonés vuelven a estar interesados en el desarrollo de las pilas de combustible como resultado de las crisis energéticas y de la posible evolución de los precios del petróleo. Su escalada durante el año 74, la aparición de nuevas leyes antipolución cada

vez más restrictivas, y el nacimiento de una filosofía del aprovechamiento más eficaz de las fuentes energéticas, renuevan el interés sobre las pilas de combustible.

2.- Como resultado, se crean grandes programas en Japón y Estados Unidos para el desarrollo de pilas de combustible a los que no tarda en unirse Europa.

Dado que la eficiencia de las pilas de combustible es casi independiente del tamaño de las mismas, y puesto que poseen muy bajos niveles de contaminación acústica y química, su empleo como pequeñas unidades de generación es especialmente eficaz. Sin embargo, irónicamente, se están desarrollando antes sistemas de varios megavatios en Japón.

3.- Gracias a los estudios básicos, se comprende mejor el funcionamiento de las pilas y se ha logrado una disminución apreciable en la cantidad de electro catalizador empleado, que ha pasado de 25 Mg/cm² a 0,5 Mg/cm² o menos, siendo el coste actual de unos 100 \$/Kw, muy inferior a los 10000 \$/Kw de los años 60.

4.- Los problemas iniciales originados por la corta vida que poseía la pila de ácido fosfórico, han sido resueltos. El mecanismo de degradación del catalizador es conocido y se han logrado plantas con tiempo de vida de -20- 10000 horas, previéndose una vida operativa de, al menos, 40000 horas (algunos modelos pequeños han funcionado durante 100000 horas).

Fundamentos de la pila de combustible

En su explicación más elemental, una pila de combustible es un sistema que convierte la energía química de los reactivos (un combustible y un oxidante) en energía eléctrica de bajo voltaje. Como las familiares pilas secas o los acumuladores de plomo, la pila de combustible logra esta transformación mediante una reacción electroquímica, pero dado que normalmente el oxidante es aire u oxígeno, que el producto que se oxida no constituye la estructura de la pila y que ambos compuestos pueden suministrarse ininterrumpidamente, la producción de energía eléctrica durará lo que lo haga el aporte de reactivos.

Puesto que, normalmente, se emplea oxígeno o aire como uno de los reactivos, y en el ánodo se produce una reacción de oxidación, el proceso global es aparentemente la oxidación por oxígeno de un compuesto (combustible) en una reacción de combustión y éste es el origen de tan poco agraciado nombre.

Visto como un mero sistema de producción energética, una pila de combustible realiza la misma función que una pila galvánica (pila manganeso-zinc por ejemplo) o de una batería de plomo en descarga. Sin embargo, el diseño y la ingeniería que posee una pila de combustible es totalmente diferente de las de los sistemas indicados.

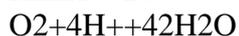
Así, una pila manganeso-zinc debe ser desechada cuando se agote su comburente, dióxido de manganeso, o su combustible, zinc. De igual forma, un acumulador de plomo debe ser recargado periódicamente con ayuda de una fuente energética externa, mediante la cual, los productos de reacción son transformados otra vez en reactivos.

-21-

En el caso de una pila de combustible, los reactivos son almacenados fuera de la zona de producción de potencia, los electrodos, que idealmente deben permanecer estables y deben mantener su actividad electrocatalítica.

La conversión electroquímica de la energía química en trabajo útil posee un rendimiento intrínseco muy superior al de las máquinas térmicas, cuyas limitaciones en rendimiento ya fueron reconocidas por Sidi Carnot, su creador, desde el mismo momento de su nacimiento, ya que en su trabajo, «Reflexions sur la puissance motrice du feu», indica que el rendimiento máximo de los sistemas térmicos varía entre el 40 y el 45%. Dado que una pila de combustible convierte directamente la energía eléctrica en trabajo, sin necesitar un ciclo de Carnot, su rendimiento no se ve limitado por éste y, teóricamente, puede llegar al 100% (Esta fue la razón por la que durante los años 60 y 70 se pensó que las pilas de combustible eran la solución energética adecuada).

