



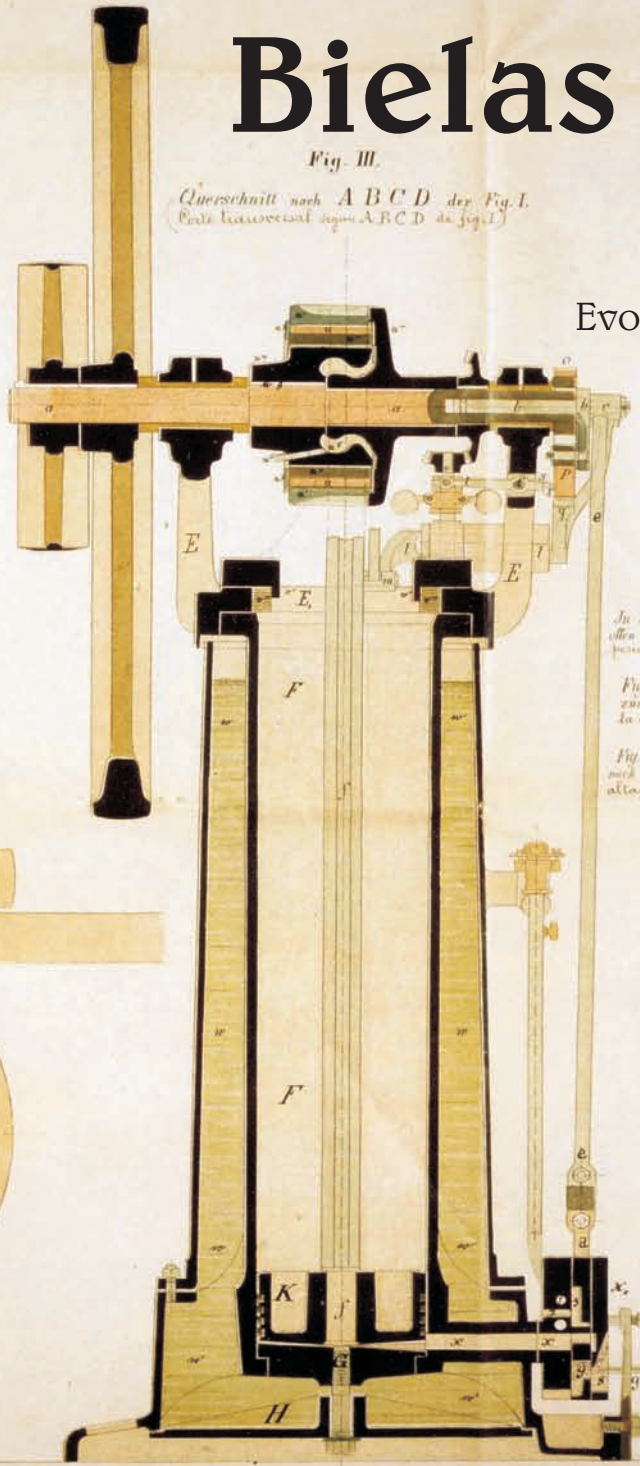
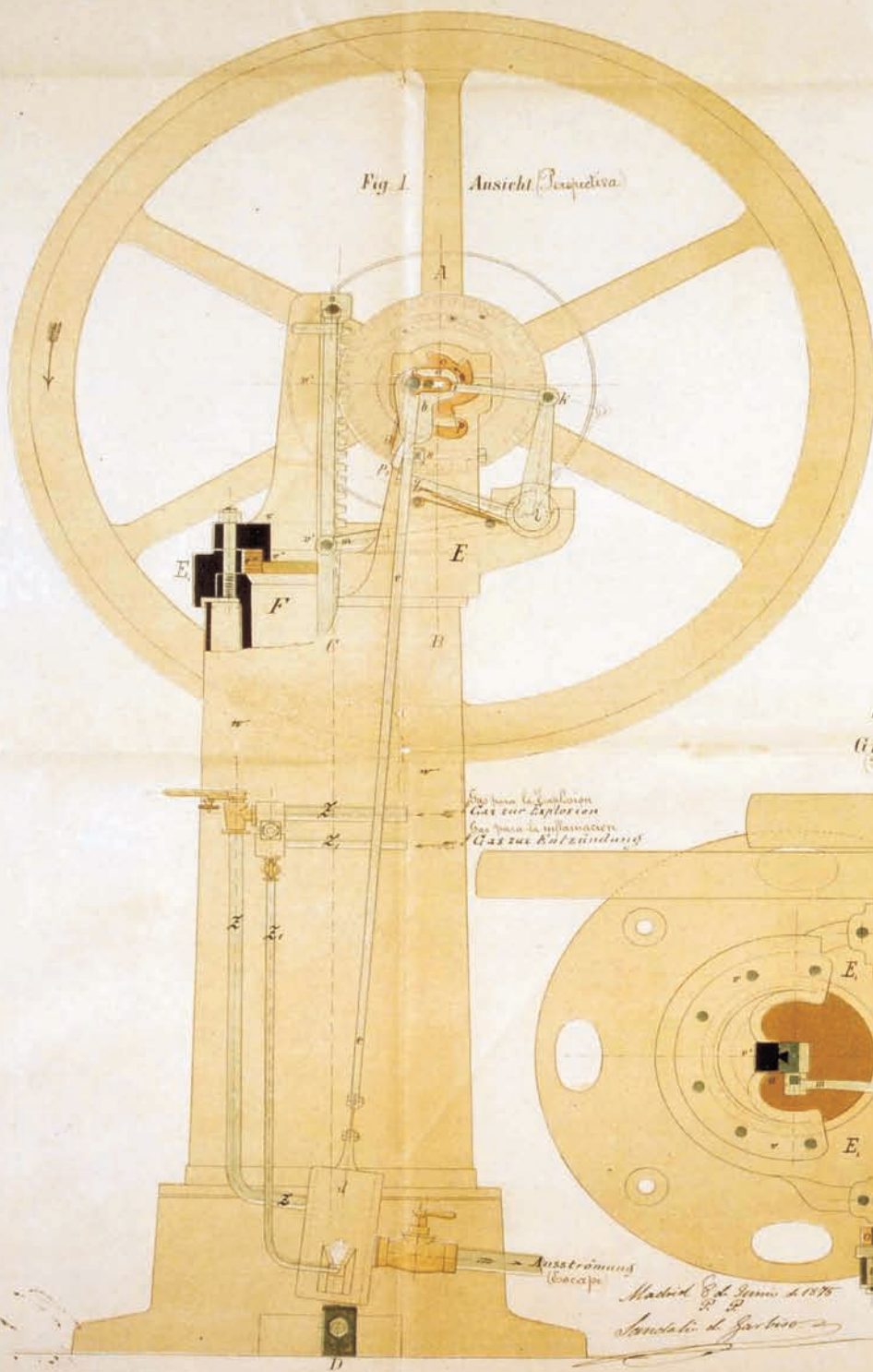
Bielas y álabes 1826-1914

Bielas y álabes

1826-1914

Evolución histórica de las primeras máquinas térmicas a través de las patentes españolas

R. Rubén Amengual Matas



In Fig. III. Schieber in ungeschlossener Stellung, offen zur Ausströmung, (für abgegebene Arbeit) (Escapa en posición de escape, abierta hacia la aspiración.)
Fig. IV. Schieber in anderer Stellung, offen zum Ansaugen (Escapa en posición para abislar hacia la aspiración.)
Fig. V. Schieber in obere Stellung geschlossen (Escapa in posición cerrada hacia la aspiración.)

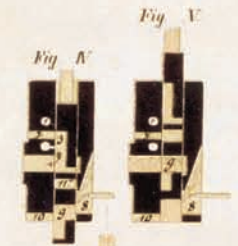


Fig. VI

Schieber (Vorg.)

Fig. VII

Schieberspiegel (nach unten abgeimpft)

Alonso
Juli 1826



R. RUBÉN AMENGUAL MATAS

BIELAS Y ÁLABES

1826-1914

Evolución histórica de las primeras
máquinas térmicas a través de las
patentes españolas



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO



Oficina Española
de Patentes y Marcas

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

Oficina Española de Patentes y Marcas

Paseo de la Castellana, 75. Teléf. 91 349 53 00

28071 MADRID

NIPO: 703-07-013-2

I.S.B.N.: 978-84-96113-13-8

Depósito Legal: M. 10.640-2008

Impresión: Sociedad Anónima de Fotocomposición

*Para María y Sebastián,
a quien debo todo lo que soy.*

On ne connaît pas complètement une science tant qu'on n'en sait pas l'histoire.

Auguste Comte

Vean, pues, los ingenieros cómo para ser ingeniero no basta con ser ingeniero. Mientras se están ocupando en su faena particular, la historia les quita el suelo de debajo de los pies.

José Ortega y Gasset

Progress, far from consisting in change, depends on retentiveness... Those who can not remember the past are condemned to repeat it.

George Santayana

Índice

	<i>Págs.</i>
Prólogo	13
Agradecimientos del autor	15
Resumen	17
Abstract	19
Lista de acrónimos empleados	21
Capítulo 1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS	23
1.1. Reflexiones previas al planteamiento de la obra	23
1.2. Planteamiento del trabajo	24
1.3. Importancia técnica del sector	25
1.4. Periodo de análisis	25
1.5. Las patentes como fuente de información tecnológica	27
1.6. Fuentes	30
1.6.1. Estudio de la documentación administrativa	30
1.6.2. Análisis de la información técnica	32
1.7. Estructura de la obra	33
Capítulo 2. EL NACIMIENTO DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS	37
2.1. La prehistoria de las máquinas térmicas: de la eolípila a la máquina de Newcomen	37
2.1.1. El antecedente español: la invención de 1606 de Jerónimo de Ayanz y Beaumont para la elevación de agua y desagüe de las minas	38
2.1.2. La patente de Savery de 1698 para el desagüe de las minas	41
2.1.3. Los ingenios de Papin	42
2.1.4. La máquina de Newcomen	44
2.1.5. Las patentes de Watt: el condensador y la máquina de doble efecto	46
2.2. Las máquinas de vapor alternativas del siglo XIX y principios del XX estudiadas a través del sistema español de patentes (1826-1914)	50
2.2.1. Consideraciones previas	50
2.2.2. Ciclos termodinámicos con máquinas alternativas de vapor	52

	Págs.
2.2.3. Elementos constructivos de máquinas alternativas de vapor	56
2.2.3.1. Bloque motor y tren alternativo.	56
2.2.3.2. Tren de la distribución	60
2.2.4. Máquinas de vapor con pistón rotativo	64
2.2.5. Otros documentos.	71
2.3. Los primeros motores de aire caliente	73
2.3.1. Los motores de Ericsson y Lenoir.	75
2.3.2. Un antecedente español: el motor de Jaime de Arbós y Tor.	80
2.3.3. Otros motores anteriores a 1876.	82
Capítulo 3. LA CARRERA POR EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.	87
3.1. Beau de Rochas: el ciclo teórico de cuatro tiempos	88
3.2. Nicolaus August Otto y la <i>Gasmotorenfabrik Deutz AG</i> : el primer motor de cuatro tiempos	92
3.3. Eugen Langen, el socio de Otto en la <i>Gasmotorenfabrik Deutz AG</i>	101
3.4. Gottlieb Daimler, ingeniero de la <i>Gasmotorenfabrik Deutz AG</i>	105
3.4.1. El motor de encendido por compresión de Daimler	110
3.4.2. El primer vehículo de Daimler.	114
3.5. Rudolf Diesel: tras los pasos de Carnot	116
3.5.1. La « <i>Provisional Specification</i> » de la patente GB 7 241 A. D. 1892	118
3.5.2. La patente francesa FR 220 903	121
3.5.3. La « <i>Complete Specification</i> » de la patente GB 7 241 A. D. 1892	123
3.5.4. La patente estadounidense US 542 846	125
3.5.5. Las patentes españolas de Diesel.	126
3.6. El desarrollo de los motores de combustión interna hasta 1914, estudiados a través del sistema español de patentes	131
3.6.1. Consideraciones previas: invenciones <i>radicales e incrementales</i>	131
3.6.2. Motores de combustión interna de dos tiempos.	133
3.6.3. Otras innovaciones	140
3.7. Marc Birkigt, ingeniero de la Hispano-Suiza	156
3.8. Los primeros motores de combustión interna sobrealimentados.	163
3.8.1. Antecedentes	163
3.8.2. Las patentes de Arnold Zoller.	164
Capítulo 4. EL ARRANQUE DE LAS TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS	173
4.1. Las infructuosas tentativas iniciales	173
4.2. Charles A. Parsons y las primeras turbinas de reacción.	175
4.3. Las turbinas de acción de Gustaf De Laval.	183
4.4. Las turbinas de Rateau y Curtis.	190
4.5. Invenciones incrementales relevantes sobre turbinas de vapor.	194
4.6. Los orígenes de los turbocompresores y las turbinas de gas.	207
4.6.1. Los primeros turbocompresores	209
4.6.2. Las propuestas primitivas sobre turbinas de gas	216

	<i>Págs.</i>
Capítulo 5. MÁQUINAS TÉRMICAS E HISTORIA ECONÓMICA	225
5.1. Patentes relativas a máquinas térmicas	225
5.1.1. Análisis estadístico	226
5.1.2. Análisis sobre la potencia de las invenciones radicales	234
5.1.3. Clasificación de la oferta tecnológica e índice de relevancia	236
5.2. Historia Tecnológica e Historia Económica	241
5.2.1. Máquinas térmicas y el contexto económico nacional.	242
5.2.2. Importancia de las instituciones	243
5.2.3. Economía evolutiva: irradiación tecnológica de las máquinas térmicas.	245
5.2.4. Invenciones radicales e incrementales.	250
5.2.5. Historia de la empresa.	252
5.3. El modelo de la pirámide de innovación.	254
Capítulo 6. EPÍLOGO	259
6.1. Consideraciones histórico-técnicas.	259
6.2. Consideraciones histórico-económicas	260
BIBLIOGRAFÍA.	263

Prólogo

Para la humanidad, pocos fenómenos han sido desde siempre más enigmáticos que el fuego. Atroz por la devastación que puede causar cuando se desata; deseado y acogedor cuando calienta una morada fría o cocina para deleite de nuestra gula. El fuego, a tenor de los restos arqueológicos en cuevas y asentamientos desenterrados, nos ha acompañado al *homo sapiens* desde que aparecimos como tales, y ello lo atestiguan también los mitos que sobre el fuego ha habido; pero poco podrían imaginar nuestros primeros padres que, a través de la ciencia y la técnica, el fuego iba a llegar a invadir tan ordenadamente nuestras vidas pues el *modus vivendi* de nuestra civilización se basa esencialmente en saber aprovechar el calor de los muy diversos tipos de fuego que podemos dominar en los muy diversos tipos de artilugios que cartesianamente llamamos máquinas y motores térmicos.

La Tesis Doctoral de Rubén Amengual, recogida en este libro, trata de esos artilugios, y lo hace de una manera a la vez clásica e innovadora; a la vez rigurosa y anecdótica; a la vez cálidamente humana y asépticamente técnica. De ahí que este libro pueda ser a la vez de gran utilidad para un especialista, y deleite y enseñanza para un lego en la materia.

Resulta tópico, y no por ello menos verdadero, que el desarrollo de la humanidad ha estado jalonado de muy importantes y verdaderas revoluciones, como la del Neolítico, con su asentamiento en ciudades gracias al dominio de la agricultura; la del lenguaje escrito y del alfabeto; la del dominio de la metalurgia en el despertar de la Edad de los Metales; y, de manera egregia, la Revolución Industrial.

Aunque esta Revolución se proyecte en muchos ámbitos y órdenes de la vida, en sus raíces están las máquinas térmicas. Esas máquinas que algunos denominaron de «fuego y aire», pues la expansión realizada por el aire caliente terminaba convirtiéndose en movimiento útil gracias a mecanismos como el de la biela-manivela.

Las máquinas térmicas tuvieron una consecuencia fundamental: poner a disposición de los hombres una fuerza enormemente mayor, y mejor regulada, que la del músculo animal. Cuando hoy día, de manera tan rutinaria que no le concedemos ningún valor, nos movemos en automóvil, no somos conscientes de que nos beneficiamos de la herencia cuasi directa de aquellas máquinas térmicas primigenias que constituyeron la Revolución Industrial.

Esa Revolución, y particularmente sus máquinas y motores, han conformado tan señaladamente nuestro modo de vida actual, que es elemental gratitud hacer un pequeño esfuerzo por conocerlas mejor, y conocer su historia. Y en eso esta Tesis Doctoral puede ayudar muchísimo; aunque, como tal Tesis, contenga algunos elementos que sólo los muy versados en la materia podrán aquilatar en toda su importancia científico-técnica.

Pero que todo lector podrá entender en sus lineamientos básicos. Y disfrutar con las peripecias vitales que sus autores e inventores supieron plasmar a través de una figura muy propia del desarrollo tecnológico: las patentes.

Una patente de invención es una fórmula jurídica por la que se le reconoce a una persona (o varias) los derechos a explotar una idea técnica convertible en realidad, y que él ha concebido, o al menos manifestado, antes que ningún otro.

En el libro aparece una definición del concepto de patente mucho más precisa, pero la frase anterior, quizá en exceso contundente y sin matices, tiene los tintes prometeicos de inventar, ser el primero, abrir caminos. Impresionantes los caminos que se abrieron con las máquinas térmicas, analizadas certeramente en esta Tesis a través de las patentes con las que se convirtieron en instrumentos tecnológicos comercializables.

A mi entender, no es tarea de un prólogo desmenuzar el libro para explicar lo que uno va a encontrar. Eso ya lo hará el lector. Y sí es tarea del prólogo animar a cualquier lector potencial a que, siguiendo la máxima aristotélica, pase de la potencia al acto, y lo lea. Porque si uno no estuviera convencido de la calidad del libro, no debería escribir un prólogo. Y mi convicción desde que tuve en mis manos esta Tesis por primera vez, es que era un caso peculiar, a un tiempo útil para los especialistas, y recomendable para todos los públicos.

La humanidad comenzó una andadura totalmente diferente cuando las máquinas térmicas hicieron su aparición. Eso lo sabe hoy día todo ser humano, aunque de manera imprecisa y desdibujada. En este libro encontrará los dibujos y las precisiones que le harán conocer los difíciles albores de estas máquinas, y el empeño de tantos inventores por hacerlas funcionar. Heredero de ese empeño, es el que puso el autor de este libro, Rubén Amengual, para contarnos esta fabulosa, pero sin embargo verídica historia.

Madrid, enero 2007

José M.^a MARTÍNEZ-VAL PEÑALOSA
Catedrático de Termotecnia
Ex Director de la ETSII-UPM

Agradecimientos del autor

Este texto es un trabajo derivado de una tesis doctoral defendida en 2004 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Numerosas personas han influido en que, lo que un día fue un deseado proyecto, hoy se materialice en estas páginas. Creo que es mi obligación (además de resultar un placer para mí) enumerar, aunque sólo sea rápidamente, algunas de las muchas personas que han hecho posible este trabajo. Ruego me perdonen los que no se encuentren nominalmente en estas páginas, pues la mente gasta a veces malas jugadas, especialmente si la materia prima ya no es de primera calidad *per se*.

En primer lugar quiero citar a los que fueron mis directores de tesis, el Dr. D. Manuel Valdés del Fresno y el Dr. D. J. Patricio Sáiz González, cuya relación personal con ellos hace tiempo que trascendió el vínculo académico y se convirtió en amistad. Me resulta muy grato afirmar que esta amistad ha perdurado y se ha reforzado mucho más allá de la mera relación universitaria, y les agradezco todo el apoyo que me han brindando de múltiples formas antes, durante y después de redactar inicialmente la tesis y, posteriormente, este libro.

Otras personas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM mostraron igualmente su reconocimiento a este texto; quiero citar en primer lugar a todos los Profesores del Grupo de Motores Térmicos, especialmente al Catedrático, Dr. D. Jesús Casanova Kindelan, que siempre ha considerado de gran interés el trabajo aquí desarrollado. También quiero mostrar el apoyo y la ayuda que he recibido de otro Profesor del Departamento de Ingeniería Energética y Fluidomecánica, el Dr. D. José Luis Rapún Jiménez, compañero y amigo incondicional. Debo hacer una mención especial al personal de la Biblioteca de la ETSII, sobre todo a su Jefa, D.^a María Dolores Campaña Ferro, que me prestaron su atención y me dieron todas las facilidades para consultar sus valiosos fondos.

No quiero olvidarme de otros miembros de la comunidad universitaria que me ayudaron de diversas maneras. Concretamente quiero nombrar al Profesor D. Nicolás García Tapia, de la Universidad de Valladolid, al Profesor D. Jordi Nadal i Oller, de la Universidad de Barcelona, y al Profesor D. Francisco Cayón García, de la Universidad Autónoma de Madrid. También deseo destacar el especial interés que mostró por este trabajo el Profesor D. José M.^a Martínez-Val Peñalosa, de quien he tenido el honor de ser alumno suyo —y aún sigo siéndolo—; quiero, además, manifestar mi especial reco-

nocimiento por haber prologado la edición de este texto, así como su continuo apoyo por mantener mi vínculo académico con la Universidad.

Muchas personas de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) me ayudaron en la complicada tarea que supuso la investigación llevada a cabo con esta obra. Quiero agradecer a D. Ángel Sastre de la Fuente, que fue Secretario General de la OEPM durante la realización de este trabajo, la especial sensibilidad que desde el primer momento mostró por esta labor, así como el apoyo que siempre prestó a esta investigación durante los cinco años que duró. Mucho debo al personal del Archivo Histórico, especialmente a D.^a Gloria Ramos Fernández, Jefa del Archivo, y a D. Fernando Hernández Izquierdo. No quiero olvidar a la tristemente desaparecida Jefa de la Biblioteca Técnica, D.^a Isabel Bertrán de Lis Morales, quien dejó una profunda huella profesional y personal en mí, y me proporcionó numerosa documentación histórica. Tampoco me olvidaré de los miembros del equipo de Seguridad de la OEPM (especialmente D. Ángel, D. José, D. Luis, D. Pedro...), con quienes compartí muchos fines de semana en la antigua sede de la calle Panamá y me abrieron sus puertas, no sólo en el sentido literal de la expresión. También deseo mencionar a D. Gerardo Penas García, D. Valerio Santos Hernández y la actual Dirección de la OEPM, quienes tanto han hecho para que la edición de este texto sea una realidad.

Quiero citar a algunas personas que me ayudaron desde otras instituciones, concretamente a Mr. Melvyn K. Rees de *The Patent Office U.K.*, Mr. Steve van Dulken de la *British Library* y Mme. Yvette Chawalla, del *Institut National de la Propriété Industrielle*, en París, quienes me brindaron información valiosísima; a todos ellos les doy las gracias por la apreciada documentación histórica que me proporcionaron.

A mis amigos D. Ricardo Shan de Bordons O'Mongain, D. Luis J. Dueñas Campo, D. José Ramón García de Madariaga, D. Francisco Martínez y Martínez y D.^a Blanca Rirduejo Miranda, deseo expresarles mi sincera admiración por el apoyo que me han prestado en diversas facetas, en forma de *helpdesk*, sus diversas colaboraciones técnicas y gráficas, las múltiples ideas y sugerencias que me aportaron, así como el aliento incondicional que mostraron hacia este trabajo. La lista no debería acabar aquí, pues otros amigos y compañeros me han demostrado en muchas ocasiones su interés por el trabajo desarrollado y me han proporcionado ayuda de múltiples formas; gracias a todos, aunque no les cite explícitamente. Ellos saben quiénes son y dónde están.

Por último, quiero expresar el apoyo que he tenido continuamente de mi familia, en especial (y en forma de letanía cariñosa) de Fivito, Quica, Tío Willy *colega Dottore*, Coque de Unguen, Marian, Gema (*y Heriberto*), Miguel, Higgsito *unser Mensch in Berlin*, Teté (*point... punchak*), Nacho, Cocó *¡qué pasó!* Mary Jane (¡sorpresa!), Coque *Kollege*, Asker *te va a encantar* (en verdad no era para tanto), Tarta (*¿y Mario?*), Foquina Cotinez, Johannes (*¿de qué color era tu coche?*), Carlos (y sus animales) y la encantadora señorita Frunfristina. Sebastián y María, mis padres, no han podido ver la edición de este texto, pero gracias a ellos se ha conseguido que lo que un día fue sólo un proyecto llegara a ser realidad.

Madrid, agosto de 2007

Resumen

El objetivo de este libro es analizar la evolución técnica experimentada en el campo de las máquinas térmicas durante el periodo 1826-1914, empleando para ello las patentes presentadas en España. No obstante, también se han considerado algunas patentes de otros países que describen ciertas invenciones radicales de la época en este campo tecnológico.

El estudio se hace centrando la evolución técnica de las máquinas térmicas en tres grandes sectores: máquinas de vapor alternativas, motores de combustión interna alternativos y turbomáquinas térmicas.

Dentro de las máquinas de vapor alternativas se analizan algunas de los siglos xvii y xviii, como las de Savery, Newcomen y Watt; también se revisan los primeros motores de aire caliente y algunas patentes españolas sobre máquinas de vapor.

En el campo de los motores de combustión interna alternativos se analizan diversas invenciones radicales de este sector, como la recogida en la patente francesa de Beau de Rochas, o en las patentes españolas de Otto y Diesel. También se compara la patente británica del primer motor Diesel con su equivalente estadounidense y otros documentos de la misma *familia*, pues se han detectado diferencias técnicas entre la misma invención a la vista de lo descrito en dichas patentes. Continuando con el estudio, se han localizado otras patentes españolas con invenciones relevantes sobre motores alternativos, se han encontrado innovaciones desarrolladas por destacadas empresas como *Hispano-Suiza*, y se ha verificado la existencia de patentes proponiendo motores sobrealimentados a principio de la década de 1910.

Respecto las turbomáquinas, se analizan las primeras patentes de turbinas de vapor (Parsons, De Laval, Rateau) y los primeros intentos por obtener turbocompresores y turbinas de gas.

El texto finaliza con un estudio sobre las implicaciones histórico-económicas que este sector tecnológico tuvo en la España del siglo xix y principios del xx, destacándose que existe una influencia mutua entre la Historia de la Tecnología y la Historia Económica.

Como principal conclusión del trabajo debe destacarse la validez del sistema español de patentes para estudiar la evolución histórica de las máquinas térmicas en el periodo considerado. Ello muestra que las colecciones de patentes son valiosos documentos histórico-económico-técnicos, y que las Oficinas Nacionales de Patentes desempeñan un papel fundamental en la custodia, conservación y divulgación de la información contenida en las patentes.

Abstract

This book sets out to analyze the technical evolution witnessed in the field of heat engines between 1826 and 1914 based on the patents filed in Spain within that timeframe. Consideration is likewise given to certain patents filed in other countries that describe revolutionary inventions of the period in this area of technology.

The study centers on the technical evolution of heat engines in three large sectors: reciprocating steam engines, reciprocating internal combustion engines and thermal turbomachines.

When focusing on reciprocating steam engines, attention is given to some engines dating back to the xvii and xviii centuries, such as those of Savery, Newcomen and Watt; this book likewise reviews the first hot air engines and some Spanish steam engine patents.

When turning to reciprocating internal combustion engines, this book explores different revolutionary inventions, such as the inventions set out in Beau de Rochas's French patent or Otto's and in Diesel's Spanish patents. Also, the British patent for the first Diesel engine is compared with its U.S. counterpart and with other documents from the same *family* given that said patents describe different techniques for the same invention. This book goes on to consider other outstanding Spanish patents for reciprocating engines and to discuss innovations developed by such leading companies as the *Hispano-Suiza* as well as some patents from the early 1910's proposing super-charged engines.

When addressing turbomachines, this book analyzes the first steam turbine patents (Parsons, De Laval, Rateau) and the first attempts to invent turbocompressors and gas turbines.

This book ends with a study of the historical-economic implications that this sector of technology had in Spain in the xix and early xx centuries, highlighting the influence of technological history on economic history and *vice versa*.

In conclusion, this book highlights the importance of the following: the strength of the Spanish patent system for studying the historical evolution of heat engines during the period in question; the enormous value of patent collections as historical, economic and technical documents; and the major role of National Patent Offices in safeguarding, preserving and disseminating the information contained in patents.

Lista de acrónimos empleados

BOPI	Boletín Oficial de la Propiedad Industrial
CA	Compresores Alternativos
CIP	Clasificación Internacional de Patentes
CUP	Convenio de la Unión de París
DPMA	Deutsches Patent- und Markenamt (Oficina Alemana de Patentes y Marcas, ubicada en Munich)
ECLA	European Classification (Clasificación Europea de Patentes)
EPI	Estatuto de la Propiedad Industrial
EPO	European Patent Office (Oficina Europea de Patentes, ubicada en Munich, La Haya, Berlín y Viena)
ETSII	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales
INPI	Institut National de la Propriété Industrielle (Instituto Nacional de la Propiedad Industrial, ubicado en París, Francia)
MAC	Motores de Aire Caliente
MCIA	Motores de Combustión Interna Alternativos
MEC	Motores de Encendido por Compresión
MEP	Motores de Encendido Provocado
MV	Máquinas de Vapor Alternativas
OEPM	Oficina Española de Patentes y Marcas
OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
PMI	Punto Muerto Inferior
PMS	Punto Muerto Superior
RD	Real Decreto
RO	Real Orden
RPM	Revoluciones Por Minuto
TC	Turbocompresores

TG	Turbinas de Gas
TM	Turbomáquinas
TPOUK	The Patent Office United Kingdom (Oficina de Patentes del Reino Unido, ubicada en Newport)
TV	Turbinas de Vapor
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
USPTO	United States Patent and Trademark Office (Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos, ubicada en Washington)

1. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Reflexiones previas al planteamiento de la obra

Las personas solemos acostumbrarnos a las comodidades que nuestra civilización nos ofrece hasta tal punto que, a veces, parece que no las valoramos pues consideramos que siempre han estado ahí. ¿Qué pensamos cuando hay un corte en la red de abastecimiento de agua? ¿Podríamos imaginarnos hoy nuestra vida sin suministro eléctrico en nuestros hogares o en nuestros trabajos? Sólo cuando estamos en una situación de carencia de los medios que habitualmente disfrutamos, y muchas veces no valoramos suficientemente, apreciamos lo que supone contar con dichas comodidades. Encender una luz o tener agua corriente en nuestras casas, trasladarnos rápidamente de un lugar a otro en nuestros automóviles o desplazarnos en avión a velocidades próximas a la del sonido nos parecen acciones tan cotidianas que habitualmente ni nos sorprenden, independientemente de que conozcamos los procesos involucrados en esas acciones tan normales hoy en día o el trabajo de las personas que las hacen posible, y que sin embargo dejarían absortos a nuestros antepasados del siglo XIX.