Una pila de combustible, y tomaremos como ejemplo paradigmático de ellas la de hidrógeno-oxígeno, funciona oxidando hidrógeno en un electrodo, ánodo, y reduciendo oxígeno en el otro, cátodo, de acuerdo con el esquema:



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

Ánodo y cátodo están constituidos por un material carbonoso poroso catalizado por un metal, típicamente platino en su versión ácida. Los electrones abandonan el ánodo, realizan un trabajo eléctrico y retornan al cátodo.

-22-

Tipos de pilas de combustible

A lo largo de sus, aproximadamente, 150 años de vida, se han desarrollado numerosos tipos de pilas de combustibles y dado que la temperatura ejerce una influencia decisiva en el comportamiento de la pila, ya que disminuye los sobrevoltajes de transferencia de carga y la caída óhmica, emplearemos este parámetro para hacer una clasificación de ellas.

TEMPERATURA BAJA.- (<200° C).

Hidrógeno-oxígeno (aire), medio alcalino (65-160° C).

Hidrógeno-oxígeno (aire), medio fosfórico (175-200° C)

Hidrógeno-oxígeno (aire), electrolito polimérico (120° C)

Metanol-oxígeno (aire), medio ácido. (65° C)

TEMPERATURA MEDIA.- (200-700° C).

Hidrógeno (CO)-oxígeno (aire), medio carbonato fundido.

TEMPERATURA ALTA.- (>750 C).

Hidrocarburos, compuestos orgánicos, CO-oxígeno (aire).

óxido sólido conductor electrolítico. (900-1000° C).

Aparte de la temperatura, otra posible clasificación podría hacer uso de que la pila emplee o no el combustible en forma directa o indirecta. En estas últimas, este combustible, normalmente hidrógeno, se obtiene por

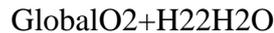
reformado de un compuesto orgánico.

-23-

Descripción y estado actual de la tecnología

PILA HIDRÓGENO-OXÍGENO ALCALINA.

Es este, el sistema más prometedor para las aplicaciones espaciales. Las reacciones son:



Los sistemas alcalinos operan a temperatura ambiente y tienen los voltajes mayores, a igual densidad de corriente, de todas las pilas de combustible. Pueden ser construidas con carbón y catalizadores, ambos de bajo coste. Dado que suelen operar con aire, es necesario eliminar el dióxido de carbono para evitar la carbonatación del electrolito. Además, y puesto que emplean un sistema de recirculación de líquido, el tratamiento de este y su acondicionamiento pueden ser realizados con facilidad.

El hidrógeno puede ser obtenido por reformado del gas natural absorbiendo el dióxido de carbono en una amina. Desgraciadamente, este sistema de absorción es difícil de adaptar en sistemas pequeños y en este caso se emplea directamente hidrógeno.

Esta pila, alimentada con hidrógeno y oxígeno puros provenientes de la gasificación de estos gases licuados, ha sido la fuente de potencia que se empleó en los proyectos espaciales norteamericanos desde el proyecto Apolo hasta los transbordadores actuales. El proyecto lunar Apolo empleó células alcalinas trabajando a 200° C y con electrodos porosos de níquel muy catalizados con metales nobles. Las últimas lanzaderas espaciales emplean electrodos de carbón catalizados por Pt/Pd como ánodos y electrodos de níquel poroso catalizado por Au/Pt como cátodo.

Esta pila de combustible está considerada como el sistema más avanzado -24- actualmente aunque un sistema aún más sofisticado, el Advance Lightweight Fuel Cell Powerplant, está siendo desarrollado por la NASA, junto con United Technologies, para su aplicación en futuras misiones espaciales. Según se ha indicado, el sistema posee una energía de 250 w/kg pero se espera poder aumentarla hasta 500 w/kg.

Pila de ácido fosfórico

El sistema más avanzado en cuanto a tamaño de planta construido es la pila hidrógeno-oxígeno con electrolito ácido fosfórico (PAFC). Normalmente emplea hidrógeno proveniente de gas natural o metano reformados.

Los electrodos están contruidos con carbón y emplean platino como electrocatalizador. La pila opera a 200° C ya que a temperaturas inferiores el ácido es muy poco conductor y a temperaturas superiores los electrodos no son estables. La ventaja de este electrolito es que el ácido es muy

estable y puede estar muy concentrado con lo que la presión de vapor es baja, y la pérdida de agua por arrastre puede ser igualada por la producción de ella en la reacción global de la pila.

Aparte de ello, a 200° C se puede aceptar la existencia de una pequeña cantidad de CO sin que los electrodos se envenenen. Su mayor desventaja es que la actividad del cátodo es baja por lo que los trabajos de investigación actuales intentan resolver este problema.

United Technologies construyó una planta de 4,8 Mw en Manhattan, New York, que debía funcionar empleando diversos combustibles, gas natural, gasolina de aviación, etc, que por reformado producirían hidrógeno.

Desgraciadamente, tras muchos años de prueba en las unidades parciales de 200 Kw, pruebas que tuvieron éxito, el proyecto global fue abandonado en 1985. Justo después de que United abandonase el proyecto, la licencia fue adquirida por Tokyo Electric Power Co. que tras introducir ciertas mejoras está operando una planta de 4,8 Mw en Japón.

-25-

Aparte de ello, y con tecnología propia, los japoneses están desarrollando diversos sistemas de 1 Mw que son operacionales desde 1987.

Pila de electrolito polimérico

El electrolito en estas células es una membrana iónica que es impermeable a los gases. Generalmente se emplea una membrana catiónica de tipo sulfónico ya que presentan mayor estabilidad que las aniónicas.

La ventaja de este tipo de pila es que al ser el electrolito un sólido, no puede cambiar o evaporarse, siendo agua el único líquido que circula por la pila, lo que evita el problema de la corrosión.

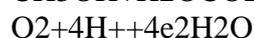
Los electrodos se depositan directamente sobre la membrana y están activados con platino. Dado que es necesario que el electrolito permanezca húmedo para mantener su estabilidad, es necesario un complejo sistema de humidificación. Éste, la elevada cantidad de metal noble que se emplea como electro catalizador, y el elevado precio de la membrana Nafion que se utiliza, hacen que por ahora no pueda ser utilizada comercialmente.

Pila de metanol-aire directa

El alto contenido energético del metanol y el hecho de ser un compuesto que se puede obtener de fuentes renovables, hacen a esta pila, DMFC, un candidato muy interesante para pequeñas potencias.

Las reacciones son:

-26-



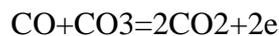
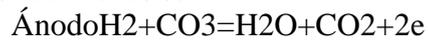
Sin embargo, la reacción de oxidación se inhibe rápidamente por la

formación de monóxido de carbono, lo que disminuye extraordinariamente su rendimiento. Por ello, en su estado actual, su rendimiento es muy bajo.

Pila de carbonatos fundidos

La pila de carbonatos fundidos, MCFC, opera entre 650 y 700° C y el electrolito empleado es una mezcla de carbonatos alcalinos siendo llevada a cabo la conducción electrolítica por los iones carbonato. Los electrodos pueden estar hechos de aleaciones de Ir, Pt, Rh y Ni.

Las reacciones son:



Global:

Con Hidrógeno: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{H}_2 = \text{H}_2\text{O}$

Con CO: $\frac{1}{2}\text{O}_2 + \text{CO} = \text{CO}_2$

La pila de carbonato fundido tiene ciertas ventajas sobre la pila de fosfórico cuando opera con gas natural, derivados del petróleo, gas de síntesis, etc.:

-27-

a) El monóxido de carbono no envenena los electrodos. De hecho se puede utilizar como combustible. Una composición típica del combustible es H₂ 50%; H₂O 30%; CO 10%; CO₂ 9% y CH₄ 1%.

b) No es imprescindible el empleo de metales nobles como catalizadores.

c) El calor generado lo es a alta temperatura y por tanto es más útil.