En cierta manera este libro quiere plantear una reflexión, basada en que el desarrollo tecnológico ha ido asociado al esfuerzo individual de miles y miles de personas, que muchas veces han tenido una traza mínima en la memoria social colectiva, de manera que son desconocidos para la inmensa mayoría de la sociedad aunque su contribución técnica haya sido notable. ¿Acaso son conocidos popularmente personas tan insignes como Torricelli, Röntgen o Becquerel? Sin embargo todos hablamos de la presión atmosférica, de los rayos X o de la radiactividad sin dominar realmente dichos conceptos.

El célebre filósofo D. José Ortega y Gasset reflexionaba en su *Meditación de la Técnica y otros ensayos sobre Ciencia y Filosofía* (2001, p. 56)¹ sobre una cuestión referida a los motores de combustión interna; el pensador español se preguntaba si alguien que no fuese experto en esa materia sería capaz de enunciar los nombres de las personas que más habían contribuido al desarrollo del motor de combustión interna. Parafraseando a Ortega, parece claro que nombres como Lenoir, Beau de Rochas, Otto, Die-

¹ Los datos entre paréntesis corresponden a la fecha de publicación de las referencias bibliográficas. Al final del texto se encuentran todas las referencias bibliográficas ordenadas alfabéticamente.

sel, Clerk y tantos otros sólo están en la memoria de aquellos que alguna vez han sentido curiosidad por saber el origen de estas máquinas térmicas.

Esta obra recoge en cierta manera la propuesta lanzada por Ortega, y permite hacer un seguimiento de las invenciones más destacables en el campo de las primeras máquinas térmicas. Si bien la idea de hacer un estudio histórico de la evolución técnica de una rama tecnológica no presenta ninguna novedad, el hecho de centrar este estudio analizando las patentes de esas invenciones en un país concreto sí supone un elemento original, pues no se conocen antecedentes de un estudio de estas características donde el hilo conductor sea exclusivamente las patentes presentadas en una nación determinada.

En el caso de España este estudio presenta un interés múltiple, ya que permite conocer si un país claramente subdesarrollado como era la España del siglo XIX y principios del XX, era de interés para los fabricantes extranjeros que desarrollaron esta tecnología y si, consiguientemente, patentaban sus invenciones en España.

Este libro está basado en la tesis doctoral de su autor, defendida en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid [Amen-gual (2004 b)]. Debe quedar claro que entre este texto y la tesis que lo precedió ha habido una tarea de adaptación; se ha revisado el original con la idea de modificar el formato académico inicial de la tesis para obtener un libro de divulgación (teóricamente más comprensible, si bien esto lo juzgará el lector), aunque con un carácter eminentemente técnico. Así, en este texto se han obviado muchas partes del trabajo original, como cálculos termodinámicos hechos en la investigación inicial y otros epígrafes que se han considerado de un interés básicamente académico. En cualquier caso, se ha realizado una revisión de todo el conjunto para adaptarlo a un formato más cómodo.

Aunque éste sea un libro de divulgación tecnológica general, es conveniente que el lector posea un conocimiento mínimo de los elementos estructurales que integran las máquinas térmicas, así como del funcionamiento físico de estos ingenios, pues a lo largo de la obra se hace referencia a numerosas invenciones y a sus mecanismos, dando por supuesto un conocimiento básico de esta tecnología.

1.2. Planteamiento del trabajo

El objetivo de este libro es, como se ha señalado, realizar un análisis técnico y económico de la evolución histórica experimentada por las máquinas y los motores térmicos entre 1826 y 1914, empleando como hilo conductor las patentes presentadas en España durante dicho periodo. En este trabajo se hace un estudio de las diferentes trayectorias tecnológicas desarrolladas en ese campo técnico, lo que permite analizar los avances conseguidos en dichas trayectorias.

En este punto podrían plantearse diversas cuestiones, por ejemplo: ¿por qué hacer un análisis referente exclusivamente a las máquinas y motores térmicos?, ¿por qué li-

mitar el estudio a dicho lapso temporal?, o ¿por qué utilizar las patentes presentadas en España como elemento de análisis? A continuación se intentará responderlas.

1.3. Importancia técnica del sector

El motivo de centrar el estudio en el campo técnico de las máquinas y los motores térmicos se argumenta en primera instancia por la importancia de este sector tecnológico. La trascendencia de las máquinas y motores térmicos se ha manifestado desde el siglo XVIII en múltiples facetas de la vida; desde un punto de vista de la ingeniería, la aparición inicial de la máquina de vapor y después los motores de combustión interna alternativos y las turbomáquinas térmicas, generó el desarrollo tecnológico real de la Ingeniería Térmica y Energética. Con las primeras máquinas de vapor se comenzó a fraguar una nueva trayectoria tecnológica con la que el hombre ya no dependía de los procesos naturales para la obtención de energía, consiguiéndose así un avance tecnológico en la historia de la humanidad sin precedentes hasta esa fecha. Este hecho tuvo su importancia no sólo en el desarrollo técnico, sino que generó grandes cambios a nivel económico y social. La influencia ejercida por esta rama técnica ha quedado reflejada en los últimos doscientos años por las miles de personas que han dedicado su quehacer profesional en la disciplina de las máquinas y motores térmicos.

Además de la faceta tecnológica, tampoco debe ignorarse la importancia económica del sector objeto de estudio: el desarrollo de las máquinas y los motores térmicos propició un abastecimiento energético revolucionario y un crecimiento económico sin precedentes hasta ese momento, lo que hizo que este campo tecnológico sentase la base de una nueva economía desde finales del siglo XVIII hasta el siglo XXI. Este hecho hace necesario dedicar un capítulo completo en esta obra a la reflexión histórica sobre el papel desempeñado por esta tecnología en la economía española del siglo XIX y principios del XX.

Aunque el ámbito de estudio de este trabajo sean las patentes presentadas en España durante ese periodo, se ha considerado necesario incluir en el estudio algunas patentes extranjeras que resultan fundamentales para comprender la evolución técnica experimentada por las máquinas térmicas. Por ello desde estas páginas se citarán patentes de personalidades tan insignes como Beau de Rochas, Brayton o Curtis que no registraron sus invenciones en España.

1.4. Periodo de análisis

La justificación del periodo considerado también es fácilmente comprensible. El 18 de agosto de 1824 S. M. el Rey Fernando VII dictó una *Real Orden mandando organizar un depósito de máquinas e instrumentos artísticos bajo la planta que se señala, cuyo establecimiento se titulará Real Conservatorio de Artes*. Casi dos años después (el 27 de marzo de 1826) fue promulgado un *Real Decreto estableciendo las reglas y el orden*

con que se han de conceder privilegios exclusivos por la invención, introducción y mejora de cualesquiera objetos de uso artístico [Sáiz (1996), pp. 56-61]. Estos dos hechos suponen el inicio de la regulación jurídica según la cual cualquier ciudadano, residiese o no en España, podía obtener la protección de las invenciones realizadas mediante los llamados privilegios reales, figura equivalente a las actuales patentes.

El Real Conservatorio de Artes es uno de los antecedentes de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM), organismo autónomo del actual Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, encargada de tramitar las distintas modalidades de Propiedad Industrial que se otorgan en España. Tal y como puede leerse en la página web del Archivo Histórico de la OEPM², el origen remoto de esta institución se encuentra en la Junta General de Comercio y Moneda, creada en 1679 con el objeto de favorecer el crecimiento económico del país, pues una de sus funciones era el análisis de las invenciones para proponer al Rey la concesión de Reales Cédulas de Privilegio, monopolios temporales predecesores de las actuales patentes.

También debe señalarse como antecedente de la OEPM al Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro [Rumeu de Armas (1990)], fundado en 1792, y cuyo primer director fue Agustín de Bethencourt y Molina (1758-1824). Aunque el Gabinete cumplía una función distinta (en lo que a la concesión de *privilegios reales* se refiere) de lo que años después fue el Real Conservatorio de Artes, hay que reseñar la importancia que tuvo aquél como institución precursora de éste, ya que en el Real Conservatorio de Artes se conservaba documentación técnica de toda clase, incluida aquella resultante de los antiguos y arbitrarios privilegios de invención concedidos por el monarca. Del mismo modo, conviene señalar el elevado renombre y valor que tuvo la colección de modelos, planos y memorias relativas a ingeniería civil y mecánica que el Gabinete albergó, pues no en balde también acabaría siendo el origen lo que a partir de 1802 fue la nueva Escuela de Caminos y Canales, primera de las Escuelas de Ingenieros de Caminos que se crearon en España.

Con el devenir de los años se fueron produciendo cambios en el Real Conservatorio de Artes. El 4 de septiembre de 1850 se promulgó el Real Decreto por el que se aprobaba el plan orgánico de la enseñanza industrial en España, a la vez que se creaba el título de Ingeniero Industrial. Con este motivo se instauró el Real Instituto Industrial, entidad que aglutinaba al propio Real Conservatorio de Artes, como institución encargada de la tramitación y concesión de privilegios reales, y la Escuela Central de Industria, organismo encargado de impartir las enseñanzas que permitían la obtención del mencionado título técnico [Alonso-Viguera (1961), pp. 15-20]. Por tanto, en el Real Instituto Industrial se encuentra la semilla de la actual Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). En 1887 el Real Conservatorio de Artes pasó a llamarse Dirección Especial de Patentes, Marcas e Industria, ya desvinculado del Real Instituto Industrial, que dejó de existir en 1867. En

² <http://www.oepm.es> buscando el hipervínculo del *Archivo Histórico* según su URL en el mes de agosto de 2007, o en <http://historico.oepm.es/archivohistorico/archivo.asp>.

1902 se denominó Registro de la Propiedad Industrial, y en 1992 se produce el, hasta la fecha, último cambio de nombre: Oficina Española de Patentes y Marcas. Así puede comprobarse el vínculo histórico existente entre las primeras Escuelas de Ingenieros españolas (principalmente Caminos e Industriales) con las diversas instituciones que precedieron a la actual Oficina Española de Patentes y Marcas.

Por tanto, 1826 es el año en que empieza en España la tramitación de patentes de una forma regulada jurídicamente. Antes de esa fecha la concesión de *patentes* era una gracia del Rey, de ahí el nombre de *privilegios reales*, denominación inicial que mantuvieron las patentes españolas hasta que la Ley de 30 de julio de 1878 cambió la designación de *privilegios reales* por la de *patentes* [Sáiz (1996), pp. 93-99]. El Archivo Histórico de la OEPM conserva en sus fondos la documentación relativa a las diversas modalidades de Propiedad Industrial tramitadas en España desde 1826. Este hecho ha sido considerado fundamental para delimitar el inicio del estudio; sin embargo, a pesar de estas consideraciones y tal como aparece en el capítulo 2, el análisis de este trabajo empieza antes de 1826, concretamente en el siglo XVII, para abarcar las invenciones relativas a las primeras máquinas de vapor que probablemente no se registraron en España por la inexistencia de un sistema estable de protección de las invenciones. Estas invenciones resultan imprescindibles para entender la evolución histórica de las máquinas térmicas; por ello, aquí también se encuentran referencias a las máquinas de Savery, Newcomen y Watt, entre otros.

El estudio planteado en este trabajo finaliza en 1914, fecha en que estalla la Primera Guerra Mundial, lo que supone un cambio tanto desde una concepción histórica como económica y técnica. El conflicto bélico propició un crecimiento técnico en muchos campos, si bien esta evolución tecnológica permaneció a menudo en secreto hasta el fin de la guerra, lo que se refleja en un crecimiento espectacular del número de patentes a partir de 1920.

1.5. Las patentes como fuente de información tecnológica

Otra cuestión que cabe plantearse es por qué utilizar las patentes españolas como hilo conductor de este trabajo. Si bien no es objeto de este estudio hacer una reflexión sobre las patentes españolas en general o su evolución histórica en el periodo considerado, sí es recomendable hacer un breve apunte sobre el concepto de patente y sus implicaciones.

De forma genérica puede decirse que una patente es un monopolio que ofrece una nación a los inventores que han desarrollado una innovación tecnológica, siempre que ésta haya sido plasmada en el correspondiente documento escrito (el documento de patente). Mediante este monopolio, cada Estado concede al titular de la patente la exclusividad de comercializar dicha invención en su territorio durante un tiempo determinado, que normalmente está fijado en veinte años. Hay que destacar que la patente sólo tiene validez en el país en que se solicita y posteriormente se concede. Aunque en

la actualidad haya tratados internacionales que simplifiquen la solicitud y tramitación de patentes en varios países, la realidad es que a día de hoy la patente es una figura propia de cada nación.

Como contraprestación a la concesión del monopolio, el titular de la patente *comparte* con la sociedad su conocimiento (pero no los derechos de comercialización) sobre la innovación tecnológica aportada con su invención. Este *compartimiento* se produce una vez que se publica el documento de patente, que describe de una forma técnica las innovaciones aportadas. Con ello se pretende aumentar el acervo tecnológico de la comunidad, para evitar que terceras personas realicen desarrollos ya hechos o dediquen recursos de I+D en cuestiones que ya son conocidas. La puesta en común del conocimiento tecnológico no debe entenderse como una violación del derecho de patente, sino más bien como su contraprestación. La patente recompensa al inventor mediante el otorgamiento del monopolio, pero a cambio se debe poner en común el *know how* desarrollado. En cualquier caso, y ante posibles violaciones de la patente, la legislación defiende al titular de la patente de aquellos que infrinjan sus derechos.

Actualmente, en la mayoría de los países, se exigen tres requisitos para que una invención sea patentable:

1) La invención debe ser nueva, entendiendo por novedad que el objeto de dicha invención no esté recogido previamente en ninguna forma por ningún tipo de documento público, como otras patentes, literatura científica o técnica, conocimientos derivados de congresos o conferencias técnicas, etc. De una forma genérica, esta idea se suele expresar diciendo que la invención no puede estar comprendida en el estado de la técnica, siendo éste cualquier tipo de comunicación pública hecha en cualquier país y en cualquier idioma.

2) La invención debe tener actividad inventiva, es decir, la nueva invención no debe inferirse de una forma evidente de dos invenciones ya conocidas, de manera que «juntando» dos (o más) invenciones ya conocidas se obtenga la *nueva* invención. En la realidad, la apreciación de la actividad inventiva es una de las facetas más difíciles de evaluar en los problemas actuales que se presentan en las Oficinas de Patentes a la hora de tramitar y conceder patentes.

3) El tercer requisito de patentabilidad es el de aplicación industrial; la invención debe ser útil en alguna industria o debe poder fabricarse; por ejemplo, presuntos móviles perpetuos, mecanismos que incumplen los principios de la Física y suelen infringir las dos primeras leyes de la Termodinámica, aunque sean nuevos y tengan actividad inventiva, no podrían patentarse ya que no poseen aplicación industrial, dado que su funcionamiento es imposible por infringir las leyes básicas de la naturaleza.

La exposición planteada sobre el concepto de patentabilidad es una visión hecha desde el siglo XXI, y en buena parte algunos términos, como el de la actividad inventiva, no estaban desarrollados cuando en España apareció la primera legislación de patentes en 1826. Sin embargo, la noción de patente como *recompensa* por el desarrollo de

una innovación tecnológica o la idea de novedad, ya eran evidentes en el nacimiento del sistema español de Propiedad Industrial. Otra característica del sistema español de patentes del siglo XIX y principios del XX era la obligatoriedad de demostrar la *puesta en práctica* de la invención, es decir, ésta tenía que llegar a materializarse y no podía quedarse en una mera idea. Las diversas legislaciones españolas de patentes de esa época regularon de varias maneras la forma de acreditar la *puesta en práctica*; en cualquier caso, puede apreciarse un cierto paralelismo entre dicho requisito y el exigido actualmente sobre aplicación industrial.

Una vez esbozadas estas cuestiones básicas sobre patentabilidad, procede plantearse el interés del uso de patentes como fuente de información tecnológica.

En su *Memoria de actividades 2001*, la Oficina Española de Patentes y Marcas informa que «no menos del 50% de las patentes contienen tecnología no divulgada por otros medios» [OEPM (2002), p. 35]; así puede entenderse fácilmente que las patentes presenten al menos una doble importancia como fuente de información tecnológica. En primer lugar, y según el propio argumento de la OEPM, porque más de la mitad de las patentes presentadas difunden los conocimientos tecnológicos que proponen únicamente a través de la publicación de la patente, no produciéndose una divulgación técnica por ningún otro medio. Si se considera que en el periodo de estudio (1826-1914) la divulgación científica y técnica tenía una capacidad de impacto mucho menor que hoy en día, habida cuenta del inferior número de medios de comunicación e información que los existentes actualmente, resulta fácil comprender la importancia de acceder a las patentes como fuente de información tecnológica. En segundo lugar, la consulta de las patentes permite tener un acceso directo al pensamiento de los inventores; este hecho evita tener que consultar otras fuentes que podrían no proceder directamente de los propios inventores, y que consecuentemente pudieran no estar contrastadas o contener elementos de información incompletos o incorrectos. La posibilidad de consultar la patente, cuyo contenido procede del solicitante, minimiza la propagación de errores sobre su pensamiento inicial y permite asegurar un mayor conocimiento de la obra objeto de análisis.

Otra visión que igualmente debe considerarse es la validez de las patentes como fuente de información económica. Desde el siglo XX han sido muchos los investigadores en el terreno de la Economía que han realizado estudios cualitativos y cuantitativos sobre el desarrollo económico, usando como parámetros la información proporcionada por las patentes y otros elementos relacionados con los sistemas de protección de la Propiedad Industrial. Si bien el enfoque de este trabajo es eminentemente técnico, se demostrará que de él pueden extraerse conclusiones de ayuda a los expertos de investigación en el campo de la Historia Económica.

1.6. Fuentes

En la investigación realizada se ha comprobado que entre 1826 y 1914 se presentaron en España aproximadamente unas 65.000 patentes³, de las cuales alrededor de 1.300 corresponden a máquinas y motores térmicos, es decir, un 2% del total de las solicitudes de la época. Para encontrar las patentes de interés que son objeto de esta investigación había que idear un método que permitiese obtener esta información sin consultar previamente y de manera individual cada expediente relativo a las patentes españolas. Este método fue variando según distintas fechas del periodo 1826-1914, pero básicamente se centra en el estudio de algunas fuentes indirectas como son: 1) la colección del Boletín Oficial de la Propiedad Industrial (BOPI), 2) los resúmenes anuales del BOPI, 3) la base de datos del equipo de investigación del Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, dirigido por el Profesor Sáiz de la Universidad Autónoma de Madrid, y 4) los libros de registro de entradas de patentes.

Una vez localizadas las patentes presentadas en España entre 1826 y 1914 referentes a máquinas y motores térmicos, había que proceder al estudio de sus memorias descriptivas. Para ello fue necesario estudiar físicamente todos y cada uno de los documentos históricos, que en algunos casos se encontraban doblados y almacenados como legajos desde hacía más de cien años.

Los documentos de patentes ofrecen diversas informaciones que pueden considerarse básicamente de dos tipos: documentación administrativa e información técnica. No sólo se trataba de estudiar las memorias descriptivas de índole técnico, sino que también era necesario analizar la documentación administrativa anexa para conocer otros datos como fecha de presentación, solicitante de la patente o fecha de caducidad, por citar algunos de ellos. Si se considera que cada expediente tiene como media unas treinta páginas, resulta que durante esta investigación se han estudiado más de 40.000 páginas. A continuación se harán algunas consideraciones sobre esta documentación.

1.6.1. *Estudio de la documentación administrativa*

La documentación administrativa de cada solicitud de patente tiene relación con la duración del monopolio asociado a la patente. La información administrativa es muy variada, y pueden distinguirse los siguientes elementos:

a) Datos relativos al solicitante: nombre, distinción entre persona física o jurídica, profesión, domicilio y lugar de residencia.

³ Fuente: elaboración propia a partir de los datos existentes en la página web del Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, según la URL asignada en el mes de mayo de 2004, http://www.oepm.es/internet/archivo_historico/historia.htm y según los resúmenes anuales del BOPI correspondientes al periodo 1903-1914, así como empleando la obra de Sáiz (1999).

b) Datos relativos al representante del solicitante. El solicitante de una patente podía presentar directamente la solicitud o bien hacerlo a través de un representante, normalmente un Agente de la Propiedad Industrial. En este último caso se acompañaba en el expediente una autorización por la que el solicitante delegaba su representación ante la Administración a dicho representante.

c) Datos relativos a la documentación aportada. En el momento de presentar una solicitud de patente era habitual acompañar una relación de documentos que se presentaban para que quedara constancia de ello. Normalmente estos documentos eran: una instancia en la que se hacía constar la petición de una solicitud de patente con los datos del solicitante y la mencionada autorización a su representante si lo tenía; datos sobre el derecho de prioridad⁴; tipo de patente solicitada (invención, introducción —invención *importada* del extranjero—, o certificado de adición sobre una patente ya solicitada); duración del monopolio solicitado (de 5 a 20 años según la legislación en vigor), y las diversas copias de la memoria descriptiva.

d) Datos sobre la vida administrativa de la patente. La Administración se encargaba de anotar en la solicitud las diversas incidencias administrativas que experimentaba la solicitud de patente desde su presentación hasta la caducidad. Este seguimiento se hacía escribiendo dichas incidencias administrativas en una hojas normalizadas que en la Oficina Española de Patentes y Marcas reciben el nombre coloquial de *camisas*; en estas *camisas* los funcionarios iban anotando de su puño y letra todas las incidencias administrativas por las que pasaba la patente hasta llegar a su caducidad. Por ello es importante el estudio de esta documentación, pues a través de ella se puede conocer la fecha de solicitud, fecha de concesión, fecha de puesta en práctica si la hubo, fecha de cesión si la hubo y fecha de caducidad de las diversas patentes, además de otras posibles incidencias, como litigios.

e) Datos sobre los pagos realizados. En los expedientes se encuentran los justificantes de los diversos pagos realizados para el mantenimiento de las patentes. Es necesario comprobar la existencia de estos justificantes, pues a veces en las *camisas* no se registraban adecuadamente los pagos de todas las anualidades, por lo que ha sido necesario comparar la información existente en dichas *camisas* con la de los diversos bonos de pago.

⁴ El derecho de prioridad fue instaurado en 1883 mediante el Convenio de la Unión de París (CUP). Según este Convenio, cualquier nacional de un país que hubiera suscrito el Convenio y que presentase una invención en un país de la Unión, disponía de un año desde la fecha del primer depósito de su invención para solicitar esa misma invención en otro u otros países de la Unión, gozando de *prioridad* frente a terceras personas que quisieran proteger invenciones similares después de la fecha de dicho primer depósito. Sin embargo, para este sector técnico analizado, se ha visto que las primeras peticiones de prioridad extranjera no se reivindicaron en España hasta principios del siglo xx, es decir, casi veinte años después de la firma del CUP. Para más información sobre el derecho de prioridad o el Convenio de la Unión de París, véase el texto sobre recopilación de *Leyes de la Propiedad Industrial* de Tomás de las Heras Lorenzo (2002), especialmente el artículo 4 del CUP, pp. 1050-1052.

f) Datos sobre la puesta en práctica de la invención. Uno de los requisitos legales exigidos para la concesión de la patente es que ésta debía *ponerse en práctica*, es decir, la invención propuesta no debía quedarse como un mero desarrollo teórico, sino que el mecanismo o dispositivo descrito como invención tenía que materializarse y aplicarse en algún uso concreto. La puesta en práctica es, *a priori*, un elemento que permite determinar si las patentes propuestas llegaron realmente a estar en funcionamiento. Sin embargo se ha visto que, en algunos casos, la legislación que exigía esta puesta en práctica daba una visión ambigua de dicho concepto, por lo que cabe pensar que no todas las acreditaciones que se hicieron sobre la puesta en práctica implicaban que la invenciones realmente existiesen ni que éstas llegaran a funcionar.

g) Otros datos. A veces aparece información diversa no contemplada en los anteriores puntos; la más habitual se da cuando se produce la venta o transmisión de los derechos de patente, ya que en estos casos es habitual encontrar un documento notarial en el que se haga referencia a la nueva situación de la patente, así como la identidad de sus nuevos titulares.

1.6.2. *Análisis de la información técnica*

La información técnica de las solicitudes de patente se encuentra en la memoria descriptiva, en la que se hace un desarrollo exhaustivo de la invención para obtener su protección. Además, la invención consta de un título en el que debe darse un mínimo de información sobre su contenido técnico.

La memoria descriptiva está integrada habitualmente por tres partes:

1) Descripción. En ella se plantea el problema técnico que la invención pretende solucionar, a la vez que se detalla exhaustivamente el contenido y las características técnicas de la invención. La descripción es un elemento eminentemente técnico de la solicitud de la patente.

2) Reivindicaciones, nota reivindicativa o nota. Con estas tres denominaciones se hace referencia a la segunda parte del documento de patente. Una vez expuesto con detenimiento el contenido técnico de la invención, deben definirse cuáles son las aportaciones técnicas que la invención plantea frente al estado de la técnica previo ya conocido, y que se desean proteger en forma de monopolio a través de la patente, es decir, las reivindicaciones. Éstas son un documento jurídico-técnico y en ellas se establece cuál es el alcance legal de la protección solicitada, expuesto en características técnicas. Las reivindicaciones deben contener fundamentalmente características técnicas y han de estar fundadas en la descripción.

3) Dibujos (opcionales). A diferencia de las dos anteriores, los dibujos son una parte de la memoria descriptiva de la patente que no tiene por qué existir siempre, aunque en el caso de las patentes objeto del presente estudio puede afirmarse que se dan en un porcentaje muy cercano al 100%. Los dibujos representan la información gráfica

de la explicación técnica expuesta en la descripción, y permiten tener una concepción visual más completa de la invención. Puede asegurarse que prácticamente la totalidad de las solicitudes de patentes relacionadas con el campo técnico de la mecánica constan de algún tipo de dibujo.

En este punto conviene destacar que hasta principios del siglo xx la mayoría de los documentos que se presentaban eran manuscritos, por lo que muchas veces aparece una dificultad adicional en la lectura de la información administrativa y, especialmente, en la lectura y comprensión de las memorias descriptivas.

1.7. Estructura de la obra

Además de este primer capítulo, el texto consta de otros cinco, presentando el último de ellos unas breves conclusiones. El capítulo 2 está destinado a revisar los inicios de las máquinas térmicas, empezando por las primeras máquinas de vapor alternativas. A su vez, este capítulo está dividido en tres grandes apartados. En la primera parte del capítulo 2 se hace una recopilación de lo que se ha considerado como la *prehistoria de las máquinas térmicas*, periodo que abarca desde las primeras propuestas actualmente conocidas hasta la aparición de la máquina de Newcomen. En este punto se revisan las máquinas para elevar agua del español Jerónimo de Ayanz (1606), Thomas Savery (1698) y Denis Papin (1707), así como las máquinas de Newcomen (1712) y Watt (1769). Algunos de estos ingenios fueron patentados en el Reino Unido; por ello en esta parte aparecen referencias a las correspondientes patentes británicas.

En una segunda parte del capítulo 2 se hace una revisión de las patentes solicitadas en España más relevantes sobre máquinas alternativas de vapor, dentro del periodo objeto de este estudio. Finaliza el capítulo 2 con una tercera parte relativa a los primeros motores de aire, que enlaza con el siguiente capítulo. Durante el siglo xix fueron apareciendo, de forma paralela a las distintas mejoras conseguidas en las máquinas de vapor, las primeras máquinas de aire caliente, como los ingenios de Stirling y Ericsson. Posteriormente aparecieron los primeros motores de combustión interna, sin compresión previa, como los de Lenoir, Arbós, o el *motor silencioso* de Otto y Langen. Todas estas máquinas podrían considerarse, empleando un símil evolutivo tecnológico, como diversas *mutaciones* a partir de las primeras máquinas de vapor alternativas, que darían lugar a la aparición de los motores de combustión interna en la segunda mitad del siglo xix.

El capítulo 3 está dedicado a la evolución de los motores de combustión interna alternativos. Este capítulo se inicia con la figura de Beau de Rochas como padre del ciclo teórico del motor de cuatro tiempos, analizando su patente francesa de 1862. Después se estudia la figura de Otto y la *Gasmotorenfabrik Deutz* así como las diversas patentes que presentaron en España, a la vez que se hace un estudio comparado de las diferencias existentes entre las patentes del primer motor Otto de cuatro tiempos en España, Francia, Alemania y los Estados Unidos. Continúa el capítulo con un

breve estudio de las patentes que Langen y Daimler, colaboradores de Otto en la *Gasmotorenfabrik Deutz*, presentaron en España. También se analizan las patentes que Diesel solicitó en España y se comparan las diferencias entre las primeras patentes de Diesel en varios países, principalmente España, Francia, Alemania, Reino Unido y los Estados Unidos.