En la actualidad existe un renovado interés en la pilas MCFC, aunque su desarrollo está retrasado diez años en relación con la PAFC debido en parte, a la corrosión a altas temperaturas y a los problemas existentes en el separador cerámico.

Los parámetros esperados para estos sistemas son 0,85 V a 150 mA/cm² eficiencia total (carbón a electricidad) 45-50%, tiempo de vida 40.000 horas y coste de 60 \$/Kw para el sistema electroquímico. Dado que el calor es emitido a alta temperatura, su aprovechamiento puede aumentar el rendimiento entre un 25% y un 30% más.

Pila de óxido sólido

La pila de óxido sólido, SOFC, emplea un electrolito formado por un óxido no poroso con conducción iónica originada por la migración del ión óxido en la red cristalina. El separador utilizado suele estar formado por óxidos de zirconio, y la temperatura de trabajo es del orden de 1000° C.

La pila puede consumir hidrógeno o hidrocarburos como anolitos, dada su elevada temperatura, y aire como reactivo catódico.

Este tipo de pila tiene la ventaja de que, al no emplear líquidos, no

existen problemas de inundación de los electrodos porosos por lo que el problema de su mantenimiento se evita totalmente. Además, la composición del -28- electrolito permanece constante y la elevada temperatura hace que la polarización sea mínima, pudiéndose introducir directamente los hidrocarburos en el ánodo sin peligro de formación de carbón. La desventaja radica en la resistencia de los materiales a tan altas temperaturas, por lo que el sistema a pesar de un intenso trabajo de investigación, está aún en sus primeras fases de desarrollo.

Estado actual de la investigación

Los principales esfuerzos en investigación, desarrollo y demostración de sistemas, se concentraron inicialmente en Estados Unidos. Sin embargo, Japón está realizando también un gran esfuerzo en este campo que lo está situando a la cabeza de la investigación y desarrollo de este tipo de pilas. Muy recientemente Europa se ha sumado a este grupo (especialmente Italia y Holanda).

En los Estados Unidos, el gobierno invirtió de 1958 a 1978 entre 1 y dos millones de dólares por año, y a partir de 1978 multiplicó por más de cuatro esta cantidad anual (4 a 9 millones de dólares). La empresa privada ha destinado elevadas cantidades a esta investigación.

Los principales esfuerzos, principalmente en PAFC y MCFC, los está realizando United Technologies Corporation en una joint-venture con Toshiba. Además, Engelhard Corporation está trabajando sobre la PAFC, Energy Research Corporation sobre las PAFC y MCFC y el Institute for Gas Technology sobre la MCFC.

Japón ha empezado un gran plan de investigación y desarrollo en 1987 cuyos gastos previstos hasta 1995 son 200 millones de dólares. La empresa privada participa, fundamentalmente, en el desarrollo de las pilas PAFC y MCFC. (Fuji, Toshiba, Hitachi y Mitsubishi). La empresa Fuji vende ya sistemas de 50 Kw de la pila PAFC.

-29-

La situación en Europa no sólo es más modesta sino que además ha comenzado con bastante retraso. Así, la Comunidad Económica Europea ha empezado un programa de desarrollo en 1989 -existían ya algunos proyectos anteriores- de cinco tipos de pilas diferentes: TAFC, SPFC, DMFC, MCFC y SOFC con participación de Centros de investigación públicos y empresas privadas, al que dedica 25 millones de ECU, lo que supone el 50% del gasto de proyecto.

La situación europea es la siguiente:

PAFC.-

En Europa no existen fabricantes de PAFC aunque el know-how lo poseen algunas compañías privadas tales como Johnson Matthey. La fabricación de reformadores es una técnica muy conocida y existen industrias dedicadas a ello.

Esta situación hace que las PAFC sean compradas a Estados Unidos o Japón y los otros componentes sean fabricados aquí. Entre los mayores proyectos está la construcción de una planta de 1 Mw en Milán por Ansaldo y Haldor

Tópsoc con células americanas. (Este proyecto está financiado por el estado italiano y parcialmente por la C.E.E.).

MCFC.-

Los programas holandés, italiano y de la C.E.E. empezaron en 1986 antes de cuya fecha el know-how existente en Europa era muy pequeño. La potencia actual de los sistemas en planta piloto varía entre 2,5 y 10 Kw. Holanda financia con 30 millones de ECU un programa de desarrollo de 1986 a 1991 e Italia ha gastado entre 1986 y 1989 6 millones de ECU.

La C.E.E. comenzó en 1989 un programa para el desarrollo de una planta de 10 Kw con un costo de 3,2 millones de ECU siendo el monto total del proyecto de 8 millones de ECU. Hidroeléctrica Española, actualmente Iberdrola, está desarrollando un proyecto de cinco años de duración con un montante de 1367 millones de pesetas.

-30-

SOFC.-

Los trabajos para el desarrollo de la SOFC se llevan a cabo en la C.E.E., en Noruega y en Suiza.

El know-how existente es comparable al de los japoneses y americanos dado los programas de investigación que se realizaron en el pasado por industrias privadas.

La C.E.E. ha comenzado un programa exploratorio en 1987 sobre cinco conceptos diferentes de SOFC que incluye un estudio de mercados.

DMFC.-

La C.E.E. posee un programa para el desarrollo de una pila DMFC de baja temperatura, 65° C, en medio ácido, por valor de 1 millón de ECU, con el fin de desarrollar ánodos catalíticos para la oxidación de metanol, cátodos con bajo sobrevoltaje de oxígeno y membranas de alto rendimiento. En él participan tres empresas privadas y varias Universidades, entre las que está la de Alicante (Departamento de Química-Física).

Conclusión

La Ciencia y la Técnica han achicado el mundo introduciendo los conceptos de investigación, síntesis, renovación y creación y tenemos la capacidad y el deber de ir creando este nuevo mundo entrevisto por algunos pero cercano para otros. Mi maestro Juan Sancho en una ocasión idéntica a esta decía: «No recuerdo que personaje africano le decía a un europeo que el signo más evidente de nuestra decadencia era que nosotros, los europeos, éramos -31- los únicos que en el mundo actual teníamos miedo al futuro. El africano tenía desgraciadamente razón. Es este miedo, lógico hasta cierto punto, el que hay que evitar. Si así fuera, seríamos la primera civilización que recogiese los frutos que ella misma plantó y cuidó. A las nuevas generaciones les corresponde la ingente tarea, llena de responsabilidades, de estructurar el mundo en general y nuestra civilización en particular, de manera que una humanidad futura pueda disfrutar en paz el bienestar que la Ciencia y la Técnica les ofrecen. Soy

plenamente optimista con relación a nuestra civilización en la actual era científica.

No hay que temer a los progresos de la Ciencia; a todos los que pretendiendo defender al hombre atacan al progreso científico, conviene recordarles las palabras de Jean Rostand: «Aumentando los poderes del hombre, la técnica multiplica para él las ocasiones de elevarse y los peligros de envilecerse. Rechazar sus beneficios, negar sus presentes, es negar que seamos dignos de usarlos, es falta de confianza hacia nosotros mismos, es injuriar la especie».

Creo que sus palabras, pronunciadas hace más de diecisiete años son hoy de plena actualidad.

[Facilitado por la Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes](#)

2006 - Reservados todos los derechos

Permitido el uso sin fines comerciales

Súmese como [voluntario](#) o [donante](#) , para promover el crecimiento y la difusión de la [Biblioteca Virtual Universal](#) www.biblioteca.org.ar

Si se advierte algún tipo de error, o desea realizar alguna sugerencia le solicitamos visite el siguiente [enlace](#). www.biblioteca.org.ar/comentario