El capítulo sigue con un estudio de algunas de las patentes presentadas en España que se han considerado más relevantes en el campo de los motores alternativos de combustión interna, ilustrándolas y haciendo comentarios al respecto. Después de hacer una revisión de las patentes españolas de Marc Birkigt, ingeniero de la empresa *Hispano-Suiza* que fue orgullo de la industria española en los primeros años del siglo xx; se ha considerado relevante hacer mención a la figura de Birkigt debido a la importancia que tuvo la *Hispano-Suiza* en el desarrollo tecnológico nacional. Termina el tercer capítulo con la revisión de algunas patentes presentadas en España durante los primeros años de la década de 1910 referentes a motores de dos tiempos sobrealimentados, lo que muestra la existencia de estos ingenios antes del primer conflicto bélico mundial.

El cuarto capítulo está dedicado a la que se ha considerado como tercera trayectoria tecnológica de las máquinas térmicas: las turbomáquinas. Su aparición se produce a finales del siglo xix con la turbina de vapor de Gustaf De Laval en 1883 y la de Parsons en 1884. El desarrollo técnico experimentado en este campo fue muy rápido, surgiendo posteriormente otras turbinas como las de Rateau o Curtis. También hubo intentos por conseguir turbocompresores rotativos, entre los que cabe citar los de Parsons y Rateau, así como turbinas de gas. Sin embargo, el desarrollo de estas turbomáquinas se vio frenado por el limitado conocimiento existente en esas fechas sobre la Metalurgia y la Aerodinámica; hasta que estas ciencias no estuvieron lo suficientemente desarrolladas no se pudieron solucionar determinados problemas, como la entrada en pérdida de los turbocompresores rotativos. A pesar de ello, no faltaron numerosas propuestas, en forma de patentes, sobre turbinas de gas. Finaliza el capítulo con algunas propuestas de turbinas realizadas por los insignes ingenieros Nikola Tesla y Viktor Kaplan.

Los capítulos 2, 3 y 4 componen el núcleo central de esta obra, pero en el capítulo 5 se pretende obtener además algunos resultados que también sean útiles en el terreno de la Historia Económica. Aunque este trabajo tiene una componente básicamente tecnológica, también puede realizar algunas aportaciones en el ámbito histórico-económico. No se tiene conocimiento que, hasta la fecha de edición de la tesis doctoral que dio origen a este texto, se hubiera realizado ningún análisis de tipo eminentemente técnico basado en el estudio de la documentación histórica de patentes de una nación. Por tanto, este trabajo también podrá emplearse para plantear algunas cuestiones típicas en el campo de la Historia Económica y responder con un ejemplo tecnológico claro, como es el que ocupa este trabajo de investigación, y que resulta de una importancia clave para entender algunas pautas del desarrollo económico. Concretamente, se desea saber si de la evolución que se detalla en esta obra es

posible responder a determinadas cuestiones que interesan a los historiadores económicos y que se pueden resumir en los siguientes puntos:

1) Análisis estadístico de las patentes e influencia de la tecnología en el desarrollo económico nacional. En el capítulo 5 se incorporan algunas estadísticas realizadas en el ámbito de esta investigación que permiten conocer la distribución de las patentes por ramas tecnológicas según la agregación hecha en los capítulos 2, 3 y 4, los países de residencia de los solicitantes de patentes (o la región de residencia si habitaban en España), así como determinar el número de patentes que caducaron por llegar al fin de su vida útil. Se trata, en definitiva, de tener una visión general sobre la realidad de las patentes de máquinas térmicas en España, relacionándola con el contexto económico nacional.

2) La importancia de las instituciones. Destacados historiadores económicos han planteado en numerosos trabajos la influencia que ejercen las distintas instituciones sobre los procesos económicos. Aquí se intentará aportar luz a estas cuestiones, ofreciendo pruebas sobre si los sistemas de patentes, las legislaciones de patentes o los regímenes políticos (en definitivas, las instituciones) pueden influir en los procesos de innovación y consecuentemente sobre la economía. Un ejemplo de cómo afrontar este análisis es el siguiente: analizando algunos casos de patentes relevantes, se compararán las patentes que de una misma invención se realizan en varios países; en principio cabría pensar que esa misma invención se debe corresponder con patentes iguales en los distintos países donde se protejan. Desde estas páginas se estudiará si esto es así y, si no lo es, se intentará determinar por qué se producen estas diferencias entre los documentos de patentes, y se planteará si ello puede deberse a las influencias institucionales.

3) La aplicación de las teorías de la denominada «economía evolutiva» para explicar los procesos de innovación y cambio tecnológico. En este punto se pretende analizar si tiene sentido y es posible plantear que unos desarrollos tecnológicos determinados pueden ser condicionantes para desarrollos posteriores, de manera que exista una *dependencia tecnológica* («*path-dependence*») entre una invención y las posibles invenciones ulteriores o bien entre diversos campos técnicos.

4) Invenciones radicales e invenciones incrementales. Algunos autores, como Mokyr (1990), han señalado que las invenciones pueden clasificarse según dos grandes grupos: 1) aquellas que son completamente *radicales* y que abren nuevos campos tecnológicos (macroinvenciones, según Mokyr) y 2) las que suponen mejoras *incrementales* respecto de las anteriores (microinvenciones, según Mokyr) y vienen a representar perfeccionamientos de una tecnología ya existente. En definitiva, se trata de saber si, considerando el campo técnico de las máquinas térmicas, se puede realizar claramente una clasificación como la anterior, de manera que se vean invenciones *radicales*, que supongan una «ruptura» con el estado técnico anterior, e invenciones *incrementales* que generen nuevos desarrollos a las invenciones ya conocidas. Si existe esta diferencia, ¿cuáles son más importantes, las invenciones radicales o las incrementales?

5) Historia de la empresa. ¿Se comportan las empresas como seres vivos, que evolucionan y se adaptan a las condiciones de su «ambiente» (su mercado, la sociedad en la que viven, el sistema político en que se desarrollan)? Se trata de comprobar en cierta manera si las ideas «evolutivas» planteadas en el punto 3 de este epígrafe tienen su continuación en la empresa, utilizando para ello las patentes del sector técnico de las máquinas térmicas. Si las empresas tienen unas determinadas estrategias a la hora de proteger sus invenciones en ciertos países, y éstas van cambiando con el tiempo, ¿responden a algún criterio, o son caprichos difícilmente justificables? ¿Aportan las patentes algún tipo de información a este respecto?

El planteamiento que se ha hecho en estos cinco puntos será desarrollado con más detenimiento a lo largo del capítulo 5. Aquí se ha querido hacer sólo una breve exposición, ya que a lo largo de los capítulos 2, 3 y 4 se verán distintos casos reales de patentes de máquinas y motores térmicos que pueden dar respuesta a estas preguntas, y que se sistematizarán de una forma más adecuada en el capítulo 5.

El texto finaliza con un epílogo a modo de conclusiones generales, que resume de forma genérica los principales puntos desarrollados a lo largo de la obra.

2. EL NACIMIENTO DE LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

La relación del hombre con la ingeniería térmica es tan antigua como su vínculo con el fuego. A pesar de ello tuvieron que pasar miles de años para que fuese posible obtener trabajo mecánico a partir de una máquina térmica. Aunque la sociedad en general tenga a James Watt como paradigma de la Revolución Industrial, puede afirmarse que fue la máquina de Thomas Newcomen la que supuso un cambio radical en el estado de la técnica de aquella época; no obstante, hubo otros hombres antes de Newcomen que igualmente legaron su conocimiento técnico a la posteridad.

En este capítulo se hace una revisión de las primeras máquinas de vapor. Sin duda, en ellas puede verse el inicio de la ingeniería termodinámica, aunque su desarrollo teórico fue más tardío, pues no fue hasta bien entrado el siglo XIX cuando Sadi Carnot publicó en 1824 el que probablemente deba ser considerado como primer texto de Termodinámica (véase la bibliografía). Desde estas páginas se analizan dos invenciones que pueden considerarse antecedentes de las primeras máquinas de vapor: los ingenios para elevar el agua del español Jerónimo de Ayanz y del británico Thomas Savery. A continuación se hace un breve repaso de las máquinas de Papin, Newcomen y Watt para seguir con el estudio de algunas de las patentes más relevantes presentadas en España entre 1826 y 1914 relativas a máquinas alternativas de vapor. Finaliza el capítulo con una revisión de los primeros motores de aire caliente, ingenios de *transición* entre las máquinas de vapor alternativas y los primeros motores de combustión interna alternativos.

2.1. La prehistoria de las máquinas térmicas: de la eolípila a la máquina de Newcomen

No resulta fácil establecer de manera clara y precisa cuál fue el principio de las máquinas térmicas; sin embargo, ha sido aceptado generalmente considerar a las eolípilas egipcias como antecedentes lejanos de las primeras máquinas térmicas. Una eolípila era un dispositivo que constaba de una esfera hueca en la que había dos tubos situados en extremos diametralmente opuestos. En el interior de la esfera se introducía agua, que se ponía a hervir simplemente calentándola; el agua convertida en vapor sa-

lía de la esfera por los tubos anteriormente citados, que hacían de tobera de escape del vapor por lo que, a su salida del conducto, se producía la rotación de la esfera (véase la figura 1). En cualquier caso no deben verse en las eolípilas más que elementos con fines religiosos, ornamentales o lúdicos, que estaban basadas en el principio de acción y reacción de Newton; hasta la fecha se desconoce aplicación práctica alguna de estos ingenios.

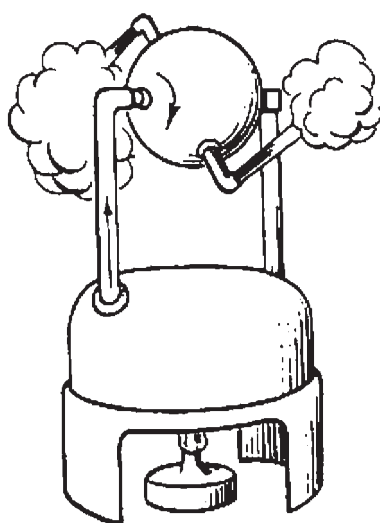


Figura 1.—Recreación de una eolípila

Debieron transcurrir más de mil quinientos años desde la existencia de las eolípilas hasta que apareció un nuevo ingenio basado en la aplicación práctica de la ingeniería térmica. Desde estas páginas se propone una revisión de algunas máquinas, sin duda relevantes y quizás no completamente conocidas por expertos y aficionados, con la idea de fomentar su divulgación y sin pretender cuestionar en ningún momento estos ingenios o el pensamiento de sus inventores.

2.1.1. *El antecedente español: la invención de 1606 de Jerónimo de Ayanz y Beaumont para la elevación de agua y desagüe de las minas*

El 1 de septiembre de 1606 el Rey Felipe III otorgó a Jerónimo de Ayanz y Beaumont una cédula de privilegio real (el antecedente de las actuales patentes) que le permitía disfrutar del derecho exclusivo de unas cincuenta invenciones. Una de ellas era un ingenio de vapor para elevar el agua; dicho ingenio constaba de una caldera esférica, llena de agua hasta más de la mitad de su volumen y ubicada sobre un hornillo semiesférico (figura 2).

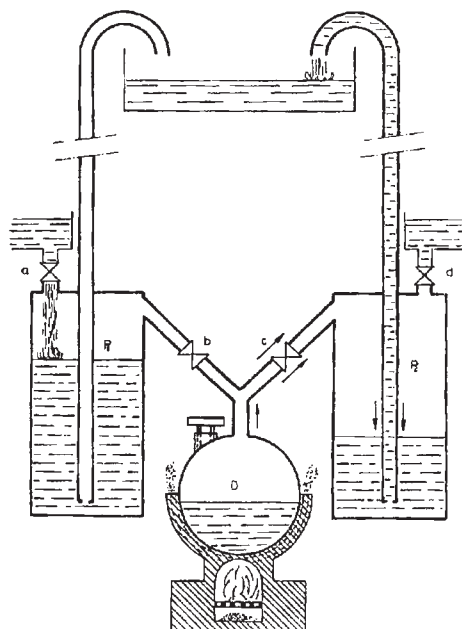


Figura 2.—Esquema de la máquina de Jerónimo de Ayanz

Fuente: García Tapia (1990), *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*, página 83.

El agua que se quería elevar se conducía por gravedad mediante sendas válvulas antirretorno, (a) y (d), a dos depósitos de paredes gruesas. El vapor de la caldera (D) llegaba alternativamente a estos depósitos mediante las válvulas (b) y (c). Al acceder el vapor a cada uno de estos depósitos, se conseguía elevar una cantidad determinada de agua por la presión alcanzada al cerrar las válvulas antirretorno. Este proceso podía regularse de forma continua abriendo y cerrando las válvulas (b) y (c) de forma adecuada.

La figura y obra de Jerónimo de Ayanz y Beuamont, noble y militar navarro que vivió entre 1553 y 1613, ha sido descrita por el Profesor Nicolás García Tapia, de la Universidad de Valladolid. El Profesor García Tapia es autor de una dilatada bibliografía sobre la vida y los trabajos de Ayanz. Tal como se indica en estos textos, Ayanz fue un inventor muy prolífico; prueba de ello son las más de cincuenta invenciones que comprendía la cédula de privilegio real de 1606.

En el verano de 1597 Jerónimo de Ayanz fue nombrado por el Rey Felipe II Administrador General de las Minas del Reino [García Tapia (2001), pp. 124-130]; este hecho quizás pudo despertar en él la necesidad de solucionar la problemática de la evacuación de las aguas en las minas. De hecho, la máquina de Ayanz anteriormente descrita, realmente es una bomba para el achique de agua accionada por vapor; no es fácil su consideración como una máquina térmica en el sentido actual de la misma. Sin embargo, en esta máquina puede verse un avance del estado de la ingeniería térmica si, tal y como se recoge en el texto de García Tapia (2001), pp. 229-234, este ingenio

llegó realmente a ponerse en práctica. Ayanz también había previsto la existencia de dos calderas en esta máquina, una funcionando y otra en espera, para disponer de vapor en forma continua [García Tapia (2001), pp. 218-219]; esta característica era común con la máquina de Savery, como se verá en el epígrafe siguiente. En otra configuración se preveía un dispositivo con sucesivos depósitos, escalonados en altura, en los que se repetían las operaciones de llenado de líquido y suministro de presión mediante vapor; con ello se conseguía la posibilidad de aumentar la cota de elevación del agua, opción que era necesaria si el agua a achicar estaba a una profundidad superior a los 10 metros. El texto completo de la cédula de privilegio real de Ayanz y su transcripción pueden encontrarse en la obra de García Tapia (1990), pp. 109-256.

A pesar de la utilidad que pudiera suponer esta invención para su época, todo indica que su vida y su éxito comercial fueron muy limitados, por no decir nulos. En cualquier caso, se puede reconocer en la máquina de Ayanz uno de los primeros desarrollos tecnológicos que obtenía un trabajo de bombeo mediante un proceso térmico, y un esbozo de ingeniería térmica. El Profesor García Tapia expone [García Tapia (2001), pp. 242-244] que a pesar de los informes técnicos favorables sobre sus invenciones, Ayanz no consiguió el apoyo del soberano para explotar los yacimientos minerales del nuevo continente con ayuda de su máquina. Parece que hechos como éstos influyeron en el ánimo de Ayanz, por lo que abandonó el cargo de Administrador General de las Minas del Reino para dedicarse a la explotación particular de minas, aunque con éxito muy exiguo. Desde una perspectiva histórico-económica cabe preguntarse por qué esta invención, que pudo suponer un avance en la explotación minera de su época, pasó prácticamente sin ningún tipo de éxito comercial. Quizás una hipótesis que pueda justificar esta nula repercusión técnica pueda encontrarse en un inmovilismo tecnológico asociado a la época, hecho que pondría de manifiesto la importancia de las instituciones (en este caso un régimen político basado en una monarquía absoluta donde los derechos de Propiedad Industrial estaban aún lejos de ser reconocidos).

El Profesor García Tapia plantea la posibilidad de que la máquina de Ayanz fuese conocida en la Inglaterra del siglo xvii por Edward Somerset, Marqués de Worcester, basándose entre otros hechos en el contenido técnico de su texto [Somerset (1663), pp. 70-73]. En cualquier caso, no existen pruebas documentales que permitan asegurar estos hechos, sino que son hipótesis recogidas por el propio autor y otros expertos [García Tapia (2001), pp. 222-223 y nota 10].

La máquina de Ayanz no es el único ingenio térmico que apareció en el siglo xvii; también existen diversas referencias a la máquina de vapor del italiano Giovanni Branca (1629), si bien parece que éste era un mecanismo parecido a una eolípila, pues constaba de una caldera en forma de cabeza humana que despedía vapor por su boca; el chorro de vapor servía para mover una rueda de álabes [García Tapia (2001), p. 222, y Kirby *et al.* (1990), pp. 151-152].

No resulta factible estimar el posible impacto que hubiese tenido en la técnica y la sociedad de principios del siglo xvii una invención como la máquina de Ayanz. En cualquier caso la realidad histórica es que hasta que no apareció la máquina de Savery en

1698 no se dieron unas condiciones (no sólo técnicas, sino también sociales y económicas) que permitieran un nuevo desarrollo de otros ingenios de vapor.

2.1.2. La patente de Savery de 1698 para el desagüe de las minas

Tradicionalmente se ha reconocido en la máquina de Savery a la primera de las máquinas de vapor, si bien en sentido estricto la máquina de Savery debe entenderse como una bomba para elevar agua accionada por vapor, en cierta manera similar a la de Ayanz. Probablemente, la importancia dada a la patente otorgada a Savery respecto a sus años de duración y privilegios concedidos (en detrimento de otras máquinas posteriores, como la de Newcomen), haya sido un factor predominante que explique la relevancia de dicha invención.

El 25 de julio de 1698 Thomas Savery obtuvo una patente en el Reino Unido (patente británica GB 356 A.D. 1698) relativa a «*Maquinaria para elevar el agua, proporcionar movimiento a los molinos, etc.*». La patente inicial de Savery era un documento eminentemente jurídico de cuatro páginas en el que prácticamente no se ofrecía ninguna información técnica. Esta patente tuvo un primer periodo de vigencia de catorce años, si bien poco tiempo después de la concesión Savery obtuvo una extensión de la duración de su patente en veintiún años adicionales a contar después de la fecha de expiración de ese primer periodo de catorce años; por ello el monopolio tuvo una duración total de treinta y cinco años. En la misma patente se argumenta que esta longeva duración era debida a las mejoras realizadas por Savery en su máquina y por las expectativas que la invención había generado pues, según el propio inventor, podía emplearse, entre otras aplicaciones, para el drenaje de las minas y el suministro de agua a las ciudades.

El 22 de septiembre de 1701 Thomas Savery presentó una descripción detallada de su invención, así como unos dibujos de la misma. La figura 3 muestra el dibujo original de su máquina, tal y como aparece en la patente británica GB 356 de 1698. De manera escueta, puede decirse que la máquina de Savery constaba básicamente de una caldera principal L, auxiliada por otra caldera D, dos depósitos P_1 y P_2 , así como una serie de conductos, válvulas y llaves de mando. Savery describe en su patente el funcionamiento de su máquina que, de manera simplificada, se expone a continuación.

Las calderas suministraban vapor de forma continua a los dos depósitos P_1 y P_2 alternativamente; esos depósitos eran rociados exteriormente con agua, por lo que se producía su enfriamiento y consecuentemente una depresión en su interior. Esa depresión era aprovechada para succionar el agua que se deseaba elevar hacia los depósitos P_1 o P_2 . Cuando el depósito P_1 (o el P_2) estaba lleno de agua, una masa de vapor procedente de la caldera presionaba el agua del depósito, expulsándola hacia arriba. La idea de tener dos depósitos P_1 y P_2 se justificaba por el hecho de tener uno de ellos operativo permanentemente, pues cuando uno se vaciaba, el otro se llenaba de agua.

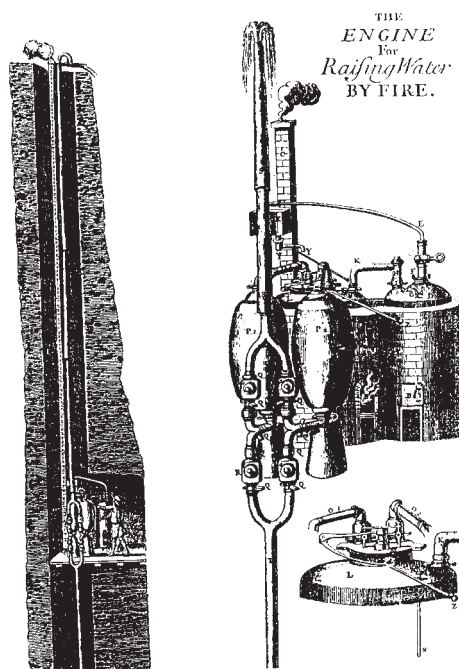


Figura 3.—Dibujos de la patente británica GB 356 A.D. 1698, de Thomas Savery. The Patent Office United Kingdom (TPOUK), Newport (Reino Unido)

Las tuberías y válvulas de que constaba la máquina de Savery servían para la regulación de su operación. En otra obra del autor de este texto [Amengual (2004 a), pp. 160-163], aparece, además de una explicación más detallada, un esquema gráfico sobre el funcionamiento de la máquina de Savery.

Se pueden encontrar semejanzas entre la máquina de Savery y la de Ayanz; ambas son bombas para elevar agua que emplean la presión del vapor generado en las calderas para aplicarlo al agua acumulada en un depósito. Sin embargo, la de Savery, a diferencia de la de Ayanz, aprovechaba el vacío generado por el enfriamiento del vapor para conseguir una primera succión de agua, expulsando a continuación dicha agua en la siguiente fase del procedimiento mediante el empuje por el vapor. La máquina de Ayanz no empleaba esta succión, sino que dejaba que el agua se acumulase por gravedad en sus respectivos depósitos, para luego ser elevada por la acción del vapor a presión procedente de sus calderas. En la obra de Buckland (1986), puede encontrarse más documentación sobre la máquina de Savery.

2.1.3. Los ingenios de Papin

Desde un punto de vista termodinámico actual, la catalogación de las máquinas de Ayanz y Savery como máquinas térmicas es cuando menos controvertida, pues en sentido estricto el único trabajo mecánico obtenido de ellas es el de bombeo. Además,

podría cuestionarse la actividad inventiva⁵ de la máquina de Savery a la vista de los conocimientos técnicos de la época. Como puede comprobarse, la diferencia entre la máquina de Savery frente a la de Ayanz radica en que aquélla realizaba la succión del agua mediante el vacío producido por el enfriamiento y condensación del vapor, con lo que conseguía unos pocos metros de elevación. Y parece ser que la generación de esa depresión ya era conocida por Papin unos años antes de que Savery patentase su máquina en 1698.

Tal y como apuntan Rolt y Allen (1977), p. 24, Denis Papin (discípulo de Christiaan Huygens) demostró entre 1690 y 1695 el principio en el que se basaría años más tarde la máquina de Newcomen. Según Rolt y Allen, Papin construyó un cilindro cerrado, en cuya parte superior se disponía un émbolo móvil. En el interior del cilindro había una cantidad de agua, de manera que si se ponía el cilindro a calentar, llegaría un momento en que el agua se convertiría en vapor y el émbolo se elevaría hasta alcanzar el extremo superior del cilindro. Si en ese momento cesaba el aporte de calor y el exterior del cilindro se refrigeraba con agua, el vapor se condensaba, produciéndose una depresión en el interior del cilindro y, por tanto, la posibilidad de crear un trabajo mecánico con el movimiento descendente del émbolo a expensas de la diferencia de presión con respecto a la atmosférica. Sin embargo, Rolt y Allen piensan que probablemente este experimento sólo quedó en un *juguete de laboratorio*, pues Papin no fue capaz de superar las dificultades prácticas que se presentaron al realizar este dispositivo a escala industrial.

A pesar de esas dificultades, todo hace sospechar que Papin continuó con sus investigaciones. Rolt y Allen (1977), p. 28, también indican que en 1707 Papin presentó ante *The Royal Society* un proyecto de mejora a partir de la máquina de Savery (véase la figura 4). En ella, el agua a evacuar era introducida en la máquina por gravedad mediante el conducto GG, y de ahí era conducida hacia el depósito NN; ello se conseguía por el movimiento de un pistón FF, que flotaba sobre el agua, accionado por el vapor generado en la caldera AA. Como apunta García Tapia (2001), p. 225, esta máquina de Papin tenía en común con la de Ayanz que la alimentación del agua a achicar se producía por gravedad, a diferencia del dispositivo de Savery en el que el agua a elevar llegaba a los depósitos por succión. En todo caso, parece que Papin no fue tan precavido como Ayanz y Savery, pues no llegó a patentar ninguna de sus invenciones. Por otro lado, la proximidad temporal con la máquina de Newcomen ha podido hacer caer este ingenio en el olvido.

⁵ Se dice que una invención tiene actividad inventiva si, para un experto en la materia, no deriva de una manera evidente del estado de la técnica existente (recuérdese la explicación dada en el epígrafe 1.5, pág. 28). Para más información sobre el concepto de actividad inventiva véase el Artículo 8 de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes, que puede encontrarse en el texto de Heras Lorenzo (2002), p. 378. Este concepto de actividad inventiva está inspirado en la definición hecha en el artículo 56 del *Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas* (o Convenio de Munich), de 5 de octubre de 1973, que también puede consultarse en el texto de Heras Lorenzo, p. 513. Para más información sobre la actividad inventiva y su evaluación a través del denominado «*Problem Solution Approach*» véanse sendos artículos de Szabo, 1986 y 1995.

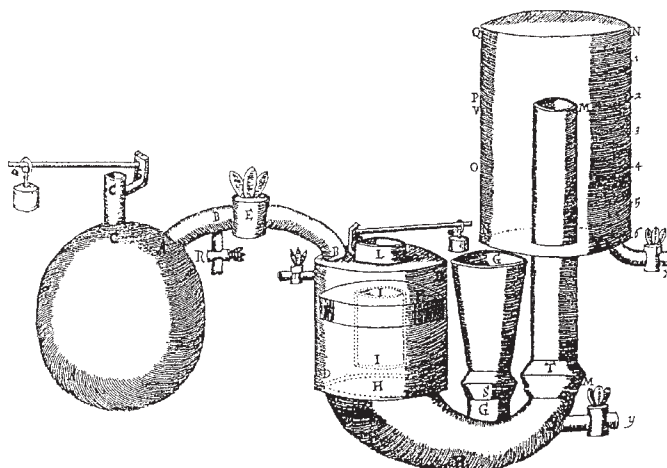


Figura 4.—Imagen de la máquina de vapor de Papin del año 1707

Fuente: GARCÍA TAPIA (2001), p. 224.

2.1.4. La máquina de Newcomen

En 1712 el británico Thomas Newcomen construyó en Dudley Castle, Tipton, West Midlands, Reino Unido, una máquina apta para la extracción de agua que competía con la de Savery. Según se ha comentado en el epígrafe 2.1.2, la patente de Savery tuvo una duración de treinta y cinco años, es decir, su caducidad se produjo en 1733 extendiéndose la protección más allá de la invención que éste realmente había realizado, ya que el monopolio se concedió, en general, para una máquina que conseguía la elevación del agua usando la potencia del fuego. Ello impidió que Newcomen pudiera obtener una nueva patente por su invención, por lo que se vio obligado a tomar acuerdos comerciales con Savery para poder explotar su máquina. Éste falleció en 1715, fecha a partir de la cual Newcomen tuvo que negociar la explotación de su invención con los herederos de Savery, colaboración que perduró hasta la expiración de la patente. Dado que Newcomen murió en 1729, él nunca pudo explotar su invención personalmente al margen de la de Savery. El funcionamiento de la máquina de Newcomen era el que se describe a continuación, según se comprueba de la observación de la figura 5.

La máquina constaba de una caldera que producía vapor a presión atmosférica, vapor que se llevaba mediante una válvula de admisión al cilindro existente encima de dicha caldera durante la carrera ascendente del pistón. Cuando el vapor llenaba el cilindro se cerraba su admisión mediante dicha válvula y, a continuación, se producía su condensación mediante la inyección de un chorro de agua fría, lo que generaba un vacío en el interior del cilindro. En ese momento la presión atmosférica actuaba sobre la parte superior del pistón (de ahí el nombre que recibía la máquina de Newcomen como *máquina atmosférica*), forzándolo a realizar la carrera descendente del émbolo; esta carrera descendente era la que producía el trabajo de la máquina, pues en su movimiento accionaba la subida del vástago de la bomba, lo que producía el movimiento de

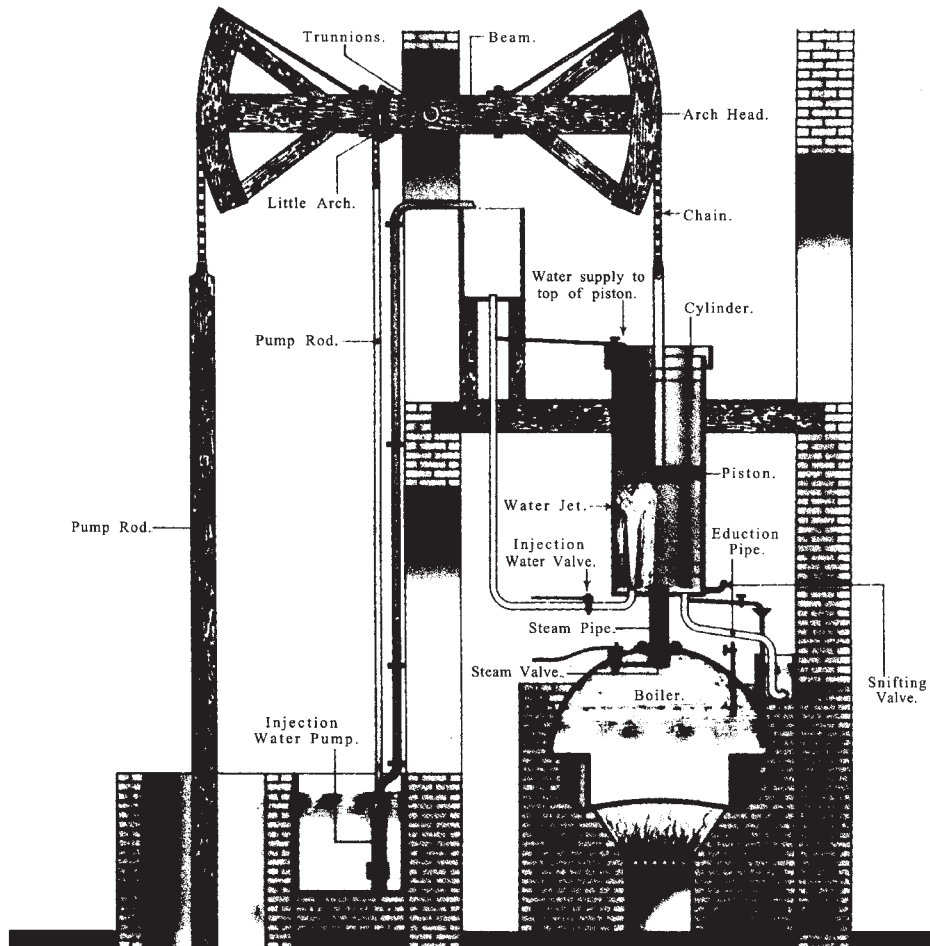


Figura 5.—Esquema de la máquina de Newcomen de 1712 según puede verse en un folleto de *The American Society of Mechanical Engineers*, obtenido de su página web, según su URL del mes de agosto de 2004 <http://www.asme.org/history/brochures/h070.pdf>

achique del agua. Después, el propio peso de dicho vástago hacía que se elevase de nuevo el pistón, momento en el que se abría la válvula del vapor y éste volvía a llenar el cilindro, con lo que se completaba un nuevo ciclo.

Fácilmente pueden comprobarse las diferencias existentes entre las máquinas de Savery y Newcomen; mientras aquella carecía de elementos móviles, ésta tenía un pistón encargado de producir el trabajo útil. También puede verse la similitud conceptual existente entre el émbolo ideado por Papin y el émbolo de la máquina de Newcomen, si bien la complejidad de la máquina de éste es mucho mayor que la del primer dispositivo de Papin. El émbolo de la segunda máquina de Papin actuaba directamente so-

bre el agua a elevar, mientras que el émbolo de la máquina de Newcomen transmite el movimiento a un eje, lo que inicia la futura versatilidad de posibilidades que trae, pudiendo actuar en mecanismos muy diversos. Los lectores interesados en obtener información más detallada sobre la máquina de Newcomen podrán encontrarla en el texto de Rolt y Allen (1977).

La importancia de la máquina de Newcomen no queda limitada a una simple bomba para la elevación del agua, sino que la existencia de su émbolo móvil la convertía en una fuente de energía útil para prácticamente cualquier tipo de aplicación. Por tanto, desde una perspectiva económica, la aparición de esta máquina supuso la base de lo que sería no sólo una nueva economía, sino también del nuevo orden social que conllevó la Revolución Industrial. Esta influencia no quedó restringida sólo a Inglaterra, ya que pronto se extendió por todo el continente europeo. Helguera y Torrejón (2001) explican en su estudio que la máquina de Newcomen tuvo una importante repercusión en España, aunque quizás algo más tardía con respecto a lo que ocurrió en otros países de nuestro entorno europeo.

A la vista de las diferencias técnicas entre las máquinas de Savery y Newcomen, resulta más que cuestionable la sobreprotección otorgada a la patente de aquél, lo que impedía que terceros pudieran proteger nuevas invenciones, como le ocurrió a Newcomen. Éste es un claro ejemplo de cómo una protección excesiva puede ser un contratiempo para el desarrollo tecnológico, pues la patente de Savery cubría desarrollos no hechos por su inventor tal y como se ha visto en la pugna Savery-Newcomen. Así pues, un marco de protección inadecuado (en definitiva la influencia de las instituciones) puede desfavorecer la evolución técnica.

2.1.5. Las patentes de Watt: el condensador y la máquina de doble efecto

En 1769 se produjo una nueva revolución en el terreno de la ingeniería térmica cuando a James Watt le fue concedida una patente en el Reino Unido que tenía por título «*Un nuevo método para disminuir el consumo de vapor y de combustible en máquinas térmicas*». El documento inicial de Watt (patente británica GB 913 A.D. 1769) constaba de tres páginas, y en él no se acompañaba dibujo alguno (véase la figura 6). La protección dada inicialmente a la invención fue de 14 años; sin embargo en 1775 Watt presentó una adición al documento de 1769, en la que no se hacían nuevas consideraciones técnicas, sino que se ampliaba la protección de la patente en veinticinco años adicionales desde esa fecha, es decir, su caducidad no llegaría hasta 1800.

Watt enumera en su patente siete mejoras para reducir el consumo de vapor y de combustible; de manera resumida dichas mejoras eran las siguientes:

- 1) La primera de ellas trata sobre la adiabaticidad del cilindro; Watt propone un mayor aislamiento del mismo mediante un encapsulamiento de madera u otro material aislante, de forma que permanentemente haya una capa de vapor u otro cuerpo calien-



A.D. 1769 N° 913*.

Steam Engines, &c.

WATT'S EXTENSION.

AN ACT for vesting in JAMES WATT, Engineer, his executors, administrators, and assigns, the sole use and property of certain Steam Engines, commonly called Fire Engines, of his Invention, described in the said Act, throughout His Majesty's Dominions, for a limited time. [22nd May 1775.]

5 WHEREAS His most Excellent Majesty King George the Third, by His Letters Patent under the Great Seal of Great Britain, bearing date the Fifth day of January, in the ninth year of His reign, did give and grant unto James Watt, of the City of Glasgow, Merchant, his executors, administrators, and assigns, the sole benefit and advantage of making and vending certain
 10 engines by him invented for lessening the consumption of steam and fuel in fire engines, within that part of His Majesty's Kingdom of Great Britain called England, the Dominion of Wales, and the Town of Berwick-upon-Tweed, and also in His Majesty's Colonies and Plantations abroad, for the term of fourteen years, with a proviso, obliging the said James Watt, by
 15 writing under his hand and seal, to cause a particular description of the nature of the said Invention to be inrolled in His Majesty's High Court of Chancery within four months after the date of the said recited Letters Patent: And whereas the said James Watt did, in pursuance of the said proviso, cause a particular description of the said engine to be inrolled in the said High
 20 Court of Chancery upon the Twenty-ninth day of April, in the year of our Lord One thousand seven hundred and sixty-nine, which description is in the words and form or to the effect following; that is to say, my method of lessening the consumption of steam, and consequently fuel, in fire engines, consists of the following principles:—First, that vessel in which the powers of

Figura 6.—Primera página de la patente británica de Watt GB 913 A. D. 1769, en la que se describe la existencia del condensador en la máquina de vapor. The Patent Office UK (TPOUK), Newport (Reino Unido)



te entre el cilindro y su revestimiento, minimizando las pérdidas de calor. Así también se impedía que ninguna otra sustancia que estuviese más fría que el vapor pudiera ponerse en contacto con el cilindro.

2) La segunda propuesta plantea el empleo de unos depósitos distintos al cilindro, que denomina *condensadores*, donde evolucionaría el vapor para su condensación. Según Watt, los condensadores deben permanecer a la temperatura del aire at-

mosférico mientras la máquina esté en funcionamiento, para lo que deberán refrigerarse con agua u otros medios.

3) En tercer lugar Watt indica que los gases que estén en el condensador y no puedan ser condensados, deben extraerse de él para que no perjudiquen el funcionamiento de la máquina. Para ello se emplearían bombas impulsadas por la propia máquina o bien se emplearían otros dispositivos que no llega a describir.

4) Como cuarta mejora Watt sugiere descargar el vapor directamente a la atmósfera en los casos en que no se pueda disponer de agua en abundancia para la refrigeración.

5) La quinta solución se refiere a máquinas que tengan otra configuración geométrica, y propone una construcción distinta para la máquina en aquellas situaciones en las que se necesite un movimiento alrededor de un eje.

6) Como sexta alternativa Watt plantea hacer una refrigeración de manera que el vapor no llegue al estado líquido, y poder emplear así máquinas que puedan funcionar alternativamente con la expansión y compresión del vapor.

7) Por último, recomienda hacer una lubricación de diversos elementos de la máquina sin emplear agua. Concretamente sugiere hacer una lubricación del pistón y de otras partes móviles de la máquina con aceite, cera, grasa animal o metales líquidos.

Esta patente consagra a Watt como una figura clave para el éxito de la Primera Revolución Industrial. No obstante, ésta no sería su única aportación técnica, ya que contribuyó a otros desarrollos de la máquina de vapor, como las reflejadas en sus patentes británicas GB 1.306 A.D. 1781 y GB 1.321 A.D. 1782. En esta última patente se describe el empleo del émbolo de doble efecto, que tanta importancia tuvo en las industrias del siglo XIX, así como en el desarrollo del ferrocarril como un nuevo medio de transporte; en la figura 7 puede verse uno de los dibujos de esta patente.

Helguera y Torrejón sostienen en su texto ([2001], pp. 251-252] que la introducción de la máquina de doble efecto en el continente europeo fue debida a Agustín de Bethencourt y Molina. Según estos autores Bethencourt viajó a finales de 1788 a Birmingham para entrevistarse con Watt y tener así un mayor conocimiento de la máquina de doble efecto. Aunque tal entrevista tuvo lugar, Bethencourt no consiguió ver ninguna de esas máquinas; sin embargo, a su regreso camino de Londres, pudo ver brevemente una máquina de este tipo en Albion Mills, lo que fue suficiente para que el ingeniero canario reconstruyera deductivamente el principio de la doble alimentación del vapor. Bethencourt dio a conocer el funcionamiento de esa máquina ante la Academia de Ciencias de París a finales de 1789 en su *Mémoire sur une machine à vapeur à double effet*. Helguera y Torrejón también indican que, previamente a esta presentación, Bethencourt había hecho una maqueta de dicha máquina que sirvió de modelo para que los hermanos Jacques Constantin y Augustin Charles Perier construyeran en su fábrica de Chaillot (París) la primera máquina de doble efecto de la Europa continental.

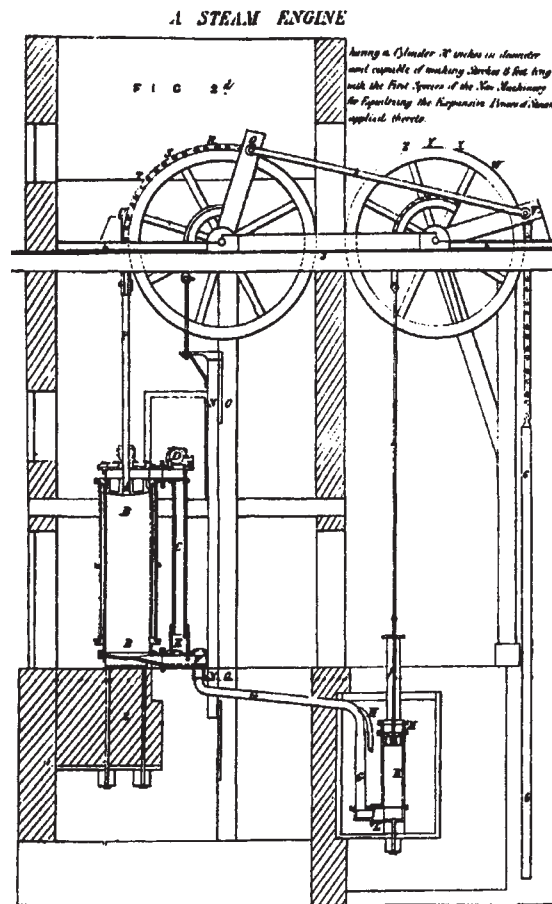


Figura 7.—Una de las figuras de la patente británica de Watt GB 1.321 A. D. 1782, donde se describe el funcionamiento de la máquina de doble efecto. The Patent Office UK (TPOUK), Newport (Reino Unido)

A pesar de la posible importancia de Bethencourt en la difusión de la máquina de doble efecto, la repercusión que tuvo su importación a España fue prácticamente nula. Así lo afirman Helguera y Torrejón, pues aunque Bethencourt reunió en el Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro varias maquetas y planos de máquinas de vapor, entre los que se encontraba la que sirvió de modelo a los hermanos Perier, no hay evidencias de que esa documentación produjera la implantación directa de las mismas en la España de finales del siglo XVIII y principios del XIX.

En la página web de *The American Society of Mechanical Engineers* (según su dirección URL <http://www.asme.org/history/brochures/h111.pdf> del mes de agosto de 2004), puede encontrarse un artículo sobre las máquinas de Watt.

2.2. Las máquinas de vapor alternativas del siglo XIX y principios del XX estudiadas a través del sistema español de patentes (1826-1914)

2.2.1. Consideraciones previas

En el epígrafe 2.1 se ha hecho una rápida revisión de las primeras máquinas que sirvieron de base para instaurar una nueva trayectoria tecnológica: la del vapor, sobre todo a partir de la máquina de Newcomen, que podría considerarse como la primera máquina de vapor alternativa. Las mejoras de Watt supusieron una nueva etapa en el desarrollo evolutivo de las máquinas de vapor. Como se indicó en el capítulo 1, en 1824 se creó el Real Conservatorio de Artes; curiosamente en ese mismo año Sadi Carnot publicó su conocido texto, base de la entonces incipiente ingeniería termodinámica. Dos años después, en 1826, comenzó en España la protección jurídica moderna de las invenciones a través de los *privilegios reales*.

Puede que las invenciones de Newcomen y Watt, entre otras, no tuviesen una protección adecuada en España debido a que cuando se desarrollaron no existía un sistema jurídicamente estable para la protección de los derechos de Propiedad Industrial⁶. En esa época en España la concesión de *patentes* era un privilegio del soberano, que podía otorgar o no, de ahí el nombre que recibían, *privilegio real*. Este hecho viene a mostrar otra de las influencias de las instituciones en el desarrollo tecnológico y económico. La inexistencia del marco jurídico regulador de las invenciones quizás propició que las máquinas de Newcomen y Watt no se divulgasen en España; con ello no sólo se privaba a los inventores del monopolio de sus desarrollos, sino que se impedía la transferencia tecnológica y que ese *know how* llegase aquí. Por tanto, la ausencia de una legislación para proteger las innovaciones técnicas puede suponer un aislamiento tecnológico. Esta hipótesis parece corroborarse si se compara el desarrollo técnico experimentado por España y otros países europeos durante la primera mitad del siglo XIX.

Algunos de los avances más importantes que se dieron en la Europa de principios del XIX, como el ferrocarril, no llegaron a España hasta mediados de ese siglo; la inexistencia de un sistema regular para la protección de las invenciones pudo ser una de las causas que fomentase dicho desfase. Este ejemplo puede extrapolarse al sector técnico objeto de este estudio; quizá una de las innovaciones más relevantes en el campo de las máquinas de vapor de esa época sea el sistema de distribución desarrollado por Corliss en los Estados Unidos, y que quedó protegido por la patente US 6 162 del año 1849 según recoge la figura 8, que muestra uno de los dibujos de esta patente (puede recabarse más información sobre esta invención en un artículo editado por *The American Society of*

⁶ Sin embargo, tal y como indican Helguera y Torrejón (2001), p. 247, el mercader gaditano Pascual Mensa y March solicitó un privilegio para introducir en España «*las bombas de fuego, llamadas de doble acción*» tras comprar una de estas máquinas a Boulton y Watt. El 25 de abril de 1790 se expidió una Real Cédula que le otorgaba el monopolio de la importación de estas máquinas durante veinte años; no obstante, estos autores señalan que no se ha tenido constancia que Mensa adquiriese posteriormente otras máquinas de este tipo.

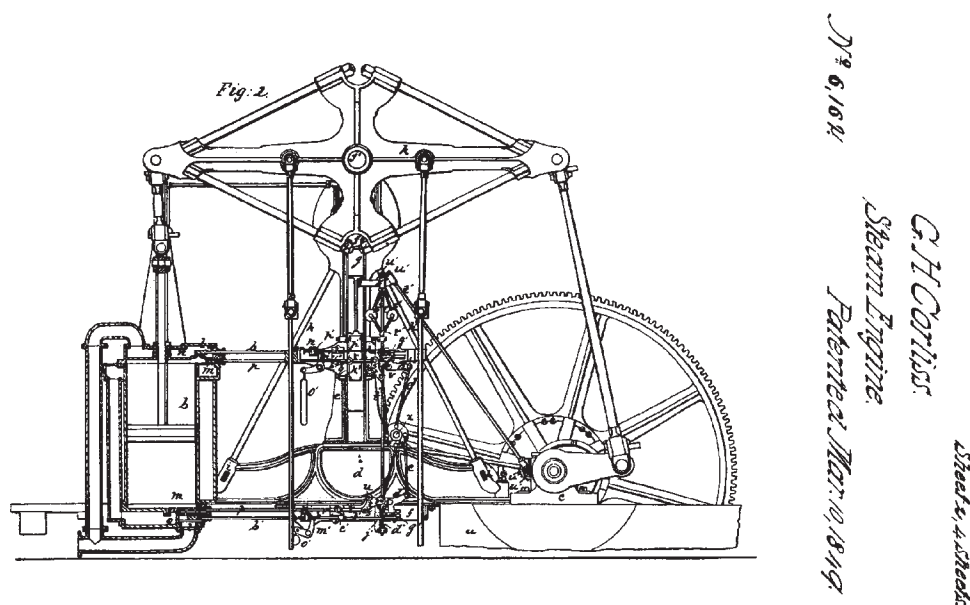


Figura 8.—Uno de los dibujos de la patente estadounidense de Corliss de 1849.
United States Patent and Trademark Office (USPTO), Washington

Mechanical Engineers y disponible en su página web, <http://www.asme.org/history/brochures/h164.pdf> según su dirección URL del mes de agosto de 2004). El sistema Corliss no fue registrado en España, si bien entonces ya existía un sistema regular de patentes; ello podría indicar que no sólo es necesaria la existencia de un marco jurídico, sino también una tradición industrial que entonces no existía en España. Quizás esto justifique el hecho de que entre las patentes españolas de la época de estudio relacionadas con máquinas de vapor alternativas, no se encuentren documentos especialmente relevantes.

También debe tenerse en cuenta que durante el último cuarto del siglo XIX aparecieron los motores de combustión interna alternativos (MCIA), que supusieron una gran competencia para las máquinas de vapor. Podría decirse que con la aparición de los MCIA se produjo una *popularización* de la energía, ya que estos motores tenían una mayor potencia específica que aquellas máquinas y menores tamaños y costes. Eso explicaría cómo cuando aparecen los motores de combustión interna empieza el lento declive de las máquinas de vapor, que llegarían a extinguirse en los países industrializados hacia mediados del siglo XX. Por otro lado, el desarrollo de las turbomáquinas térmicas con las primeras turbinas de vapor permitió cubrir demandas energéticas superiores a las que proporcionaban las máquinas de vapor. Quizás sea éste un claro ejemplo de cómo unas tecnologías pueden influir en el desarrollo de otras.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones y las limitadas referencias relevantes sobre máquinas de vapor alternativas en las patentes españolas del siglo XIX y

principios del xx, a continuación se hace una exposición de los *privilegios reales* y *patentes* presentados en España entre 1826 y 1914 más destacables en este campo, y que se han considerado exponentes de esa tecnología. Aun considerando el carácter subjetivo que siempre puede producirse en todo proceso de selección, el criterio elegido para escoger las patentes aquí referenciadas es que tengan interés en algún aspecto técnico. La siguiente exposición sobre patentes relevantes no se hace en un orden cronológico, sino que los documentos se presentan en función de los diversos aspectos tecnológicos que tratan.

2.2.2. Ciclos termodinámicos con máquinas alternativas de vapor

Las referencias a ciclos termodinámicos en las patentes españolas de la época de estudio son muy escasas; uno de los pocos documentos que trata sobre estos ciclos es la patente española ES 1 093⁷, solicitada el 7 de agosto de 1880 por Félix Alexandre Testaud de Beaugard, vecino de París; en la documentación de esta patente no se especifica la profesión del inventor.

En la patente se proponen dos casos de aplicación, uno para máquina de vapor ordinaria y otro para una máquina del tipo Compound. Aquí se hará referencia al primer tipo, por considerar más interesante su casuística. La problemática que plantea la patente es intentar reducir las pérdidas del calor suministrado por la caldera, bien por el escape al aire libre o en el agua empleada para la condensación. Según el solicitante:

«... Esta cantidad de calor que así se pierde no es otra que el calor latente de vaporización, se mide por 540 calorías y según la fórmula de Regnault $I = 606,50 + 0,309 t$, se ve que es próximamente los 4/5 de todo el calor que se gasta para producir el vapor a la tensión de marcha, de las máquinas ordinarias.»

La máquina consta, tal y como puede verse en la figura 9, de una caldera A, un cilindro motor B con su caja de distribución C y su pistón D; también hay un receptor E y un recipiente de equilibrio F que ejerce las funciones de condensador parcial. Un tubo G, procedente de la caldera, desemboca en el receptor por el aspirador H, al cual si-

⁷ En lo que a este texto se refiere, para designar un documento de patente, español o extranjero, se seguirá la Norma ST.3 establecida por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) por la cual una patente se denota con el código de dos letras asociado al país de publicación y establecido por dicha Norma. Códigos de algunos países establecidos por la Norma ST.3 de OMPI que aparecen citados en este libro son: Alemania: DE; España: ES; Estados Unidos de América: US; Francia: FR; Reino Unido: GB. Para más información sobre las Normas ST de OMPI, puede consultarse la página web según la URL del mes de agosto de 2004 <http://www.wipo.int/patent/es>, buscando el hipervínculo referente a «Normas», o bien la referencia bibliográfica OMPI/OEPM (2003). En el caso de los documentos españoles anteriores a 1878, y para distinguir los privilegios reales de las patentes, se ha optado por denotar a los primeros con las letras PR después del número, siguiendo el espíritu de la Norma ST.16 de OMPI. Así, por ejemplo:

- el privilegio real español 5.479 se denotará como ES 5 479 PR,
- la patente española 16.654 se representará por ES 16 654.

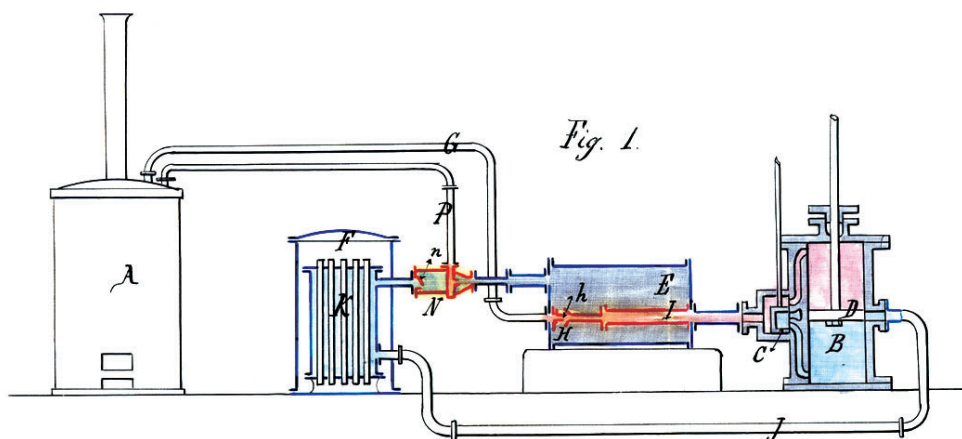


Figura 9.—Figura 1 de la patente española ES 1 093 solicitada en 1880 y correspondiente a «Un aparato que realiza un ciclo termodinámico para las máquinas de vapor» (OEPM, Madrid)

que el conducto I que va a la caja de distribución del cilindro motor. Un tubo J parte del orificio de escape y va a parar al haz tubular K que está rodeado de agua con el recipiente de equilibrio F. De lo alto del haz tubular K, el vapor no condensado entra en el segundo aspirador N, el cual con ayuda de un chorro de vapor tomado de la caldera por un tubo P, lo atrae al receptor E. Los dos aspiradores H y N están provistos de válvulas de retención h y n «que impiden la vuelta ó llegada de la mezcla atraída».

El solicitante atribuye a cada color del vapor un significado: «rojo vapor positivo, violeta vapor recalentado, en el receptor, azul vapor negativo» (sic). Así explica el doble empleo del vapor a alta temperatura que se toma de la caldera:

«El vapor después de haber trabajado en el cilindro va al recipiente F en donde la acción del agua hirviendo que rodea el haz tubular absorbe el calor que ha quedado libre y permite restituirle bajo la forma de vapor al hogar en el cual puede ponerse en comunicación con la parte alta del recipiente. El aspirador N enviando el vapor al receptor lo recalienta y predispone también al esfuerzo de atracción que debe sufrir de parte del evaporador H.

Por esta combinación, se ve que la pequeña cantidad de vapor a alta temperatura tomada de la caldera, se utiliza en dos acciones, una de recalentamiento previo, por el evaporador N y la otra de regeneración, por el aspirador H, que empuja al cilindro la mezcla reconstituida al estado de vapor positivo. Queda bien entendido que esta mezcla es vapor saturado; porque a la temperatura poco elevada (sea por ejemplo 140°) que reina en el receptor, si el vapor estuviese seco, obraría como un gas y no tendría más que una débil fuerza de expansión.»

Las explicaciones dadas por el inventor parecen más que insuficientes para entender el correcto funcionamiento del dispositivo; así, por ejemplo, no se indica qué ocu-

re con el vapor acumulado en el receptor E que tendría que evacuarse a la atmósfera o a algún otro dispositivo en algún momento para mantener la integridad estructural del mencionado receptor E. Tampoco se explica en ningún momento el significado de las expresiones «vapor positivo» y «vapor negativo», refiriéndose con ello probablemente a distintos valores de presión del vapor. Desgraciadamente, esta insuficiencia en la descripción es un factor predominante en la mayoría de las patentes analizadas en el periodo objeto de este estudio. En cualquier caso, el dispositivo se asemeja, al menos conceptualmente, con el planteamiento teórico del ciclo termodinámico propuesto por el ingeniero escocés William John Macquorn Rankine (1820-1872) a finales de la década de 1850.

En la documentación administrativa de esta patente se acredita que la invención fue puesta en práctica⁸ el 5 de enero de 1883. Dicha puesta está certificada el 13 de noviembre de 1882 por D. Gumersindo Vicuña y Lezcano, Ingeniero Industrial (Mecánica) de la 70 promoción (1862) del Real Instituto Industrial [según se acredita en el texto del Colegio de Ingenieros Industriales de Cantabria, (2001) p. 281]. En la certificación de la puesta en práctica de la patente se hace constar la condición de Ingeniero Industrial y Catedrático de Vicuña. Alonso-Viguera, (1961) p. 61, indica que Vicuña fue el primer Catedrático que tuvo la Universidad Central de la entonces nueva asignatura de Física Matemática, además de Académico de Ciencias e introductor en España de los primeros estudios de Termodinámica. El prestigio y reconocimiento profesional del que gozaba Vicuña⁹ hacen que no quepa albergar duda alguna sobre el funcionamiento de la invención y su consecuente puesta en práctica. A pesar de estos hechos, la caducidad de la patente ES 1 093 fue temprana y se produjo el 7 de marzo de 1885, ya que sólo fueron satisfechas las cuatro primeras anualidades.

Otra invención que se desea destacar es la recogida en la patente ES 46 497, solicitada el 12 de octubre de 1909 por August Daniel Frederik Willem Lichtenbelt, residente en Rotterdam, Holanda, y titulada «Una máquina para la producción de fuerza mediante vapor sobrecalentado». Según esta patente, la producción de la fuerza se obtiene por el hecho de que el vapor se conduce a un cilindro, de manera que el lado del pistón donde evoluciona la biela sirve al mismo tiempo de compresor para el fluido que evoluciona en el ciclo.

La figura 10 muestra el dibujo de la invención, donde el elemento (1) representa un sobrecalentador en el que se produce vapor de muy alta presión, (2) es un cilindro motor en el que se conduce un pistón (3), y (4) es un refrigerador en el que se introduce el

⁸ La legislación española de la época exigía la puesta en práctica de la patente para obtener su concesión; este requisito implicaba que un técnico especializado (normalmente un ingeniero) debía certificar que la patente «se ha puesto en práctica en los dominios españoles, estableciendo una nueva industria en el país», tal y como expone el artículo 38 de la Ley de 30 de julio de 1878. Este requisito ya existía en el Real Decreto de 27 de marzo de 1826. Para más información, véase el texto de Sáiz (1996) relativo a Legislación Histórica sobre Propiedad Industrial.

⁹ Martínez-Val (2003) hace una revisión sobre parte del quehacer profesional de Vicuña en la que queda contrastada la valía de este ilustre ingeniero.

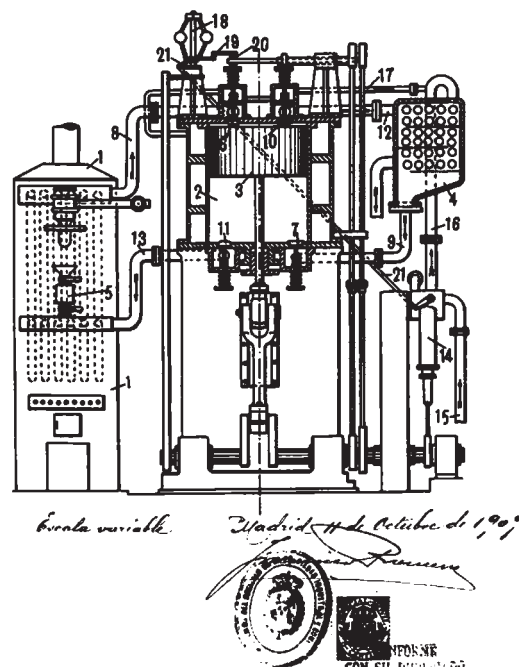


Figura 10.—Dibujo de la patente ES 46 497 sobre «Una máquina para la producción de fuerza mediante vapor sobrecalentado», solicitada el 12 de octubre de 1909 (OEPM, Madrid)

vapor después de expandirse en el cilindro (2), produciéndose una bajada de presión y temperatura y transformándose este vapor en vapor saturado. El cilindro motor (2) tiene dos válvulas de admisión (6) y (7) y otras dos de escape (10) y (11). El vapor sobrecalentado procedente de (1) entra al cilindro (2) por la válvula (6) y hace que el pistón (3) se expanda; después, ese vapor se evacua por la válvula (10) y pasa al refrigerador (4) donde es enfriado parcialmente. A continuación, ese vapor vuelve a introducirse en el cilindro por el otro lado del pistón mediante la válvula (7), y se comprime gracias a la carrera de expansión del vapor sobrecalentado; así, una vez comprimido el vapor, sale del cilindro mediante la válvula (11) y pasa al sobrecalentador donde se vuelve a repetir el ciclo. Según el inventor, el funcionamiento de la máquina es éste:

«La producción de la fuerza se efectúa de tal modo que el vapor sobrecalentado que penetra al interior del cilindro motor por el canal de admisión 8, hace bajar el pistón 3 ocupando éste una posición inferior a la representada en el dibujo, accionando el vapor por expansión. El pistón 3 hace retroceder al mismo tiempo y a través del conducto 13 la mezcla de agua y de vapor que se ha formado del curso anterior y que dicho pistón hace convertirse en el estado de vapor saturado en el sobrecalentador 1; en este último, el vapor se sobrecalienta de nuevo y por consiguiente vuelve el mismo a ser capaz de producir nuevo trabajo.»

«En el curso ascendente o curso de escape del pistón, el vapor expansionado halla su salida a través de la válvula de escape 10 y del conducto 12, entrando en el refrigerador 4 donde el agua de refrigeración enfría el vapor expansionado. Al mis-

mo tiempo se produce cierto vacío en la cámara inferior del cilindro motor, de modo que la válvula de admisión 7 se abre y el vapor expansionado y enfriado pasa del refrigerador 4 por el conducto 9 a la parte del cilindro motor, donde el vapor se comprime.

El vapor húmedo aspirado del refrigerador se transforma por compresión desde el curso siguiente del pistón en vapor saturado y al final de este curso viene a ser expulsado dicho vapor hacia el sobrecalentador del que vuelve a salir para pasar nuevamente a la cámara superior del cilindro impresor, después de haber sido sobrecalentado a cierto grado.»

También se hace una valoración cuantitativa sobre las prestaciones de este dispositivo:

«El trabajo producido por la máquina construida según esta invención corresponde, deducido el trabajo necesario a la compresión del vapor húmedo y a condición de que la presión y la temperatura sean bastante elevadas, a aproximadamente 200 kilográmetros por caloría o unidad de calor, pudiendo aumentarse este rendimiento, sobreelevando la temperatura de sobrecalentación o la presión o las dos al mismo tiempo.»

Nuevamente es posible comprobar la existencia de ciertas imprecisiones, como cuando se indica en la cuantificación de las prestaciones del dispositivo «a condición de que la presión y la temperatura sean bastante elevadas»; de igual modo, las unidades de trabajo empleadas resultan poco habituales en el contexto técnico de principios del siglo XXI. La legislación española de patentes de la época no contemplaba un examen formal y técnico de la solicitud antes de su concesión, tal y como sucede en la actualidad; ello explica la presencia de estas irregularidades en la descripción. El solicitante sólo abonó la primera anualidad, y no se acreditó la puesta en práctica de la invención, por lo que la patente caducó el 1 de enero de 1911.

2.2.3. Elementos constructivos de máquinas alternativas de vapor

Aunque son muy numerosas las patentes que describen mejoras en los distintos elementos constructivos de estas máquinas, en este epígrafe se quiere resaltar aquellas que han sido más llamativas durante la investigación documental. Los resultados obtenidos se presentan agrupados según su funcionalidad en los epígrafes que a continuación se detallan y se han centrado en mejoras técnicas diversas.

2.2.3.1. Bloque motor y tren alternativo

Un documento a destacar es la patente ES 6 315 sobre «Una máquina de vapor perfeccionada», cuyos dibujos aparecen en la figura 11. Esta solicitud fue presentada el 5 de octubre de 1886 por cuatro ciudadanos de Texas, Estados Unidos de América. En

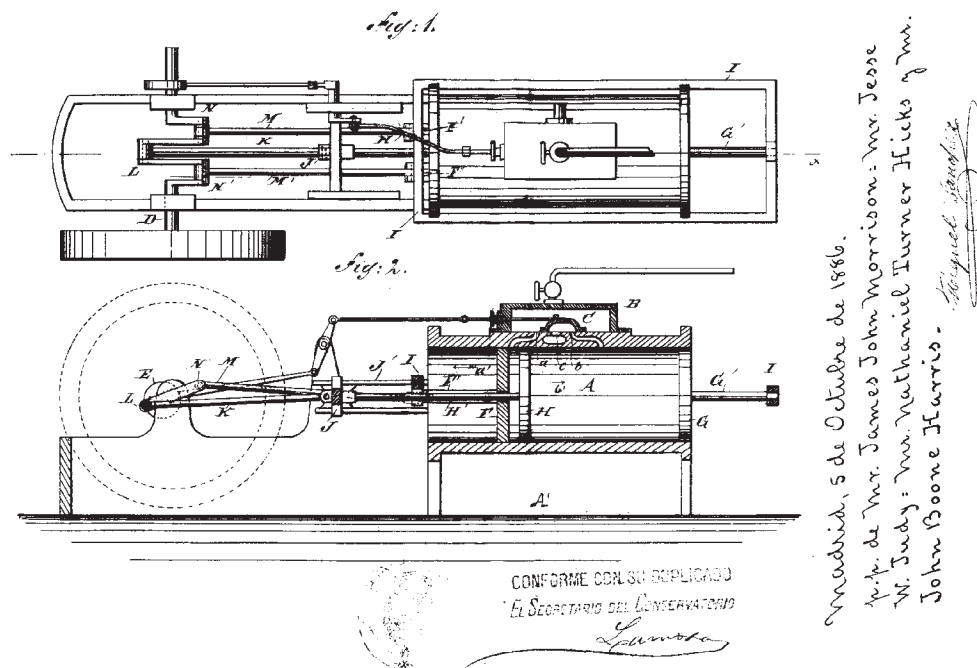


Figura 11.—Dibujos de la patente ES 6 315, presentada el 5 de octubre de 1886 (OEPM, Madrid)

cierta manera esta máquina puede considerarse de doble efecto, con la particularidad de que constaba de tres émbolos, dos extremos y otro intermedio, de manera que los émbolos extremos actuaban como si fuesen paredes móviles y el intermedio trabajaba como si fuese el pistón de una máquina de doble efecto.

El cilindro A, que se montaba sobre el armazón A', tenía dos lumbreras de admisión *a*, *b* y una lumbrera de salida *c* que se comunicaban con la caja de vapor B en la que operaba la válvula corredera de distribución C. Esta válvula corredera C recibía su movimiento por medio de la excéntrica E fija en el eje principal D. Las lumbreras *a* y *b* se practicaban en el cilindro a una distancia del extremo de éste de aproximadamente un tercio de su longitud.

En el interior del cilindro A operaban los tres émbolos F, G y H, el primero de los cuales se conectaba por medio de dos o más vástagos F' con el armazón deslizante I que corría en guías convenientes situadas en el armazón principal A' de la máquina y que evolucionaba por el centro del cilindro A. El émbolo G se conectaba por medio del vástago G' con el extremo posterior del mencionado armazón corredizo I, de manera que los émbolos F y G se movían juntamente en el cilindro A. El émbolo H se colocaba entre los émbolos F y G y estaba provisto del vástago H' que atravesaba el pistón F y se conectaba con la cruceta J que corría en sus respectivas guías J'. A su vez, tal como

se dice en la solicitud, «la cruceta *J* se conecta, por medio de la barra o pieza *K*, con la cigüeña *L*, y el armazón *I* se conecta, por medio de las barras *M*, *M'* con las cigüeñas respectivas *N* y *N'* fijas en el eje principal *D*» (sic). La operación de la máquina se describe así:

«Cuando ésta se halla en la posición representada por la Fig. 2 el vapor entra por el cilindro por la porta *a* entre los émbolos *F* y *H* y los empuja obligándolos a separarse moviéndose el émbolo *F* en la dirección indicada por la flecha *a'* y causando que el émbolo *G* se mueva en la misma dirección puesto que ambos émbolos están conectados por el armazón corredizo *I*. El émbolo *H* se mueve al mismo tiempo en la dirección indicada por la flecha *b'* y hacia el émbolo *G* que viene caminando hacia adentro a su encuentro. Cuando los émbolos han llegado al fin de su curso, los dos émbolos *G* y *H* se encuentran en la misma posición relativamente á la porta *b* que la que ocupaban los émbolos *F* y *H* con respecto á la porta *a* antes de operar la máquina, el movimiento de la cual causa que la válvula de distribución cambie de posición, y que el vapor entre por la porta *b* y empuje los émbolos *G* y *H* obligándolos a separarse, con lo que se obliga al émbolo *H* a correr en la dirección indicada por la flecha *a'*, y el émbolo *G* corre en la dirección indicada por la flecha *b'* y causa que el émbolo *F* corra hacia adentro aproximándose al émbolo *H*, con lo que se obliga al vapor que haya entre los dos émbolos a pasar por la porta de desahogo o escape *c* y sale del cilindro de manera usual. Lo propio sucede al volver los émbolos *H* y *G* en el golpe o curso siguiente.

El movimiento del émbolo *H* se transmite al eje principal *D* por medio del vástago *H'* y la cruceta *J* que se conecta con la cigüeña *L* por medio de la barra *K*, y el movimiento de los émbolos *F* y *G* se comunica al armazón corredizo *I* que lo transmite á las cigüeñas *N*, *N'* del eje principal *D* por medio de las barras *M*, *M'*.»

Es decir, en este dispositivo no solamente es el pistón central el que actúa en las modificaciones del volumen de trabajo, sino que los émbolos de los extremos del cilindro también son activos, actuando sobre dicho volumen de control tanto para la expansión como para la expulsión del vapor. La caducidad de esta patente se produjo el 19 de enero de 1888 por haber satisfecho sólo la primera anualidad; no hay constancia de la puesta en práctica de la invención.

Otra patente sobre la que se quiere llamar la atención es la ES 20 036, que trata de «Mejoras en las máquinas de vapor», solicitada el 1 de diciembre de 1896 por Eustace Ernest Wigzell, residente en Londres. La figura 12 muestra algunos de los dibujos de esta solicitud; en el dibujo de la izquierda puede apreciarse que la máquina dispone de tres cilindros en línea *A*, *B*, *C*, teniendo cada cilindro dos émbolos que accionan en sentidos opuestos (*E* y *E'*, *F* y *F'*, *G* y *G'* respectivamente) y están acoplados con unas varillas *H*, *H*, *H*, que atraviesan unas cajas de estopa *I*, *I*, *I*, dispuestas en el fondo de los cilindros y que se conectan con los bloques-guías *J*, *K*, *L*.

Los dos bloques exteriores *J* y *L* están unidos gracias a dos pequeños eslabones *M* y *N* a una o más bielas *B'* triangulares, de manera que si se uniesen los centros de ac-

ción O, P, Q con el cigüeñal D, se obtendría un triángulo. Las varillas S, S, S, de los émbolos superiores E', F' y G' pasan a través de unas cajas de estopas T, T, T, establecidas en las cubiertas de los cilindros y en la extremidad superior de esas varillas de los émbolos van unos cabeceros U, V y W.

En el dibujo de la derecha que aparece en la figura 12 puede verse la forma de abrir y cerrar la admisión y el escape del vapor. A este fin se emplea una válvula de émbolo A², con los respectivos émbolos B², C², D²; la figura representa el momento en el que pasa el vapor por E² entre los dos émbolos E y E', mientras que el escape de la parte superior e inferior de estos émbolos se efectúa por F², F². Sin embargo, el solicitante indica que no se limita a ningún tipo de válvula en especial, pudiendo sustituir estas válvulas de émbolo por otras como las de tipo de corredera o similares.

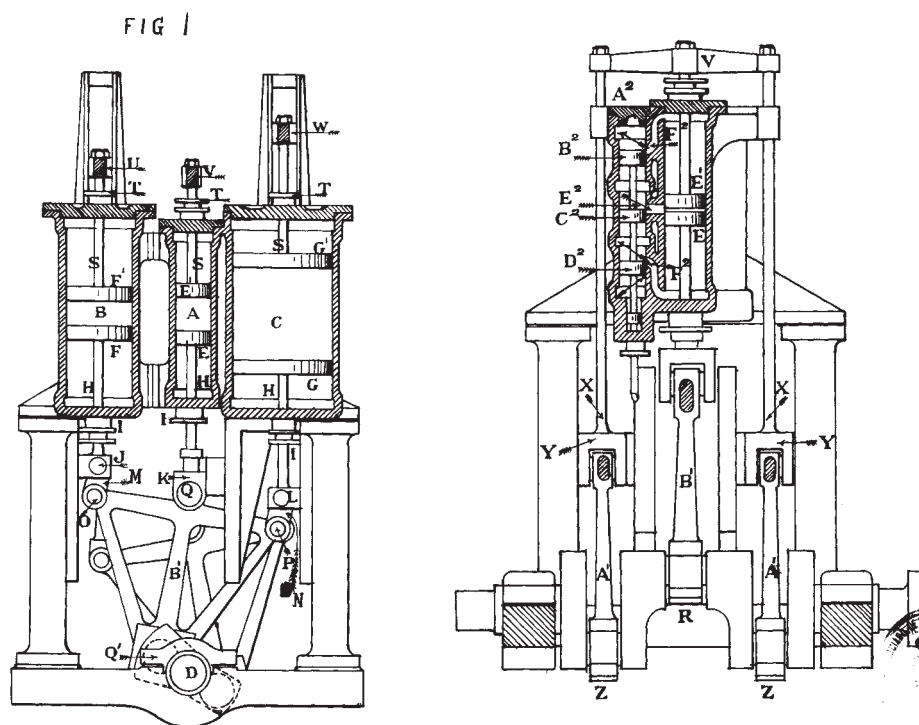


Figura 12.—Algunos dibujos de la patente ES 20 036, solicitada a finales de 1896 (OEPM, Madrid)

La puesta en práctica está acreditada el 9 de marzo de 1899 en los talleres de construcción de máquinas de los Herederos de G. Sanford, en la calle Fuencarral, 147 de Madrid. Caducó el 27 de junio de 1900 por falta de pago de la cuarta anualidad.

2.2.3.2. Tren de la distribución

Como se ha visto en el caso de la patente ES 20 036, era habitual que una sola solicitud cubriese diversos aspectos técnicos; en el caso visto, dichos perfeccionamientos ocurrían tanto en el bloque motor y el tren alternativo como en el tren de la distribución. Algo parecido ocurre con la patente ES 8 758, presentada el 5 de octubre de 1888 por el ingeniero alemán Friedrich Carl Glaser, residente en Berlín. La patente, denominada «Mejoras en distribuciones de máquinas de tres o más cilindros», describe un bloque motor de tres cilindros o más en los que pueden evolucionar vapor, gases y aire, aunque el uso principal es para el empleo como máquina de vapor.

También llama la atención la configuración de los tres cilindros en estrella, por lo que este documento igualmente podría considerarse como una patente relativa al bloque motor. La figura 13 muestra los dibujos de esta patente; en la memoria descriptiva puede leerse el funcionamiento del mecanismo:

«El disco excéntrico a montado sobre el eje de manivela, es abrazado por los tres anillos excéntricos o collares b, c, y d provistos de sus barras correspondientes b', c', d'. El aro b rodea el disco excéntrico en todo su periferia, mientras c y d se hallan metidos en un mismo plano sobre b.»

«Cada cilindro lleva lateralmente dos correderas de émbolo completamente equilibradas y enchufadas el uno en el otro de las cuales la exterior b₂ sirve de corredera de distribución y la anterior b₃ de auxiliar.»

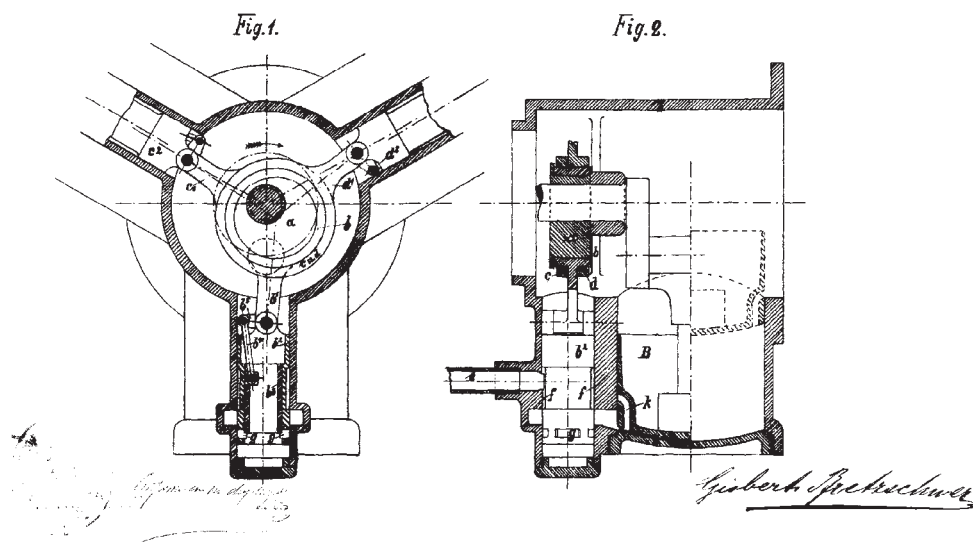


Figura 13.—Dibujos de la patente ES 8 758, presentada el 5 de octubre de 1888 (OEPM, Madrid)

Ambas reciben su movimiento desde la barra del excéntrico b' la primera directamente, la segunda en cambio mediante la barra de unión b_4 y la palanca angular b_5 montada sobre la barra de la excéntrica b' de modo que la corredera auxiliar recibe un movimiento relativo respecto a la corredera de distribución. De la misma manera se efectuará el movimiento de las correderas de los demás cilindros mediante las barras de excéntrico c' y d' . La entrada de los vapores, gases o del aire se efectúa en e en la parte anular f . La exhaustión se hace por los canales g g y el hueco interior de la corredera auxiliar b_3 .

El pistón motor B va provisto en la dirección longitudinal de la máquina de dos canales de escape K diametralmente opuestos y dispuestos de suerte tal, que a la ida del pistón durante el periodo de afluencia y de expansión, la abertura de salida queda cerrada por la pared del cilindro, siendo abierta poco antes de terminar la carrera, de modo que simultáneamente con la corredera también el pistón da paso libre a la salida de los vapores desde el primer instante del periodo de exhaustión. A la vuelta del pistón la abertura será cerrada de la misma manera.»

Resulta llamativo el empleo de la palabra *exhaustion* para referirse al proceso de escape. En cierta manera, este dispositivo se asemeja al proceso de renovación de la carga existente en los motores de combustión interna alternativos de dos tiempos, produciéndose el proceso de admisión y escape del vapor mediante unas lumbreras *ad hoc*. También llama la atención el parecido de este sistema de distribución con el descrito en la patente ES 20 036 (véase el dibujo de la derecha de la figura 12). Esta patente fue puesta en práctica el 20 de agosto de 1891 en los Talleres de San Rafael del madrileño barrio de Chamberí, y caducó el 1 de febrero de 1894 por falta de pago de la sexta anualidad.

Un poco más tarde, el 22 de febrero de 1894, Pierre Lamena y Aminthe Decombe, residentes en Puillac (Francia), solicitaron la patente ES 15 516 «Una distribución electro-magnética para máquina de vapor». La figura 14 muestra los dibujos de esta invención que, según los solicitantes, hace referencia a una máquina de vapor tipo Sulzer [en la obra de Wood (1990) puede encontrarse más información sobre estas máquinas]. En esta patente se describe un sistema de distribución mixto, que presenta la apertura inicial de las válvulas de admisión de forma mecánica mediante levas y empujadores, pero el control y el tiempo de apertura de las válvulas de admisión y su cierre se efectúa por medios electromagnéticos. El funcionamiento del mecanismo propuesto se describe así:

«La distribución comprende un electro-imán a fijado por su culata sobre el saliente b y dispuesto de manera que sus dos polos estén situados enfrente de la válvula de admisión c y en un plano perpendicular al eje del tronco d de esta válvula.

El electro-imán tiene por objeto mantener la válvula c elevada durante la admisión del vapor en el cilindro. A este efecto el tronco de la válvula soporta una armadura e fijada sobre el tronco. Esta armadura en el momento de la apertura de la válvula viene a aplicarse sobre los dos polos del electro-imán a y conserva esta posición

mientras la corriente pasa por el hilo de las bobinas. Enseguida que la corriente se interrumpe el electro-imán a pierde su imantación y abandona la armadura e; en este momento el tronco d siendo solicitado por el resorte en hélice f cierra vivamente la válvula que cae sobre su asiento sin choque por efecto de un pistón de aire g. La corriente necesaria para la imantación sucesiva del electro-imán a se obtiene con ayuda de una pequeña máquina eléctrica movida por la misma máquina motriz...

... Sobre el árbol de distribución o están calzados cuatro camos uno vis a vis de cada válvula, y estos camos mueven las válvulas por mediación de palancas según se hace ya. Los camos h que accionan sobre las válvulas de admisión están hechos de manera de obtener el minimum de introducción que aquí está limitada a un décimo del volumen del cilindro...

... Con el fin de obtener una introducción mínima de 1/10 por el empleo del camo h solamente, será necesario dar a éste un gran diámetro como está indicado por la figura 1. En estas condiciones, nos procura la ventaja de tener una abertura de la válvula completa y muy rápida (sobre 1/25 a 1/30 de segundo) y por consecuencia evita la pérdida del vapor al principio de la introducción en el cilindro.

Los camos que mueven las válvulas de admisión estando calzados sobre el árbol o, el adelanto en la admisión será constante; en cuanto al cierre dependerá de la posición de equilibrio del regulador como se verá después.

Según lo que va manifestado, es fácil comprender que en el momento de la entrada del vapor en el cilindro el camo h abre viva y completamente la válvula de admisión c y pone en contacto con los dos polos del electro-imán a la armadura e que no se separa de él sino para determinar el cierre de la válvula en el momento de la rotura de la corriente.

Las variaciones de la admisión del vapor en el cilindro no dependen más que de la duración de la corriente que pasa por el hilo del electro-imán, durante el periodo comprendido entre la abertura y el cierre de la válvula de admisión, y por consecuencia del conmutador que regula la duración de esta corriente...»

«El camo h mueve la válvula de admisión por medio de una palanca acodada i, cuyo brazo esférico lleva un disco sobre el cual, el camo actúa al principio de la admisión; el otro brazo está articulado a una varilla i' que obra a la extremidad de la palanca acodada k la cual mueve el tronco de la válvula c.

El cierre de esta válvula está asegurado por el resorte de rosca f que obra al mismo tiempo sobre un pistón g con colchón de aire.

Las válvulas de evacuación son movidas de la misma manera que en las máquinas Sulzer; los camos que mueven estas válvulas tendrán el mismo diámetro que las precedentes con objeto de obtener una abertura y un cierre bruscos del orificio de evacuación...

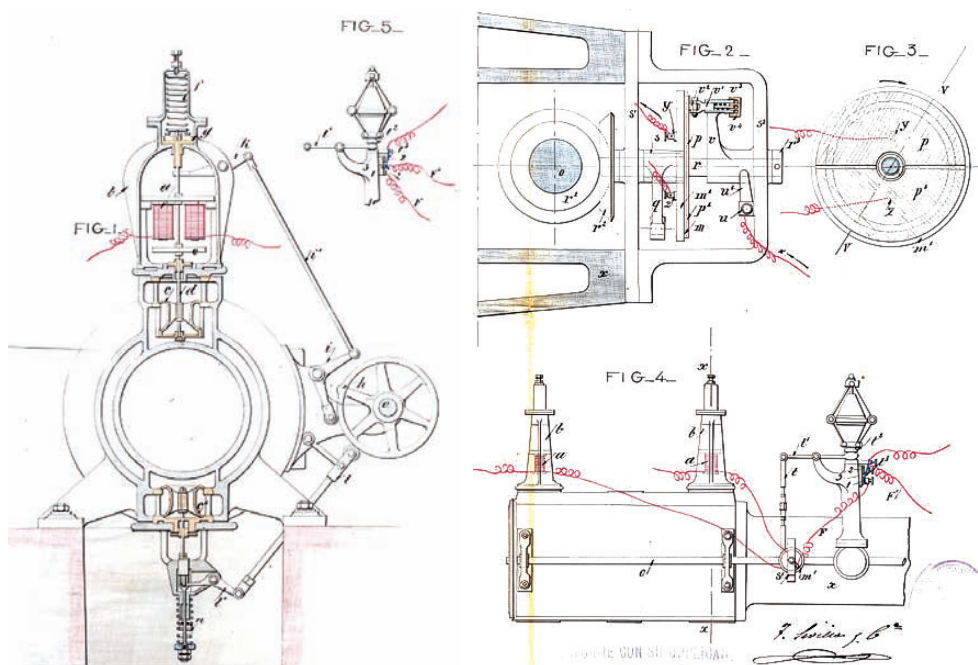


Figura 14.—Dibujos de la patente ES 15 516 sobre «Una distribución electro-magnética para máquina de vapor», solicitada el 22 de febrero de 1894 (OEPM, Madrid)

... La corriente producida por la pequeña máquina eléctrica pasa primeramente por el guarda-ruedas u y de allí al disco v^2 que, durante su movimiento de rotación alrededor del árbol v se pone alternativamente en contacto con las planchas metálicas r r' y por consecuencia abre y cierra la corriente en cada uno de los electro-imanés a ...

... Sabemos que los camos de distribución están fijos sobre el árbol o por consecuencia el adelanto en la admisión será constante desde aquel momento, esta posición del camo de admisión corresponderá a una posición de la manivela u que será siempre la misma en el espacio; y que nosotros representamos según su eje, en la figura 3 por una raya de puntos v v .»

Llama la atención el uso de la palabra «camo» (procedente del francés *came* y del inglés *cam*) en vez de «leva». En cualquier caso, y como ya se ha visto, éste no será el único ejemplo que permita contemplar el desarrollo del español como idioma tecnológico. La patente ES 15 516 caducó el 30 de julio de 1896 por no haber acreditado su puesta en práctica.

2.2.4. Máquinas de vapor con pistón rotativo

El estudio de la documentación analizada permite contrastar la existencia de una *subrama tecnológica* dentro de las máquinas alternativas de vapor: las máquinas de vapor con pistón rotativo. En cierta manera, y siguiendo el símil evolutivo, estos dispositivos podrían considerarse como un escalón intermedio entre las máquinas de vapor alternativas y las turbomáquinas de vapor. Si bien las turbomáquinas no aparecieron hasta finales del siglo XIX con las turbinas de Parsons y De Laval, la idea de emplear la fuerza del vapor y con ello mover una turbina, como si de una turbina hidráulica se tratase, está documentada desde tiempos anteriores, tal y como muestra el privilegio real ES 1 467 PR, solicitado por Carlos Gray el 3 de agosto de 1856. Sin embargo, ésta es una cuestión que se volverá a tratar en el capítulo 4, cuando se analicen las patentes relativas a las turbomáquinas.

El principio básico de funcionamiento de las máquinas de vapor con pistón rotativo es muy simple: la fuerza del vapor a elevada presión y temperatura se emplea para mover un elemento móvil, el pistón, que en vez de realizar un movimiento rectilíneo alternativo describe una trayectoria circular.

Uno de los documentos más antiguos de este tipo de máquinas es el privilegio real ES 1 680 PR, solicitado por Valentín Silvestre Fombuena el 18 de enero de 1858. Este privilegio tiene certificado de puesta en práctica expedido el 5 de marzo de 1860, y su caducidad fue por fenecimiento, es decir, por llegar al fin de su vida útil de 5 años el 29 de septiembre de 1863; con estos datos todo hace pensar que realmente este privilegio llegó a construirse y ponerse en funcionamiento. El inventor figura como residente en Madrid, siendo de profesión maquinista [en el texto de Cayón *et al.* (1998), pp. 222-223, puede comprobarse que el Sr. Silvestre Fombuena tenía protegidas otras innovaciones en el ámbito de la industria ferroviaria]. La figura 15 muestra algunos de

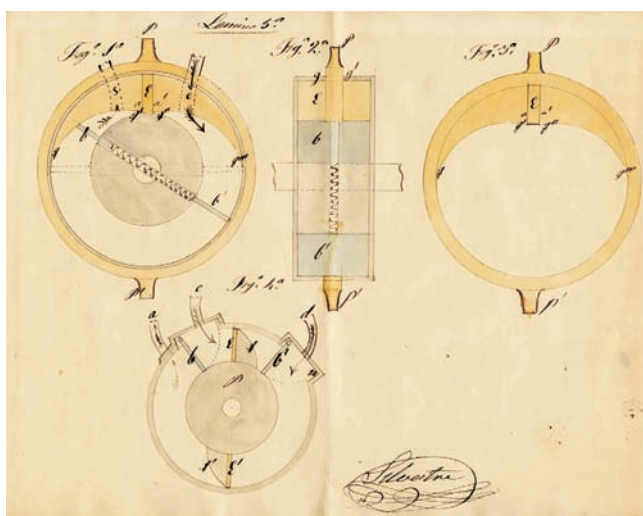


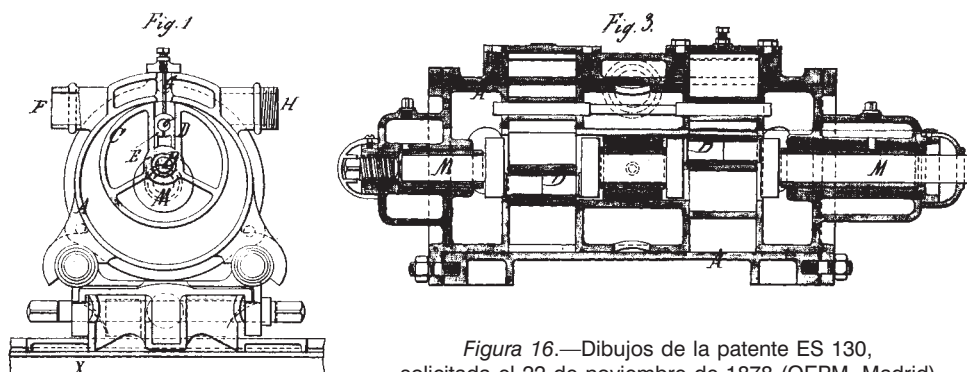
Figura 15.—Dibujos del privilegio real ES 1 680 PR, solicitado el 18 de enero de 1858 (OEPM, Madrid)

los dibujos de dicho privilegio real, donde puede apreciarse en el extremo superior izquierdo el corte de un cilindro por donde evoluciona vapor; la figura que hay a su derecha es una vista lateral seccionada.

El funcionamiento del mecanismo es el siguiente: el vapor entra en el cilindro por el conducto de admisión e (extremo superior derecho del cilindro) y va llenando la cámara existente entre el pistón (de sección circular) y el cilindro, hasta que encuentra la paleta b'; en ese momento, el pistón empieza a girar en sentido horario por la fuerza que el vapor ejerce sobre b' y hasta el momento en que el tope b sobrepasa la lumbrera de admisión. El vapor abandona la máquina por la lumbrera de escape s (extremo superior izquierdo de la figura), repitiéndose así el ciclo. Las paletas b y b' del pistón se encuentran unidos por un muelle, de manera que se puedan acoplar al contorno alveolar del cilindro. La figura que aparece en el extremo inferior representa otra forma de realización de la invención, con entradas de vapor por c y d, y escape por a.

Se han encontrado numerosas patentes del último cuarto del siglo XIX que proponen máquinas de vapor con pistón rotativo; a continuación se ilustran cuatro de estos ingenios. El primero de ellos es el propuesto por el ingeniero Augusto Ludovico Traverdon y el comerciante Carlos Roulina, residentes en París, quienes solicitaron el 22 de noviembre de 1878 la patente ES 130, de título «Un motor de pistón oscilante». Algunos dibujos de esta máquina pueden observarse en la figura 16. La memoria descriptiva de esta patente no es suficientemente clara sobre su funcionamiento, y en ella se indica la existencia de un eje central que «está acodado una, dos, tres veces o más y en el mismo interior del cilindro» (sic). Además, «los muñones B de las manivelas sirven de eje, ó centros de rotación, a unos discos o pistones C, los cuales se mueven en el interior del cilindro, de un modo oscilatorio» (sic).

La existencia de esos pistones en forma de disco hace que conceptualmente la invención se asemeje a una turbina de vapor ya que, como dicen los solicitantes «... El vapor o el fluido motor llega por el tubo F; el diafragma G le fuerza a dirigirse a la



izquierda, donde obra por su potencia motriz para hacer oscilar el disco C...», aunque no se da información de cómo se consigue ese movimiento de los discos. Esta patente no fue puesta en práctica, y su caducidad se produjo el 20 de abril de 1880 después de haber satisfecho una anualidad.

La segunda invención que ilustra estas máquinas de vapor con pistón rotativo es la que se refiere a la patente ES 1 007, presentada el 13 de junio de 1880 por D. José Pascual Yvars y Crespo, residente en Jávea (Alicante). La figura 17 muestra una sección de esta máquina.

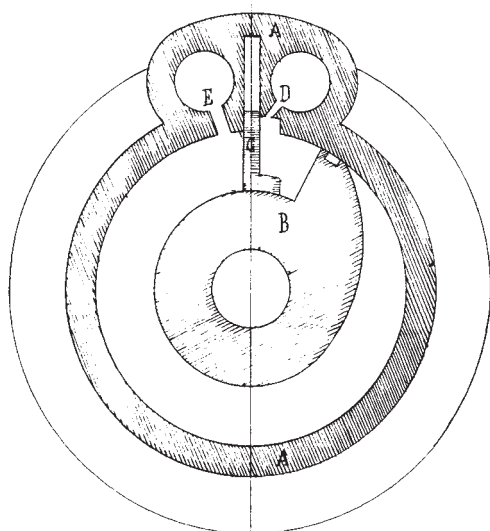


Figura 17.—Dibujo de la patente ES 1 007, presentada el 13 de junio de 1880 (OEPM, Madrid)

La máquina objeto de esta patente constaba de un cilindro horizontal A, en cuyo interior había otro cilindro horizontal B, concéntrico con el anterior, de igual longitud y menor diámetro, provisto en toda su extensión de una aleta con una cara plana en la misma dirección que el radio, y con la otra cara convexa, de manera que venía a formar una espiral con el propio cilindro B. En la parte superior del cilindro A se disponía una válvula C (en la patente se la denomina «paleta»), que regulaba la admisión del vapor. Cuando éste se encontraba a una presión determinada, vencía la resistencia de la válvula C, de manera que la lumbrera D quedaba abierta, produciéndose la admisión del vapor, que chocaba contra la aleta del cilindro B y con ella conseguía el movimiento de dicho cilindro. Al ir girando el cilindro B, e ir completando su primera revolución, se conseguía el cierre progresivo de la válvula de admisión C gracias a la geometría de la aleta. Llegado un momento, el extremo plano de la aleta sobrepasaba la lumbrera E, por donde se realizaba el escape del vapor; poco después, volvía a abrirse la válvula C, con lo que se repetía la admisión del vapor y se iniciaba un nuevo ciclo.

La patente ES 1 007 fue declarada «*Sin curso*», es decir, ni siquiera llegó a ser concedida. Esta situación se daba normalmente cuando el solicitante no pagaba las tasas de la patente, o bien cuando se producía alguna anomalía formal y el solicitante no la subsanaba. La patente caducó el 15 de agosto de 1880.

Otro ejemplo de este tipo de máquinas puede encontrarse en la solicitud realizada por Gaspar Schwartz y Juan Hoffman, residentes, tal y como se indica en su patente española ES 3 960, en Werl (Prusia) —la actual República Federal de Alemania— localidad cercana a Dortmund. Esta patente se presentó el 6 de febrero de 1884, y su configuración es similar a la de la última patente vista, si bien constaba con un sistema de distribución mucho más sofisticado del que acaba de describirse, tal y como puede apreciarse en la figura 18.

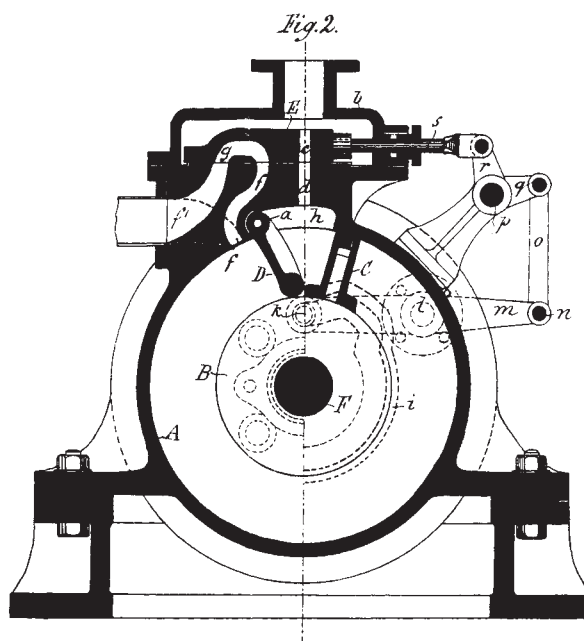


Figura 18.—Uno de los dibujos de la patente ES 3 960, solicitada el 6 de febrero de 1884 (OEPM, Madrid)

La invención consistía básicamente en un cilindro hueco A, montado convenientemente sobre una plancha que le servía de sustentación, en cuyo interior se encontraba otro cilindro B provisto de una pala C, que mediante resortes se ajustaba perfectamente a la superficie interior del cilindro A. Esta pala C se ponía en movimiento cuando el vapor era introducido en el interior del cilindro y a su vez, en su giro, accionaba el movimiento de unos empujadores que abrían y cerraban la válvula de distribución del vapor E. En la patente hay una referencia en la que se hace notar que el dispositivo puede funcionar como máquina de vapor, motor de gas o bomba. En otras patentes se ha encontrado una práctica similar: se hace una descripción sobre una tecnología determi-

nada (por ejemplo, vapor) y estas mismas referencias son *válidas* para la aplicación como motor de gas o bomba.

Sorprende que en las dos últimas patentes analizadas no se informe sobre la ley de distribución: la curva $\dot{\imath}$ en el caso de la patente española ES 3 960, o en la patente ES 1 007 la llamada *espiral*. El conocimiento de la curva de distribución es básico para el funcionamiento correcto del mecanismo, y la ausencia de estos detalles técnicos es algo tan importante como para impedir una correcta puesta en práctica. Así pues, puede observarse una vez más cómo se produce una insuficiencia en la descripción, que no resulta admisible desde una perspectiva de Propiedad Industrial de principios del siglo XXI. No obstante, éstos no son los únicos casos; en el capítulo 3 se verá que algo similar ocurre con la descripción del primer motor de cuatro tiempos de la *Gasmotoren-fabrik Deutz*, cuyo director fue Nicolaus August Otto. Los titulares de la patente ES 3 960 sólo pagaron una anualidad y no acreditaron su puesta en práctica; la patente caducó el 3 de septiembre de 1885.

Probablemente uno de los mecanismos más llamativos referentes a máquinas de pistón rotativo sea el descrito en la patente ES 41 854, solicitada por la *Cooley Development Company*, empresa radicada en Boston, Estados Unidos. La patente fue presentada el 26 de octubre de 1907, y su puesta en práctica está certificada por el Ingeniero Militar Pedro de Anca y Merlo el 2 de diciembre de 1909 en los talleres de Rafael Pérez Antón, ubicados en la calle de San Rafael, 4 de Madrid. La figura 19 muestra uno de los dibujos más ilustrativos de esta patente. El dispositivo consta de un émbolo 1 acoplado a un árbol 2 mediante un engranaje dentado. El émbolo 1 se mueve respecto al elemento 5, llamado espaciador, que también gira respecto a los elementos fijos de la



FIG. 3.

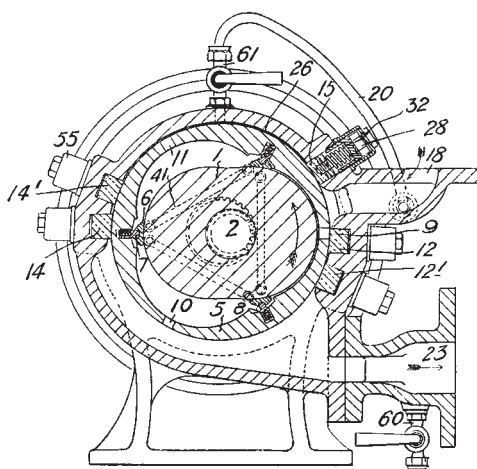


Figura 19.—Figura 3 de la patente ES 41 854, solicitada el 26 de octubre de 1907 (OEPM, Madrid)

máquina. Las velocidades de émbolo y espaciador son distintas, de manera que a cada revolución del espaciador, el émbolo realiza una vuelta y media. El vapor entra a la máquina por el conducto 18, y de ahí pasa mediante los orificios 9, 10 u 11 al espacio existente entre el émbolo 1 y el espaciador 5; el vapor sale por el conducto 23, pudiendo regular la velocidad de la máquina mediante la llave 60.

El vapor que se introduce por el conducto 18 se va expandiendo hasta alcanzar la configuración que se aprecia en la imagen izquierda de la figura 20 (figura 6 de la patente ES 41 854); en esa figura se aprecia la salida de vapor, por el espacio A, procedente de la evolución del ciclo anterior, a la vez que se comprueba el esfuerzo rotativo ejercido por el vapor en la extremidad X del émbolo. En la imagen derecha de la figura 20 (figura 7 de la patente ES 41 854) se muestra la evolución intermedia del vapor después de la fase de admisión a través del conducto 18, y antes de la expulsión del vapor por el conducto 23.

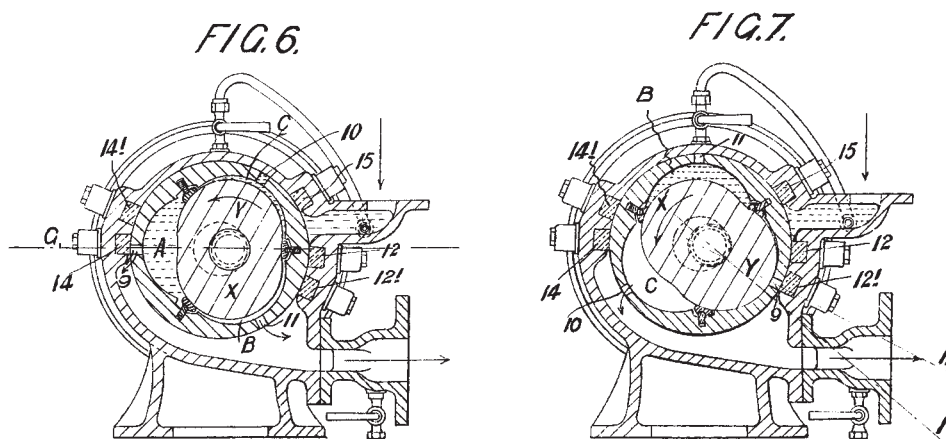


Figura 20.—Imágenes de la máquina descrita en la patente ES 41 854, en dos posiciones sucesivas de su evolución (OEPM, Madrid)

La configuración de esta máquina con su émbolo y espaciador se asemeja a las propuestas del motor rotativo de combustión interna y el compresor con pistones rotativos hechas por Felix Wankel a mediados del siglo xx. En la figura 21 pueden verse algunos dibujos de la patente francesa FR 1 136 949 de Felix Wankel, presentada el 21 de octubre de 1955, sobre un dispositivo compresor con pistones rotativos. Puede comprobarse el gran parecido existente entre la patente española ES 41 854 y la configuración descrita en dicha patente gala.

Igualmente, la patente alemana DE 1 451 869 solicitada el 16 de febrero de 1965 por Wankel GmbH y NSU Motorenwerke AG, presenta la descripción de un motor de combustión interna rotativo, con una configuración muy parecida al compresor propuesto por Felix Wankel en su patente FR 1 136 949 y a la patente española ES 41 854. Algunos de los dibujos de la patente alemana DE 1 451 869 pueden verse en la figura 22.

N° 1.136.949

Société dite :
Borsig Aktiengesellschaft

2 planches. — Pl. II

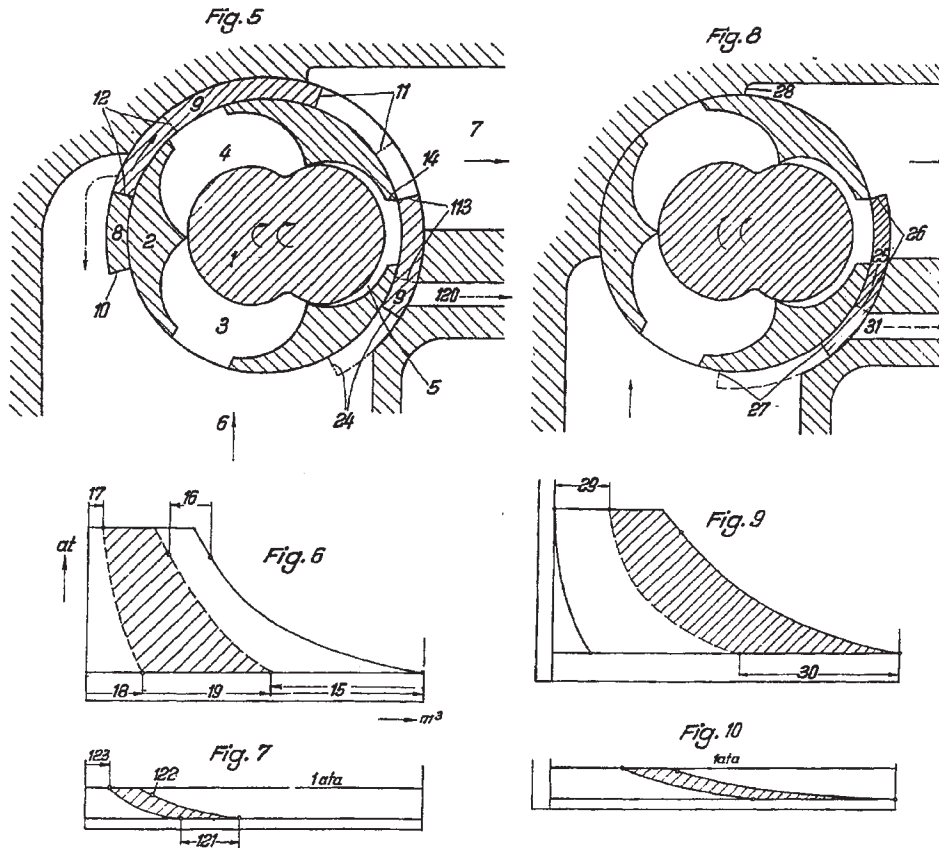
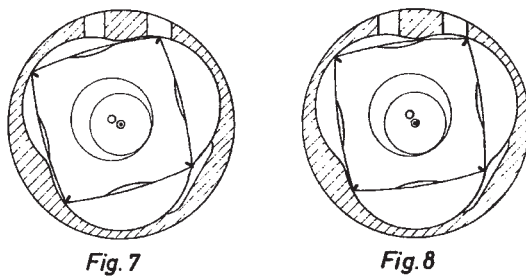


Figura 21.—Dibujos de la patente francesa FR 1 136 949, solicitada el 21 de octubre de 1955, sobre un dispositivo compresor con pistones rotativos diseñado por Felix Wankel (INPI, París)



Wankel GmbH
NSU Motorenwerke AG
909844/0443

Figura 22.—Dibujos de la patente alemana DE 1 451 869, presentada el 16 de febrero de 1965 por Wankel, sobre un motor de combustión interna rotativo (DPMA, Munich)

La caducidad de la patente ES 41 854 ocurrió el 15 de julio de 1912, tras haber pagado tres anualidades.

Puede resumirse que con las máquinas de vapor de pistón rotativo se desarrolló una nueva vía tecnológica, en cierta manera a medio camino entre las máquinas alternativas y, conceptualmente, las turbomáquinas. Probablemente su vida quedó limitada debido al auge de los motores de combustión interna alternativos, más pequeños y ligeros y que rivalizaban con estas máquinas en pequeñas potencias. Por otro lado la aparición de las turbomáquinas térmicas supuso una feroz competencia para las máquinas de vapor alternativas, ya que éstas no podían enfrentarse con aquéllas por las altas potencias que desarrollaban.

2.2.5. Otros documentos

Probablemente una de las patentes más curiosas referidas a las máquinas de vapor sea el privilegio real ES 4 849 PR, presentado el 28 de septiembre de 1871 por el ingeniero francés Luis Guillermo Perreaux y titulado «*Un velocípedo de gran velocidad, a vapor, y con aplicación de la fuerza de inercia*». Dicho de una forma simple, esta invención versa sobre una motocicleta a vapor.

La figura 23 muestra algunos de los dibujos más representativos de esta invención; en ella pueden apreciarse los siguientes elementos:

— A, A' representan volantes de inercia que transmiten el movimiento a la rueda trasera mediante poleas T.

— B es el cilindro de vapor con su caja de válvula de distribución; C es un embudo que sirve para introducir el líquido combustible dentro del bastidor E, que hace de depósito. D es una pieza que sirve para regular la altura del asiento del conductor.

— K es la caldera, esférica, con bomba de alimentación y depósito de agua. F es un rectángulo que recibe los dos volantes A, A', la caldera, el cilindro de vapor y el depósito de agua. N es un tubo encaminado a la base de la caldera, por donde se produce la combustión del combustible que calienta la caldera. V es un tubo de vapor que va de la caldera a la caja de distribución y cilindro de vapor.

— X es una excéntrica de los volantes en comunicación con 2 bielas que se reúnen con la varilla del cilindro de vapor.

— O son unas palancas con contrapeso que llevan una varilla que sirve de válvula de seguridad.

— Y Y' son ruedas que reciben el movimiento del pistón accionado por el vapor, y lo transmiten a los volantes A A', y de ahí a la rueda trasera.

— Z es un manómetro que indica la presión del vapor en la caldera.

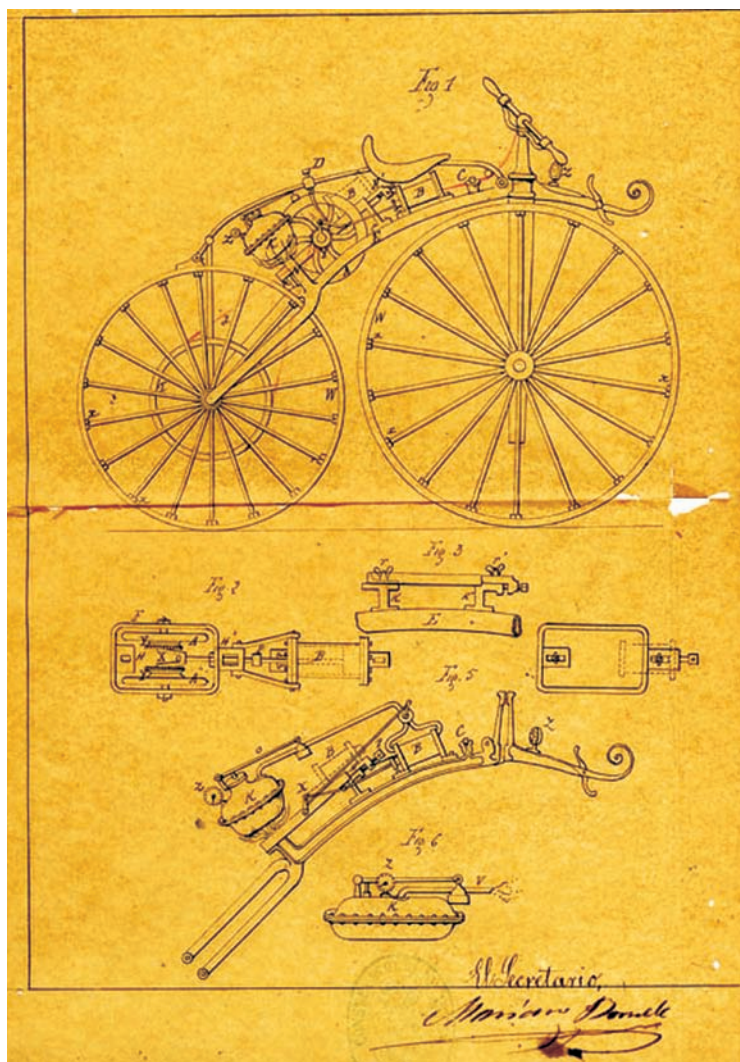


Figura 23.—Dibujo del privilegio real ES 4 849 PR, solicitado el 28 de septiembre de 1871 (OEPM, Madrid)

En la memoria descriptiva se da más información de los distintos elementos que componen esta invención. Como ya se ha indicado, puede comprobarse que la disposición de los elementos descritos se parece esencialmente a la de una motocicleta con motor de combustión interna.

El título, otorgado por el Rey Amadeo I el 26 de enero de 1872, indica que se producirá la caducidad si no se acredita la puesta en práctica en el plazo de un año y un día desde la fecha de concesión. Aunque en la documentación existente no hay referen-

cias explícitas sobre la puesta en práctica, en los Libros de Registro conservados en la Oficina Española de Patentes y Marcas consta que esta patente caducó, en fecha no determinada, por falta de su puesta en práctica. La disposición de los elementos que integran este vehículo, así como su concepción, hacen sospechar que probablemente su funcionamiento nunca llegó a producirse.

Probablemente el velocípedo de Perreaux sea la primera motocicleta que se encuentre registrada y documentada en España, aunque todo parece indicar que la suya no fue la primera motocicleta a vapor. Al menos eso es lo que cabe pensar según la información obtenida del Smithsonian National Museum of American History, en cuya página web se informa de la existencia en sus fondos de una bicicleta a vapor desarrollada en 1869 por Sylvester Roper, de Roxbury, Massachusetts¹⁰. Sin embargo, parece que antes de éstos hubo, al menos, otro tipo de vehículo propulsado a vapor que sí circuló por las *carreteras* españolas en la década de 1860, tal y como exponen en su texto García Tapia y Cano Alonso (2003).

2.3. Los primeros motores de aire caliente

A mediados del siglo XIX fueron apareciendo otras máquinas térmicas, distintas a las máquinas de vapor, que formaron otra rama tecnológica: los llamados motores de aire caliente. Si bien estos motores no llegaron a suponer una alternativa real a la máquina de vapor, puede que gracias a ellos se produjese una *mutación* en la cadena evolutiva técnica, que desembocó finalmente en los motores de combustión interna.

Probablemente pueda considerarse a la máquina de Robert Stirling como la pionera de esta saga. Robert Stirling (1790-1878) fue un sacerdote escocés que a la edad de veintiséis años obtuvo una patente (patente británica GB 4 081 A D. 1816) sobre una «*Máquina de vapor y ahorro de combustible*». El objetivo de este dispositivo era reducir el consumo de combustible en hornos, destilerías y otras factorías, gracias a la transmisión de calor mediante un dispositivo llamado *regenerador*. El *motor de Stirling* estaba basado en un ciclo cerrado de aire con combustión externa, que constaba de un cilindro abierto en su base inferior, en el que evolucionaban dos pistones. Uno de estos pistones, encargado de *desplazar* al otro, estaba ubicado en la parte superior del cilindro y tenía un diámetro menor que el pistón inferior, ubicado a cierta distancia del primero y encargado de proporcionarle fuerza. El pistón superior estaba cubierto por el llamado *regenerador*, que, básicamente, era un envoltorio constituido por capas superpuestas de fino hilo metálico, formando las diversas capas consecutivas ángulos rectos entre sí. La figura 24 representa los dibujos de la patente británica de la máquina de Stirling.

¹⁰ Para más información puede consultarse la página web del Museo según su dirección URL en el mes de mayo de 2004 <http://www.americanhistory.si.edu/youmus/ex27road.htm>.

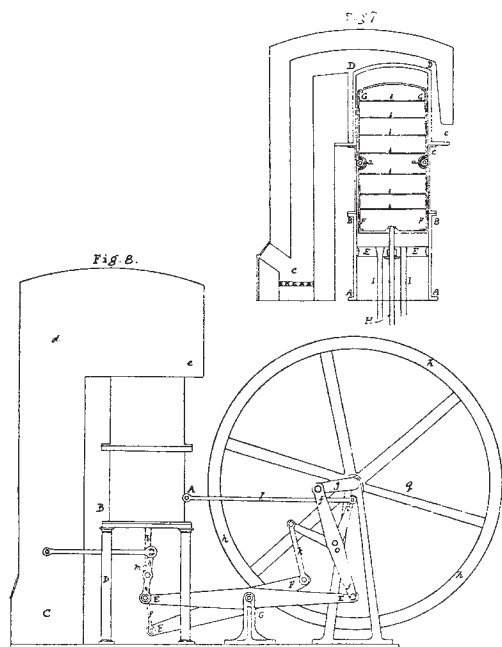


Figura 24.—Dibujos de la patente británica de Stirling de 1816 (TPOUK, Newport)

La idea básica del ciclo consistía en transferir calor de una fuente externa (un horno o similar) hacia la parte superior del cilindro, siendo este calor absorbido por el aire que se encontraba en el interior del cilindro (en su extremo superior) y sobre el pistón encargado de *desplazar*, haciendo que este pistón empujase al *pistón de fuerza* hasta alcanzar el punto muerto inferior. Al llegar a ese punto, un volante de inercia impulsaba al *pistón de fuerza* hacia un movimiento ascendente, lo que hacía comprimir el aire existente entre los dos pistones, consiguiendo así volver a las condiciones iniciales y que se repitiese el ciclo. Un mayor análisis sobre la máquina de Stirling puede encontrarse, por ejemplo, en la obra de Cummins (1989), pp. 17-23 o en la de Day (1980), pp. 232-240.

Parece que Stirling intentó realizar un desarrollo posterior de su dispositivo ayudado de su hermano menor, un ingeniero civil de Edimburgo con reconocido prestigio; sin embargo, no hay constancia de que consiguieran éxitos en su empresa.

Cummins (1989), pp. 15-17, también cita otros ingenios anteriores al de Stirling, como el motor de aire caliente de Sir George Cayley (1773-1857). Aunque Cayley solicitó la patente de su invención en 1837, Cummins (1989), pp. 15-16, indica que existe una publicación de 1807 en la que Cayley ya proponía su invención. Ésta constaba de una cámara de combustión (tipo horno) alimentada por carbón, a la que se le insuflaba una carga de aire fresco, normalmente presurizado mediante una bomba. El aire caliente se mezclaba con productos de combustión y era conducido a un cilindro con émbolo donde se expansionaba y producía trabajo; sin embargo, se presentaba una gran problemática con las cenizas de la combustión que llegaban al cilindro y al pistón.

Cummins también señala que estas máquinas fueron comercializadas en los Estados Unidos a principios de la década de 1860 por *The Roper Caloric Engine Company*, y en Inglaterra en 1880 por la misma compañía.

2.3.1. Los motores de Ericsson y Lenoir

El ingeniero sueco John Ericsson (1803-1889), que vivió buena parte de su vida en los Estados Unidos después de una estancia de trece años en Inglaterra, solicitó un privilegio real en España el 16 de junio de 1859; el título de su invención era «*Nueva máquina para producir fuerza motriz por medio del aire calentado*». Esta misma invención fue patentada el 14 de diciembre de 1858 en los Estados Unidos, con el número de patente US 22 281. Tanto el documento español como el americano se basan en el mismo concepto, si bien el primero es un perfeccionamiento del segundo.

Las figuras 25 y 26 muestran diversos dibujos del dispositivo de Ericsson. La máquina constaba de un calentador *e*, como puede verse en la zona izquierda de la figura 25, donde se quemaba el combustible en el fogón *f*. En el interior de un cilindro *A* se disponían dos pistones *a* y *c*; el primero de ellos es el llamado pistón de trabajo, mientras que el segundo es el denominado pistón de suministro. El pistón *a* puede verse debajo del «volante de inercia» en la figura 25, mientras que el pistón *c* se encuentra a la izquierda del *a*. Realmente el objeto que tiene el pistón *c* es permitir el suministro de aire caliente que, al expandirse, mueve al cilindro *a*; a su vez, retira el aire enfriado una vez que se ha expandido.

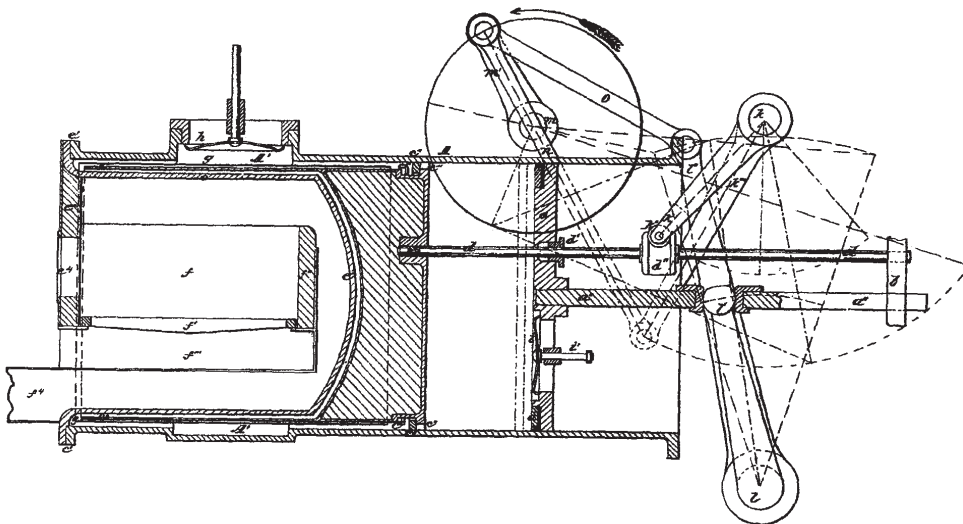
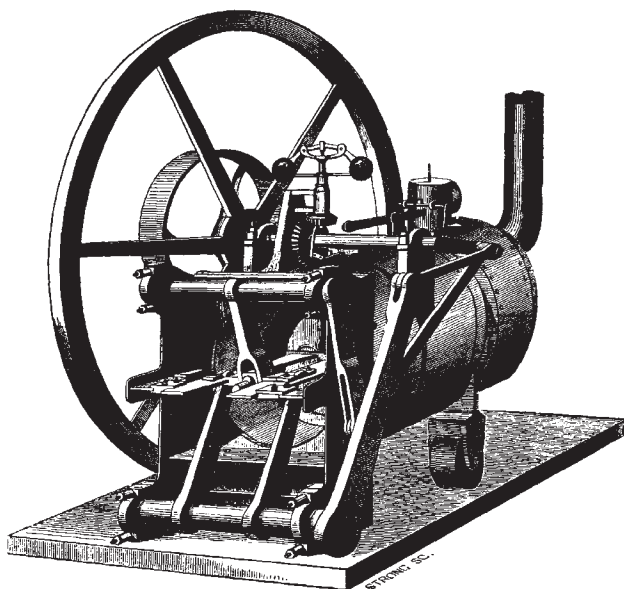


Figura 25.—Dibujo de la patente estadounidense US 22 281 sobre la máquina de Ericsson, presentada el 14 de diciembre de 1858 (USPTO, Washington)



MAQUINA DE CALORICO DE ERICSSON.

Figura 26.—Imagen de la máquina de Ericsson según aparece en un librito adjunto al privilegio real ES 1 907 PR, presentado el 16 de junio de 1859. Este librito está editado, en español, en los Estados Unidos por John B. Kitching, agente de Ericsson para la venta de *Máquinas de Calórico*. En el librito se mencionan algunos usuarios americanos que empleaban esta máquina. (OEPM, Madrid)

El funcionamiento de la máquina es el siguiente: se introduce aire atmosférico en el calentador e, que a continuación pasa a unos canales laterales en los extremos del cilindro A, donde hace un recorrido semilaberíntico hasta encontrarse con el pistón c; existen unos toques que impiden que el aire salga de ese recorrido hasta que c llegue a una posición determinada, que viene impuesta por el pistón a, ya que ambos pistones a y c están unidos por un vástago d. Una vez que c permite el paso del aire caliente al espacio limitado entre ambos pistones, se produce la expansión de a debido al efecto del aire caliente, efecto que finaliza aproximadamente cuando el pistón a llega al extremo derecho del cilindro A. En ese momento, el aire del interior del cilindro se ha enfriado y debe evacuarse; ello se consigue por el efecto del volante de inercia, accionado mediante las bielas m' y o que giran alrededor del cigüeñal m. Mediante ese movimiento, el pistón a se desplaza hacia la izquierda, lo que a su vez hace que el aire frío recorra el camino inverso al realizado cuando estaba caliente, hasta que se expulsa de la máquina mediante la válvula de desahogo h, ubicada encima del calentador e.

Existe una ligera diferencia entre la invención descrita, que es la que aparece en el documento americano, y la que figura en el privilegio real español. En el caso del documento español, Ericsson aplicó un balancín para accionar la válvula de descarga h; este balancín era accionado por el movimiento del cigüeñal m. Ericsson pagó las anualidades de su privilegio real español, aunque no hay constancia de su puesta en práctica en España ni de la fecha de caducidad.

Ericsson realizó nuevas mejoras en su máquina, que se reflejaron en el privilegio real ES 2 181 PR, titulado «*Máquina de Calórico de Ericsson mejorada*» y solicitado el

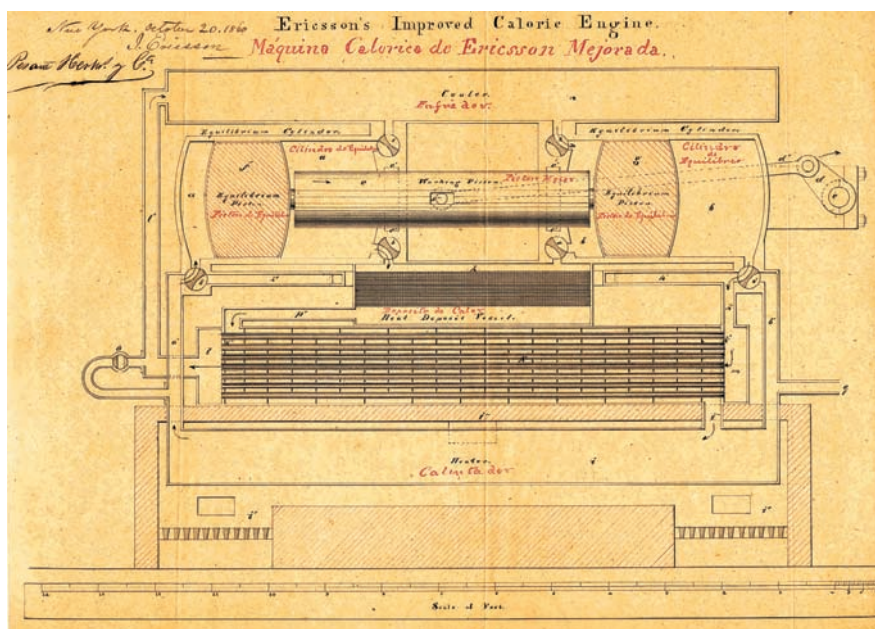


Figura 27.—Dibujo del privilegio real ES 2 181 PR sobre la máquina mejorada de Ericsson (OEPM, Madrid)

26 de noviembre de 1860 por Ericsson y la Compañía Pesant Hermanos. La figura 27 muestra el dibujo de este privilegio real, en cuya memoria descriptiva se explica su modo de funcionamiento:

«... Colocamos dos cilindros en línea recta a cierta distancia uno de otro. A estos cilindros les damos el nombre de cilindro de equilibrio. Junto o cerca de ellos colocamos una o varias cajas o recipientes de hierro muy fuertes y a prueba de aire a las cuales aplicamos calor; y otra caja o serie de cajas de hierro o recipientes, fuertes y a prueba de aire, las cuales se mantienen frías por medio de agua fría o de corrientes de aire atmosférico. Dentro de cada uno de los cilindros de equilibrio está colocado un pistón hueco, al cual llamamos pistón de equilibrio, lleno de polvo de carbón de leña u otra sustancia no conductora para impedir el paso del calor. Estos dos pistones juegan libremente por dentro de los cilindros, y están conectados uno con otro por medio de un tercer pistón más largo y de menor diámetro que se parece al ariete de una prensa hidráulica. Este pistón al que llamamos pistón motor, pasa muy ajustado al través de unas cajas de empaque colocadas en el centro de las cabezas de ambos cilindros y tiene a los dos pistones de equilibrio afianzados uno en cada una de sus cabezas, de manera que los tres tienen que moverse simultáneamente en una misma dirección. Este pistón tiene atravesada en medio una fuerte flecha o perno, que forma con él una cruz, y en cuyos dos extremos están insertadas dos varas de conexión, cuyos extremos opuestos están insertados en el manubrio del eje principal o motor de la máquina...

*La máquina se carga con aire comprimido por el tubo **g** por medio de la bomba de aire **r**, movida por una potencia auxiliar. Examinando con atención el plano, se verá que el aire comprimido entrará primeramente al calentador **i**, y de allí pasará a la caja regeneradora **K** y al depósito de calor **h**, así como al cilindro de equilibrio **a** por las válvulas **3** y **5**. Como el cilindro de equilibrio **b** está mientras tanto en comunicación con el enfriador **n**, por las válvulas **2** y **6** y los varios tubos antes descritos, es evidente que la presión en **a** forzará el pistón motor **C** dentro del cilindro de equilibrio **b** hasta llegar a la terminación del golpe. Al llegar allí, la posición de las válvulas se cambia ... lo cual hace que el pistón **C** se mueva en dirección opuesta, es decir entrando en el cilindro de equilibrio **a**, que se ha puesto en comunicación con el enfriador **n** y por lo mismo ha disminuido considerablemente su presión mientras que el cilindro **b** habiéndose puesto en comunicación con el calentador ha aumentado considerablemente la suya. De este modo se produce y sostiene un movimiento recíproco continuo, como en la máquina de vapor.»*

*«Debe aquí advertirse, que el aire calentado al ser expelido de los cilindros de equilibrio por las válvulas **5** y **6**, el tubo **h'** y la recámara **m**, a su paso por el interior de los muchos y estrechos tubos que corren a todo lo largo de la caja regeneradora **K**, va depositando en ellos su calor. Por otra parte el aire frío expelido de los extremos opuestos de los cilindros de equilibrio, después de pasar por **h** y **p'** entra en la caja regeneradora **K** y pasando por los espacios que median entre los tubos y en contacto con todos ellos recibe el calor que en ellos va depositando el aire caliente; y al entrar en el calentador por el tubo **i'** ha recibido ya una elevada temperatura, la cual produce un gran ahorro de combustible y facilita mucho la acción del calentador. Del mismo modo el calor que va perdiendo el aire caliente que pasa por dentro de los tubos de la caja regeneradora **K**, facilita mucho la acción del enfriador en enfriar completamente el aire antes de que entre en los cilindros de equilibrio por las válvulas **1** y **2**.»*

Llama la atención el hecho de usar la *caja regeneradora* como cambiador de calor para ir aumentando la temperatura del aire antes de entrar al calentador e iniciar así un nuevo ciclo, práctica tan habitual en las instalaciones térmicas de hoy en día. La caducidad de este privilegio real ocurrió el 22 de enero de 1862 tras abonar los pagos de mantenimiento pero sin acreditar la puesta en práctica de la invención.

Otra invención destacable es la del belga afincado en Francia Jean Joseph Etienne Lenoir. Lenoir solicitó su invención en los Estados Unidos, patente de 19 de marzo de 1861 número US 31 722; también solicitó protección en España el 27 de septiembre de 1860 mediante el privilegio real ES 2 140 PR «*Motor de aire dilatado con la combustión de los gases por medio de la electricidad*». Desgraciadamente, en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas no se conserva la memoria descriptiva de este privilegio real; sólo permanece la documentación administrativa y la cédula de concesión otorgada por S. M. la Reina Isabel II el 31 de diciembre de 1860.

Este privilegio real caducó el 1 de enero de 1862 por falta de su puesta en práctica en España, a pesar de que las tasas de mantenimiento fueron abonadas. Aunque no

hay pruebas de ello, todo parece indicar que la invención descrita en este privilegio real es la misma que la mencionada en dicha patente estadounidense.

En sentido estricto el motor de Lenoir es un auténtico motor de combustión interna, aunque sin compresión previa. Por ello no debería ser objeto de estudio en este punto, sino que debería incluirse en el capítulo 3. Sin embargo, se hace esta referencia aquí porque, como se verá, el capítulo siguiente se centra en los motores de combustión interna con compresión previa.

La figura 28 muestra algunos dibujos de la patente americana de Lenoir. En este motor se usaba una mezcla de aire y gas que se quemaba a presión atmosférica y sin

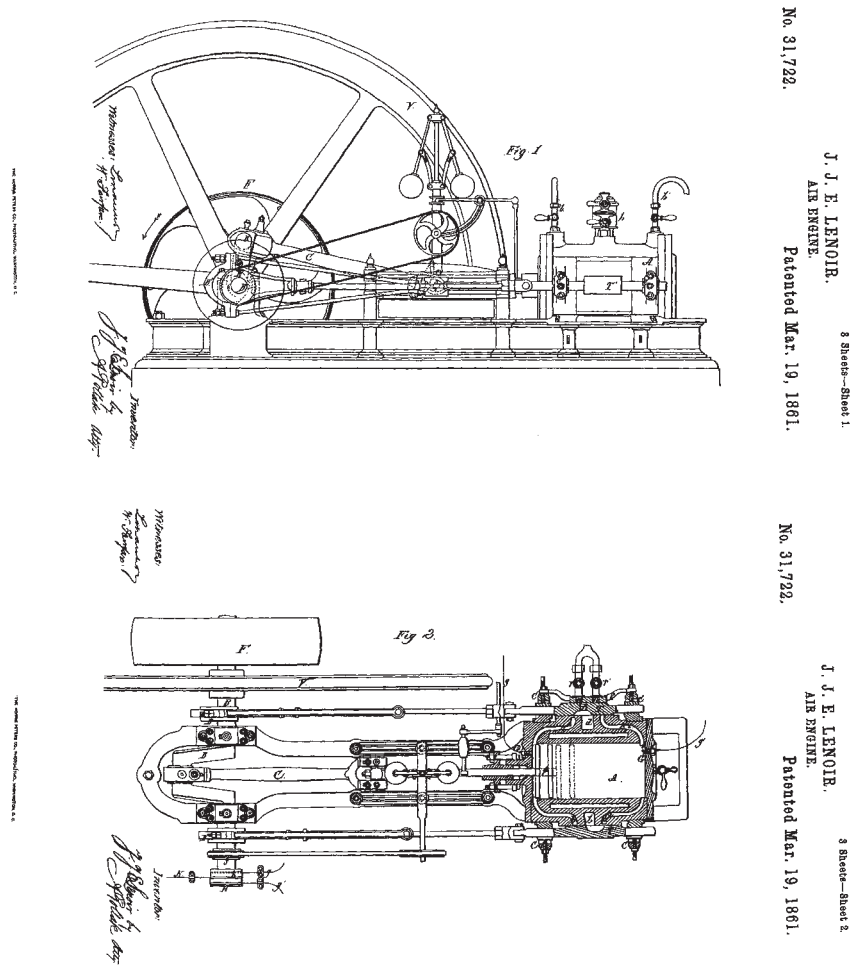


Figura 28.—Dibujos de la patente estadounidense US 31 722 de Lenoir (USPTO, Washington)

compresión previa. La mezcla aire-gas se introducía en un cilindro con un émbolo de doble efecto a través de una válvula de corredera cuya apertura estaba regulada por unos empujadores desde el cigüeñal. Cuando el pistón había recorrido la mitad de la carrera, las válvulas se cerraban y poco después saltaba una chispa desde una bujía; así, la mezcla se inflamaba con el consecuente aumento de la presión, consiguiendo transmitir potencia al pistón durante la otra mitad de la carrera. El ciclo se completaba con otra carrera completa para evacuar los gases de escape.

Aunque Lenoir no lo diga explícitamente, su motor estaba refrigerado por agua. En la memoria descriptiva de la patente US 31 722 su inventor explica que, como el motor trabaja a elevada temperatura, se introduce agua en su interior en una cantidad regulada mediante el grifo *l* que se convierte en vapor y se puede distribuir mediante el tubo *l'* al lugar que se desee. En cualquier caso, no se explica si el objetivo de la refrigeración era sólo disipar el calor del bloque motor, o si también se deseaba obtener vapor para algún uso determinado.

Ésta no fue la única invención que Lenoir registró en España; el 14 de enero de 1885 solicitó la patente ES 4 750 de título «*Un motor agrícola, locomóvil, funcionando por medio del aire carburado o por el gas del alumbrado*». La puesta en práctica de la invención está certificada el 21 de junio de 1887 en Madrid, en los talleres de Fundición y Construcción de Máquinas de San Rafael; caducó el 19 de septiembre de 1895 por no haber satisfecho la undécima anualidad.

2.3.2. Un antecedente español: el motor de Jaime de Arbós y Tor

El 25 de octubre de 1862 el presbítero catalán Jaime de Arbós y Tor solicitó el privilegio real ES 2 570 PR titulado «*Procedimiento para obtener una mezcla gaseosa aplicable como motor a las máquinas fijas o móviles y otros usos*». Arbós, que llegó a ser Catedrático de Física y Química, propone un dispositivo que permita la generación de un gas combustible para alimentar un motor de combustión interna; además, el calor generado en el procedimiento sirve para calentar agua que se convierte en vapor apto para su uso en una máquina de vapor.

La figura 29 muestra los dibujos del privilegio real de Jaime de Arbós y Tor. La imagen de la derecha muestra el dispositivo que permite generar la mezcla combustible para ser aplicada en el motor, mientras que el dibujo de la izquierda representa el motor en sí. El procedimiento se basa en una caldera *M*, provista de sustancias poco conductoras de calor en su contorno exterior, donde se acumula agua. En el documento se explica cómo se procede:

«Para poner en marcha este aparato se enciende fuego en el hornillo A y en el hornillo I, y una vez encendido, se llena el hornillo A de carbón haciendo penetrar el aire (tubo D) que viene de un fuelle; y cuando los gases que salen por la abertura cónica F son inflamables entonces se tapa dicha abertura en cuyo caso sale la mezcla gaseosa por el tubo G y de aquí van a parar al cilindro H lleno de carbón

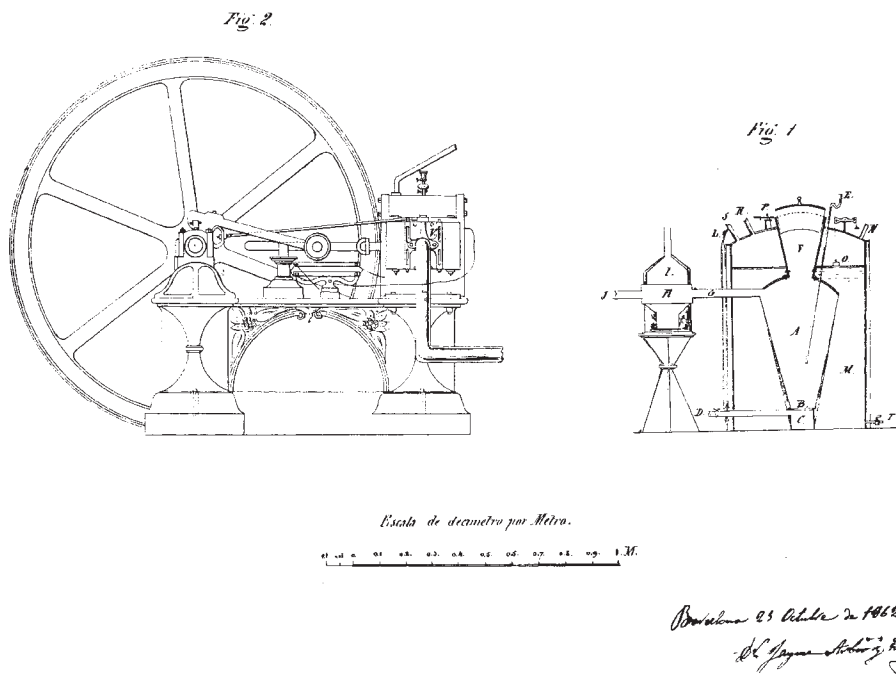


Figura 29.—Dibujos del privilegio real ES 2 570 PR de Jaime de Arbós y Tor, solicitado el 25 de octubre de 1862 (OEPM, Madrid)

incandescente para ser introducida junto con el aire en el cilindro V, donde por su combinación con el oxígeno, mediante la chispa eléctrica o alambre de platino candentes, se produce el esfuerzo necesario para hacer recorrer el pistón la mitad de su carrera; y como la formación de la mezcla gaseosa es continua, continua es también la carga, ora en la cara anterior, ora en la posterior del pistón.»

Arbós también propone que se puede hacer una mezcla gaseosa más rica si se introduce lentamente en el hornillo brea, aceite de resina, petróleo u otras materias grasas mediante el tubo sifón E. A su vez, el calor generado en la combustión del carbón sirve para calentar el agua existente en el interior de la caldera, y poder así alimentar una máquina de vapor convencional.

Desgraciadamente Arbós no da una descripción más detallada de la máquina de combustión interna que, por los pocos detalles que da, parece asemejarse a la de Lenoir: la existencia de «la chispa eléctrica o alambre de platino candentes» y la válvula de corredera que según se aprecia en la figura parece actuar sobre el cilindro V, son elementos comunes con el motor de Lenoir. Sin embargo éste presentó su invención en España dos años antes que Arbós. La invención de Arbós tiene certificada su puesta en práctica en Barcelona el 9 de septiembre de 1863. La caducidad de este privilegio real tuvo lugar el 31 de diciembre de 1877, por fenecimiento, tras quince años de duración.

2.3.3. Otros motores anteriores a 1876

En este epígrafe se destacan otros motores anteriores al de cuatro tiempos fabricado por Otto en 1876. Carlos Bloss Trautwein, apoderado en España de la *Gasmotorenfabrik Deutz*, solicitó el 20 de abril de 1875 el privilegio real ES 5 293 PR de título «*Máquina motor a fuerza de gas atmosférico*». Como se indica en el capítulo 3, Nicolaus August Otto y Eugen Langen crearon la *Gasmotorenfabrik Deutz* a principios de la década de 1870, si bien su colaboración se remonta a la década de 1860. Aunque Otto y Langen desarrollaron diversos motores, la primera referencia sobre su protección que se ha encontrado en España ha sido el documento anteriormente citado.

En la memoria descriptiva del privilegio real se describe el funcionamiento de este motor:

«La máquina a fuerza de gas utiliza como fuerza motriz el gas ordinario del alumbrado, y otros gases o vapores combustibles, en combinación con el aire atmosférico.

Los productos de la combustión de una mezcla de gas y aire dilatados por la calefacción, enfriándose vuelven a contraerse. Siendo repentina la combustión en la máquina de gas atmosférico, también lo es la expansión de los productos de esta combustión, y a este efecto se da el nombre de explosión. Esta expansión repentina no se emplea en la máquina de gas atmosférico directamente como fuerza motriz, sino sirve tan solo para producir una rarefacción de aire, en cuya consecuencia la presión de la atmósfera obra como elemento motor del siguiente modo:

En un cilindro abierto arriba, se inflama en la parte baja una mezcla de gas y aire debajo de un pistón herméticamente ajustado, y la explosión que de esta inflamación resulta, arroja el pistón hacia arriba.

La expansión repentina producida debajo del pistón, disminuye en proporción del aumento del volumen, y del enfriamiento de la mezcla explosiva.

Cuando la tensión, hija de esa expansión, se halla equilibrada por la atmósfera exterior, el pistón, por la fuerza del impulso recibido, sube sin embargo más todavía, lo cual favorece la condensación de los productos de combustión y acelera considerablemente su enfriamiento.

Antes de llegar el pistón al borde superior del cilindro, ese enfriamiento es casi completo, y debajo del pistón se ha formado una tensión equivalente casi del vacío, en cuya consecuencia la atmósfera obliga al pistón de volver abajo.

Esta acción de la atmósfera hace pues la máquina útil, puesto que el pistón lleva una vara dentada, llamada cremallera, cuyos dientes engranan con una rueda en el árbol del volante, en el cual esta rueda gira libre al subir el pistón,

mientras al bajar se engrana en el árbol imprimiéndole un movimiento de rotación.»

La figura 30 muestra los dibujos del privilegio real ES 5 293 PR solicitado por la *Gasmotorenfabrik Deutz*.

Llama la atención el aprovechamiento que se hace de la presión atmosférica para la obtención de la carrera útil del pistón, es decir, una vez conseguida la explosión de la mezcla combustible y con ello producirse la elevación del pistón, se conseguía el descenso del mismo debido a la diferencia de presión entre la atmósfera y el vacío que se producía al otro lado del pistón. Este empleo de la atmósfera para realizar la carrera de trabajo del pistón es similar al que se realizaba en la máquina de Newcomen a la hora de obtener el trabajo efectivo sobre el pistón.

Otto y Langen presentaron en la Exposición Universal de París de 1867 un motor de efecto atmosférico que debió ser muy parecido al descrito en este privilegio real; por dicho motor recibieron la medalla de oro de la Exposición¹¹. Considerando el tiempo transcurrido entre la Exposición de París y la presentación del privilegio real ES 5 293 PR (ocho años), cabe pensar que éste sea un modelo mejorado del presentado en París.

La puesta en práctica de la invención se certificó el 30 de noviembre de 1876, y su caducidad se produjo por fenecimiento del privilegio real el 11 de agosto de 1880, ya que éste era un privilegio de introducción con una duración de cinco años.

Este ingenio de la *Gasmotorenfabrik* tiene ciertos parecidos con la máquina descrita en el privilegio real ES 2 550 PR solicitado el 18 de octubre de 1862 por Eugene Barsanti, Felix Mattencchi y Jean Babacci, residentes en Florencia, Italia. Se desconoce la fecha y el motivo de caducidad de este privilegio que también describe un motor de combustión interna sin compresión previa. La figura 31 muestra algunos de los dibujos de esta invención que, en esencia, consistía en quemar una mezcla de aire atmosférico y combustible en el recinto A de un cilindro, confinado entre dos émbolos P.

La combustión se producía al aplicar una chispa eléctrica en el recinto A, lo que generaba la explosión de la mezcla y el desplazamiento de los émbolos hacia los extremos del cilindro. En estos extremos había practicadas una serie de aperturas, de manera que tras la expansión de los émbolos por la explosión de la mezcla, se producía la carrera de retorno gracias al efecto de la presión atmosférica, ayudado por el volante de inercia de la máquina.

Puede apreciarse que esta invención es conceptualmente muy parecida al motor de Lenoir de 1860 y al de Arbós de 1862, ambos muy próximos a la fecha de presentación del privilegio real ES 2 550 PR.

¹¹ Véase la referencia que puede encontrarse en la página web del *Deutsches Museum* de Munich, según la URL del mes de mayo de 2004 <http://www.deutsches-museum.de/ausstell/meister/otto.htm>.

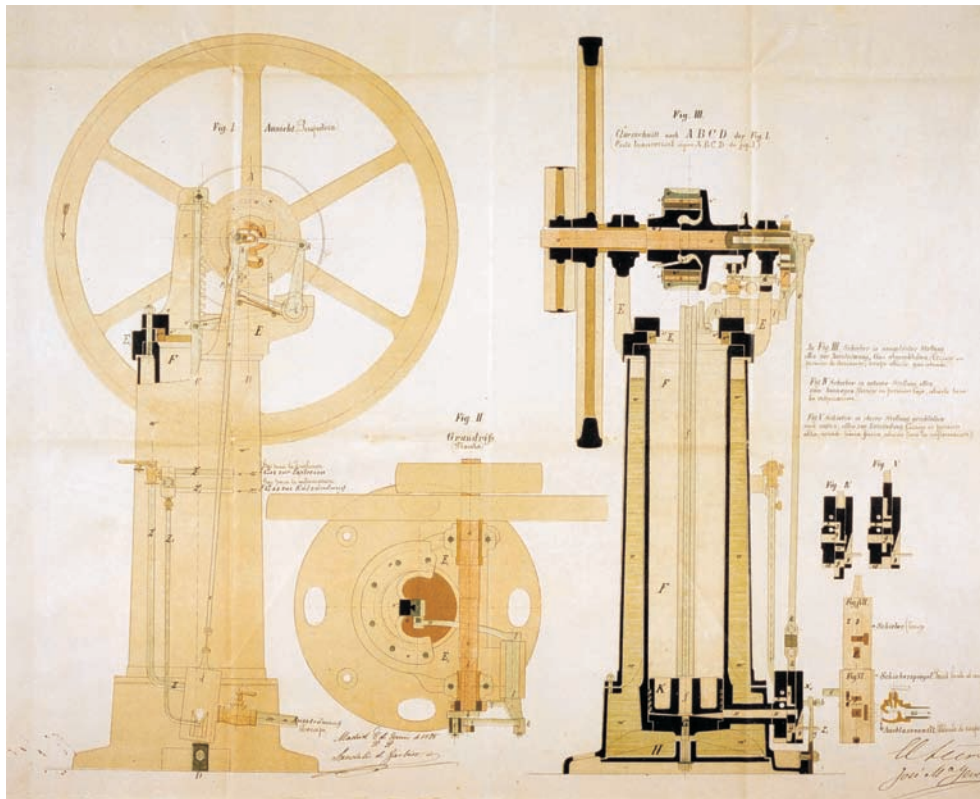


Figura 30.—Dibujos del privilegio real ES 5 293 PR de la Gasmotorenfabrik Deutz, solicitado el 20 de abril de 1875 (OEPM, Madrid)

Así pues, en la década de 1860 ya se estaba trabajando con motores de combustión interna. Sin embargo, faltaba un paso más: la compresión previa a la combustión, que fue planteada (al menos teóricamente) en 1862, tal y como se verá en el siguiente capítulo.

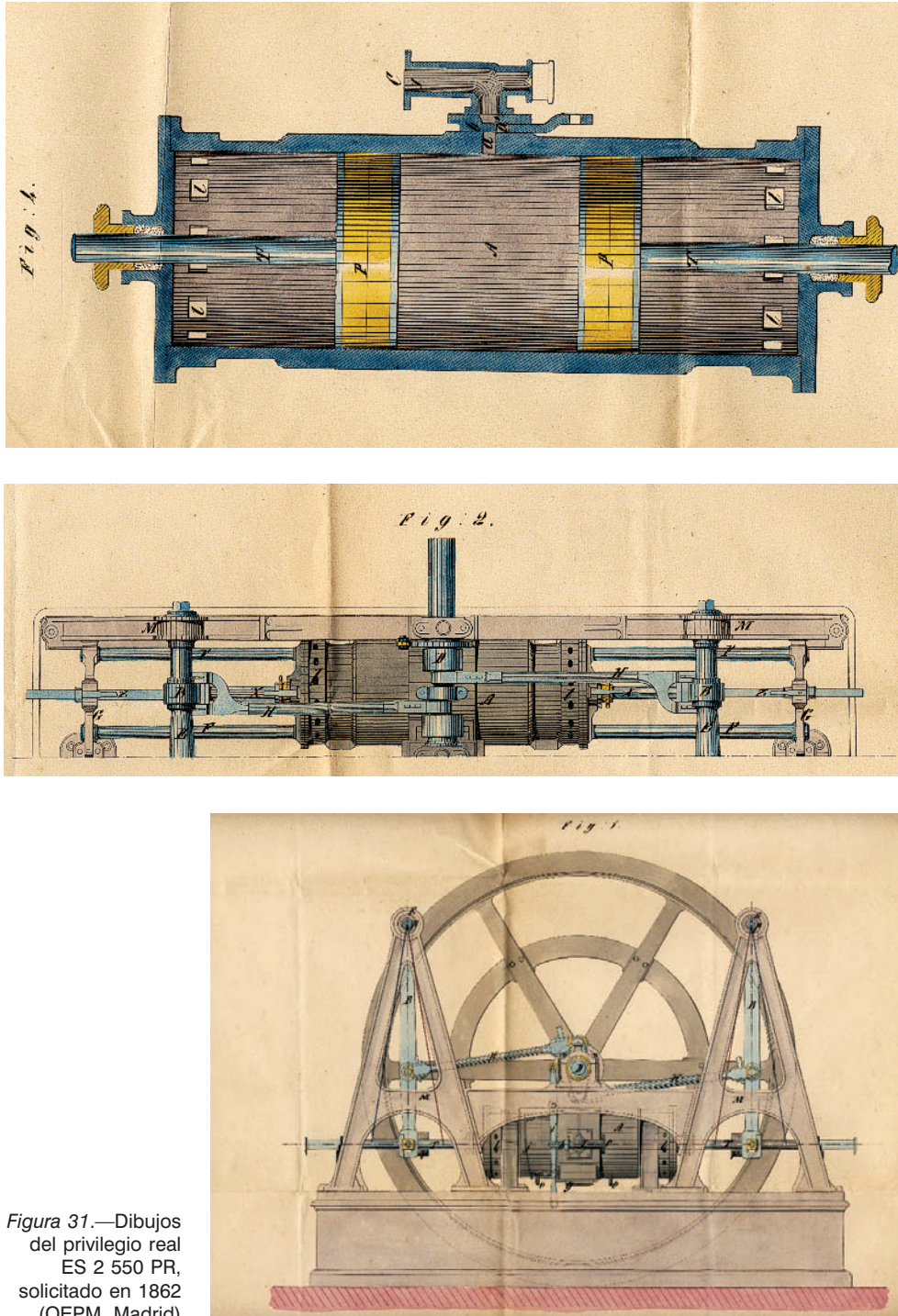


Figura 31.—Dibujos del privilegio real ES 2 550 PR, solicitado en 1862 (OEPM, Madrid)

3. LA CARRERA POR EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

En el capítulo 2 se han visto las invenciones relativas a máquinas de vapor, así como los desarrollos técnicos sobre los motores de aire. Desde ellos se llegaría a los motores de combustión interna, cuyo primer exponente posiblemente sea, según los datos que actualmente se tienen, el motor de Lenoir. Sin embargo, a partir de este motor se fueron desarrollando otras propuestas que supusieron nuevos avances en estos mecanismos.

En el presente capítulo se hace una revisión de los acontecimientos técnicos que siguieron en los motores de combustión interna alternativos desde la aparición del motor de Lenoir en 1860. Dos años después de esa fecha, Beau de Rochas propuso el ciclo teórico del motor de cuatro tiempos, y en 1876 Otto construyó el primer motor según un ciclo de cuatro tiempos. Después, los ingenieros de la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*, Langen y Daimler, ayudados por Maybach, fueron aportando conocimientos al acervo técnico. Varios años más tarde, en 1892, Diesel presentó su primera patente de un motor de encendido por compresión, cuyo primer prototipo funcionó en 1897. En estas páginas se analizan las patentes que Otto y Diesel presentaron en España y se comparan con las que presentaron en otros países europeos y en los Estados Unidos. También se exponen algunas de las patentes que Langen y Daimler solicitaron en España a título personal, independientemente de su vínculo profesional con la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*, debido al interés e importancia de alguna de estas invenciones.

Además de estas consideraciones, se presentan algunas de las patentes más relevantes solicitadas en España entre 1826 y 1914 relativas a motores de combustión interna. Continúa el capítulo con una revisión de las patentes que Birkigt, ingeniero de la Hispano-Suiza, presentó en España. Para finalizar, se comprueba la existencia de patentes solicitadas a principios de la década de 1910 relativas a motores dotados con sobrealimentación, lo que demuestra la aparición de esta tecnología antes de la Primera Guerra Mundial.

3.1. Beau de Rochas: el ciclo teórico de cuatro tiempos

Alphonse Eugène Beau de Rochas nació en Digne-les-Bains (Francia) el 9 de abril de 1815, hijo de Alexandre Beau, político que llegó a ser Secretario General de la Federación Bonapartista de los Alpes Bajos, y de Lucrèce Thérèse Jacques de Rochas, descendiente de una familia de farmacéuticos en Digne desde el siglo XIV. En 1835 el joven Alphonse obtuvo el título de «*artiste*» (ingeniero); su vida profesional estuvo dedicada a la ingeniería, especialmente en el terreno de la ingeniería civil así como en la incipiente industria del ferrocarril, y a la política, llegando a presentarse como candidato en las elecciones legislativas de 1848. Falleció en Vincennes el 27 de marzo de 1893.

El 16 de enero de 1862 Beau de Rochas presentó una solicitud de patente en Francia ¹² que puede calificarse de multidisciplinar, pues es un documento de 151 páginas que consta de cuatro grandes capítulos; en ellos se tratan aspectos como «*Perfeccionamientos de las condiciones prácticas de mayor utilización del calor y en general, de la fuerza motriz, con aplicación al ferrocarril y a la navegación*», «*Nuevas investigaciones sobre las condiciones prácticas del uso del calor y en general de la fuerza motriz*», «*Máquinas locomotoras con gran presión y gran adherencia*» y «*La tracción de los buques basada sobre el principio de la adherencia*». Podría considerarse que cada uno de estos capítulos es un documento autónomo, con contenido independiente de los anteriores; de hecho, en la cuarta parte se tratan aspectos tan diversos y variopintos como «*El misterio de las fuentes del Nilo*», «*La trata de negros*» o «*El marfil*»¹³.

En lo que a este estudio se refiere es de interés la información que aparece en el capítulo segundo, epígrafe ii) «*Motor mixto a vapor o a gas. Dispositivo con compresión previa*» (páginas 45 a 49 del documento), donde puede leerse textualmente¹⁴:

«El dispositivo que se acaba de describir parece ser el más simple de los posibles. Puede que sea el único aplicable a las máquinas locomotoras. El trabajo adicional que resultará será todo útil y sin duda alguna fuera de proporción respecto del coste de la instalación. Pero las verdaderas condiciones para el mejor empleo de la fuerza elástica de los gases, por lo menos sus condiciones más importantes no han sido descubiertas.»

«Estas condiciones son cuatro: 1.º el mayor volumen de cilindro posible para la mínima superficie periférica; 2.º la mayor velocidad de marcha posible; 3.º la ma-

¹² Se trata de la patente FR 52 593. El documento es un manuscrito y no hay constancia de ninguna copia mecanografiada, ni de que presentara su patente en algún otro país.

¹³ Debe considerarse que cuando se solicitó la mencionada patente existía una estructura colonialista en el continente africano, donde diversos países europeos (especialmente Alemania, Francia y el Reino Unido) tenían grandes influencias e intereses sobre dichos territorios.

¹⁴ Una transcripción más extensa de esta parte del documento de Beau de Rochas puede encontrarse (en inglés) en Cummins (1989), pp. 340-342.

yor expansión posible, y 4.º la mayor presión posible al comienzo de la expansión.»

La figura 32 muestra una copia en formato facsímil de la página de la patente francesa FR 52 593 donde se establecen las cuatro fases de este ciclo.

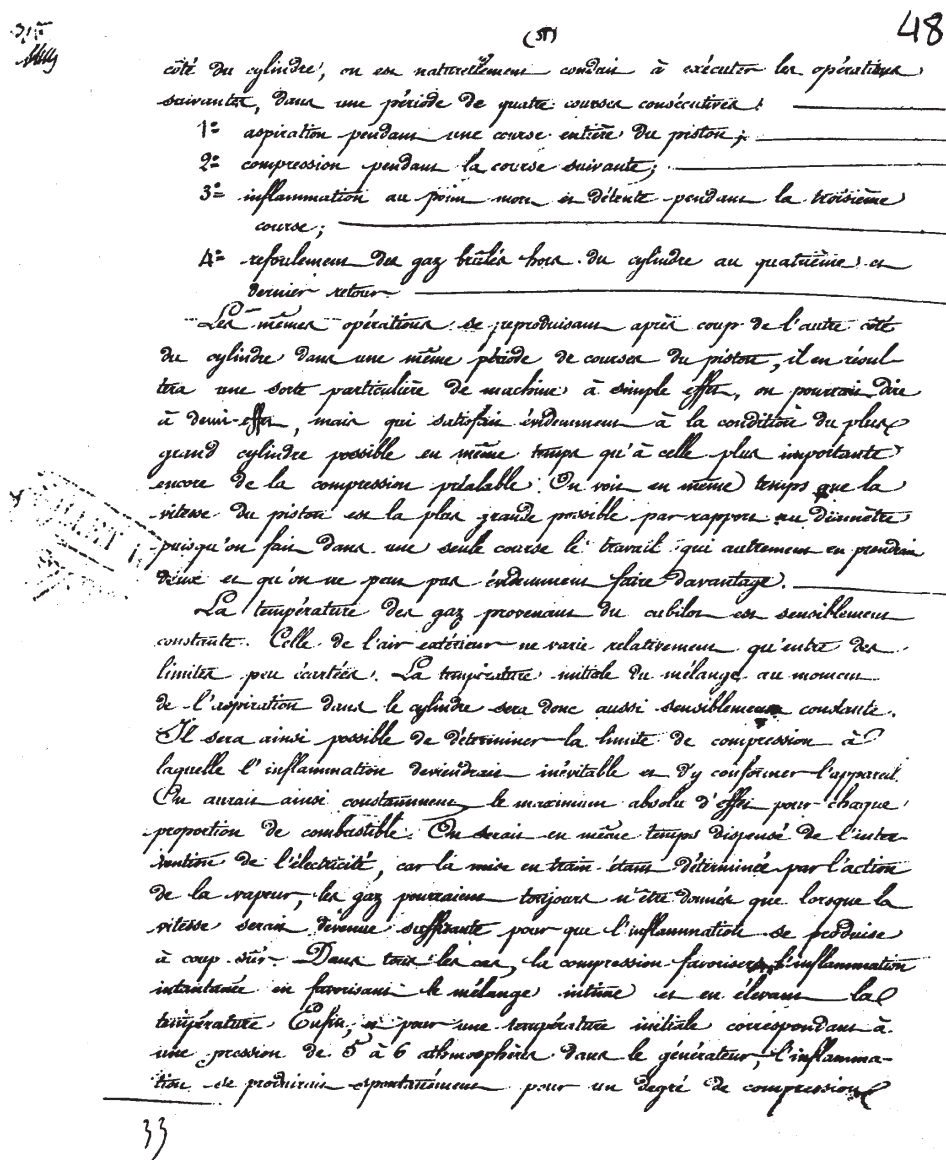


Figura 32.—Página de la patente francesa FR 52 593 de Beau de Rochas, donde se establece el ciclo teórico del motor de combustión interna de cuatro tiempos y sus fases (INPI, París)

Aunque no hay constancia de que Beau de Rochas construyera ninguna unidad del motor preconizado en su patente, parece que con estas premisas ya intuía cuestiones tan importantes como la adiabaticidad del motor (lo que se deduce de las dos primeras condiciones, pues las pérdidas de calor se reducen por la minimización de la superficie periférica y con la rapidez del proceso) o el máximo aprovechamiento posible de la presión en el interior del cilindro (relacionado con las dos últimas condiciones).

Beau de Rochas establece que la manera para que se puedan cumplir las anteriores condiciones es que se verifiquen las siguientes acciones dentro del motor:

«Así para un mismo lado del cilindro, se llega naturalmente a ejecutar las siguientes operaciones dentro de un periodo de cuatro carreras consecutivas:

- 1.º *aspiración durante una carrera entera del pistón;*
- 2.º *compresión durante la carrera siguiente;*
- 3.º *inflamación en el punto muerto y expansión durante la tercera carrera;*
- 4.º *expulsión de los gases quemados fuera del cilindro en la cuarta y última carrera»*

lo que vienen a ser claramente las cuatro fases del ciclo de cuatro tiempos, que se detallan así, por primera vez, en un documento público. Es decir, de las mencionadas cuatro condiciones para el empleo de la fuerza elástica de los gases, Beau de Rochas infiere directamente que dichas condiciones pueden cumplirse sólo bajo la acción de un ciclo: el de cuatro tiempos, cuyas evoluciones, según lo establecido por Beau de Rochas, son las que pueden verse en los gráficos de la figura 33, que representan la evolución del ciclo propuesto por Beau de Rochas en los diagramas P- α (presión-ángulo de avance del cigüeñal) y T-s (temperatura-entropía).

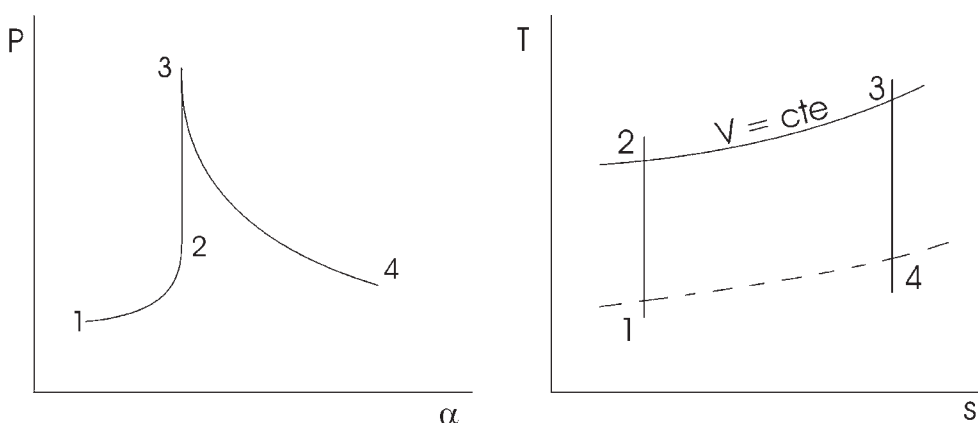


Figura 33.—Diagramas P- α y T-s de la evolución del ciclo propuesto por Beau de Rochas

En realidad la descripción del proceso que hace Beau de Rochas en su patente es lo que hoy se conoce como ciclo teórico a volumen constante, que es el que —para una relación de compresión dada— tiene el mejor rendimiento de los ciclos teóricos. La energía necesaria para iniciar la combustión se obtiene de un proceso previo de compresión en el que la temperatura se eleva hasta alcanzar la de autoinflamación del combustible exactamente en el PMS; de ese modo, se consiguen las condiciones 3 y 4 antes citadas. Beau de Rochas anticipa así las ideas que, más de treinta años después, pondría en práctica Diesel:

«En todos los casos, la compresión favorecerá la inflamación instantánea y favoreciendo también la mezcla íntima y elevando la temperatura.»

Es lícito reconocer la novedad de la patente de Beau de Rochas, es decir, hasta la fecha no se conoce ningún documento anterior a éste en el que se establezca el ciclo teórico de un motor de combustión interna alternativo de cuatro tiempos. Por este motivo, y mientras no se demuestre lo contrario, puede afirmarse que fue Beau de Rochas quien estableció teóricamente este ciclo.

Como curiosidad, merece citarse que esta patente expiró rápidamente; parece ser que ni siquiera fue pagada la tasa de publicación, por lo que no se produjo su publicación oficial, quedando su difusión limitada a unos cientos de litografías de su documento manuscrito que Beau de Rochas mandó hacer [véase Cummins (1989), p. 175]. Este hecho, que podría considerarse meramente anecdótico, tuvo su importancia tal y como podrá comprobarse más adelante, cuando las patentes de Otto entren en escena.

Analizar la patente de Beau de Rochas bajo una perspectiva de la Propiedad Industrial a principios del siglo XXI resulta una tarea especial, tanto por la importancia técnica de su contenido como por la diversidad de asuntos en ella tratada. Desde esta visión, lo primero que cabe decir de dicha patente es que hoy en día no superaría un examen sobre unidad de invención¹⁵. Probablemente, cada uno de los capítulos que integran dicho documento sea susceptible de considerarse como una invención distinta de las demás; incluso, sólo en el capítulo II puede considerarse que existen varias invenciones, pues se habla de motores con compresión previa así como de otros dispositivos que no la tienen. Por ello, si el documento de Beau de Rochas se presentase hoy en día en cualquier oficina de patentes, puede asegurarse casi con total certeza que en todas ellas se le obligaría a dividir su patente inicial y presentar tantas solicitudes como invenciones hubiese en el documento original. Esto es debido, como ya se ha dicho, a que por el contenido del documento, éste no es susceptible de ser considerado como una sola patente sino como varias.

¹⁵ En el terreno de la Propiedad Industrial, se entiende que una patente no tiene unidad de invención cuando en un mismo documento están integradas al menos dos invenciones distintas, de manera que no exista un único concepto inventivo general.

Otro aspecto que resulta curioso destacar es la escasa presencia de dibujos, algo que parece tan necesario en las patentes eminentemente mecánicas como ésta; en concreto, en la parte del documento de Beau de Rochas objeto de este comentario, no existe ningún tipo de referencia gráfica que permita visualizar los planteamientos técnicos expuestos en la patente francesa.

Del mismo modo, parece que el documento de Beau de Rochas carece de una característica imprescindible en las patentes de hoy en día: la *suficiencia de la descripción*. Esta suficiencia implica que con la información dada en la propia patente un experto en la materia podría ser capaz de reproducir la invención preconizada. A este respecto, debe aclararse que dicho «experto en la materia» debería serlo exclusivamente con los conocimientos técnicos existentes en la fecha de presentación de ese documento; es decir, a la vista de la información contenida en la patente de Beau de Rochas, un ingeniero u otro experto de esa época debería ser capaz de construir y llevar a funcionamiento un motor con las características del ciclo descrito. Este requisito parece imposible de cumplirse debido a que, en ese sentido, la patente de Beau de Rochas es un documento eminentemente teórico que carece de información concreta sobre algunos de los dispositivos fundamentales para el correcto funcionamiento de su máquina, como podría ser un sistema que fuese capaz de efectuar la autoinflamación instantánea de la mezcla en el PMS. Sin embargo quizás deba obviarse el análisis de estos detalles de funcionamiento y fijar la atención en el ciclo teórico en sí.

Conviene remarcar el reconocimiento que tuvo Beau de Rochas entre los expertos técnicos de su época, hecho que puede encontrarse tanto en literatura patente como en textos especializados de finales del siglo XIX y principios del XX. Así, en la patente ES 13 173, presentada el 9 de abril de 1892, se habla *un motor horizontal de gas que funciona según el ciclo de «Beau de Rochas»*. Por otro lado, en la patente ES 35 189, solicitada el 20 de diciembre de 1904, se habla en su página 7 de *una máquina que se construya para que funcione con lo generalmente conocido por ciclo de Otto*, mientras que en su segunda reivindicación se solicita la protección de *una máquina de combustión interna que funcione según el ciclo de Beau de Rochas*. En textos de principios del siglo XX, como el de Sáinz (1906), pp. 5-6, también se considera que fue Beau de Rochas quien desarrolló teóricamente el ciclo del motor de cuatro tiempos.

3.2. Nicolaus August Otto y la Gasmotorenfabrik Deutz AG: el primer motor de cuatro tiempos

Como ya se ha dicho, no hay evidencias de que Beau de Rochas construyera ningún motor que respondiera a su ciclo teórico; fue Nicolaus August Otto el que llegó a poner en funcionamiento por primera vez un motor alternativo de cuatro tiempos. Otto, que nació en Holzhausen (Alemania) el 10 de junio de 1832 y falleció el 26 de

enero de 1891 en Colonia (Alemania), no tuvo ninguna formación técnica universitaria. A pesar de esa carencia técnica, supo asociarse con ilustres ingenieros en su tarea como constructor de motores. Su padre murió cuando él era niño, hecho que condicionó su futuro; debido a la situación familiar, el joven Otto empezó a trabajar desde temprana edad, siendo una de sus principales actividades laborales la de comerciante. En uno de sus viajes conoció el motor de Lenoir visto en el epígrafe 2.3.1, lo que cambió su devenir profesional: a partir de entonces se dedicó a la construcción de motores.

En 1861 Otto construyó su primer motor de gas y en 1864 se asoció con el ingeniero Eugen Langen para crear la empresa constructora de motores «*N. A. Otto & Cie*», que en 1869 pasó a ser «*Langen, Otto & Roosen*» y en 1872 se convirtió en la «*Gasmotorenfabrik Deutz AG*», momento en el que Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach se incorporaron a la empresa [Cummins (1989), p. 139, y Castro Vicente (1969), p. 86 y siguientes]. Durante estos años, la actividad de Otto y su empresa es frenética, construyendo numerosos motores y presentando patentes sobre los desarrollos realizados, como se ha mencionado en el punto 2.3.3; sin embargo la patente relativa al motor del ciclo de cuatro tiempos no sería presentada hasta 1876¹⁶.

Resulta sorprendente comprobar las diferencias existentes entre los textos de las diversas patentes de Otto de su motor de cuatro tiempos. Así, mientras que el privilegio real español y la patente francesa son fieles traducciones de la patente alemana, el documento americano tiene un contenido diferente.

Al analizar cualquiera de dichos documentos europeos (el alemán, el francés o el español), se puede comprobar que en todos ellos quedan definidas claramente dos modalidades:

«A Motor puesto en movimiento por medio de gases, cuya tensión iguala a la tensión atmosférica.

B Motor puesto en movimiento por medio de gases, cuya tensión antes de su combustión es superior a la atmosférica.»

Es la alternativa B) la que representa un mayor interés para el estudio en este punto, pues viene a significar el establecimiento de las condiciones del ciclo de cuatro tiempos con compresión previa. El documento es una narración meramente descriptiva de los procesos que ocurren en la evolución del ciclo, concretamente el llenado del cilindro con los gases frescos, su compresión, combustión y posterior expulsión. Ello viene perfectamente resumido en lo que resulta ser la cuarta reivindicación de dichas patentes:

¹⁶ Esta patente fue presentada en varios países: Alemania (patente DE 532), España (privilegio real ES 5 479 PR), Estados Unidos (patente US 194 047), Francia (patente FR 113 251) y Reino Unido (patente GB 2 081 A. D. 1876) entre otros.

«4.º Establecer la acción del pistón de un motor de gas de llave, de modo que a cada dos vueltas de la llave se presenta de un solo lado del pistón los fenómenos siguientes:

- a) aspiración de los gases en el cilindro
- b) su compresión
- c) su combustión y su efecto
- d) su evacuación fuera del cilindro.»

La figura 34 ilustra los dibujos del privilegio real español de Otto ES 5 479 PR solicitado en 1876. La patente que Otto presentó en Estados Unidos (US 194 047) estableciendo el ciclo de cuatro tiempos presenta ciertas diferencias formales respecto de los documentos alemán, francés o español comentados anteriormente, aunque los cuatro documentos fueron presentados en fechas muy próximas entre sí¹⁷. Aunque la patente US 194 047 detalla meticulosamente el proceso seguido en el interior del cilindro (según se puede leer en la página 2, columna derecha de la patente americana) así como los cuatro tiempos involucrados en el desarrollo del funcionamiento del motor (página 3, columna izquierda, tercer párrafo), en las reivindicaciones de la patente americana no se hace referencia alguna a los cuatro tiempos que definen el motor de Otto, cosa que sí hacen los documentos europeos. Por otro lado, la información técnica de la patente US 194 047 es más exhaustiva que la que se encuentra en el documento alemán, el francés o el español; para empezar se aprecia que en los documentos europeos aparecen cuatro figuras (básicamente alzado, planta y vista lateral del motor que trabaja a presión mayor que la atmosférica —figuras 1, 2 y 3—, y disposición del cilindro que trabaja a presión atmosférica, figura 4) mientras que en la patente americana aparecen trece figuras (básicamente las distintas vistas del motor —figuras 1 a 4— y detalles del mecanismo de distribución, figuras 5 a 13 de la patente US 194 047). Esta información técnica adicional, que inicialmente sólo se encuentra en el documento americano, se verá reflejada rápidamente en otras patentes del viejo continente¹⁸.

Otra cuestión a destacar de la patente estadounidense es el hecho de que en este documento no se plantea en ningún momento la casuística de las patentes europeas (es decir, motor trabajando a presión atmosférica, o motor trabajando a presión mayor que la atmosférica), sino que desde el principio se considera el caso de que el motor trabaja a presión superior a la atmosférica. Termodinámicamente, la información contenida en las patentes de Otto de 1876 resulta exigua, por no decir nula; no hay referen-

¹⁷ La patente alemana DE 532 fue presentada el 5 de junio de 1876, la patente francesa FR113 251 el 9 de junio de 1876, el privilegio real español ES 5 479 PR el 27 de junio de 1876 y la patente estadounidense US 194 047 el 13 de julio de 1876. Tanto en Francia como en España los documentos que se conservan son manuscritos, mientras que en los otros países fueron publicados mecanografiados.

¹⁸ En Alemania se presentó la patente DE 2 735 como adición al documento DE 532; en Francia fue la patente FR 118 922 la que se presentó como continuación del documento FR 113 251, y en España el 16 de julio de 1877 fue presentado el privilegio real ES 5 694 PR. En Estados Unidos se presentó posteriormente otra patente, publicada con el número US 196 473. Los documentos conservados en España y Francia son manuscritos, mientras que en los otros países fueron publicados mecanografiados.

cia alguna a presiones o temperaturas en ningún punto del ciclo, ni siquiera órdenes de magnitud, ni otros parámetros termodinámicos (trabajo, rendimiento). Solamente en la patente alemana DE 2 735 (y en sus equivalentes española y francesa) aparece un gráfico con la evolución cualitativa de la presión en el motor según dos configuraciones distintas (véase la figura 35).

Durante su carrera profesional Otto presentó numerosas patentes relativas a perfeccionamientos de su motor, y también tuvo que luchar por la continuidad de las mismas. Debido a la heterogeneidad en las diversas legislaciones nacionales de patentes y a la práctica ausencia de convenios internacionales sobre Propiedad Industrial en aquellas fechas, la tramitación de solicitudes de patentes podía tener desiguales suertes en diferentes países. En 1882 empezaron los problemas en Alemania para las patentes de Otto [véase Cummins (1989), pp. 172-178], cuando Christian Reithman, un relojero de Munich poseedor de una patente que entraba en conflicto con la de Otto, testificó haber construido y puesto en funcionamiento un motor de cuatro tiempos antes de 1876; finalmente las más altas instancias judiciales fallaron a favor de Otto.

Además de los anteriores problemas, en 1882 Daimler y Maybach decidieron abandonar la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* debido a las discrepancias existentes entre Otto y Daimler. Poco tiempo después, en 1884, la Asociación de Ingenieros Alemanes publicó en su revista¹⁹ una carta del representante de una empresa de motores, en la que se daba a conocer la existencia de la patente francesa de Beau de Rochas. Los competidores de Otto usaron esta publicación para solicitar la nulidad de su patente alemana, alegando que el ciclo de cuatro tiempos ya estaba anticipado por el documento de Beau de Rochas y por tanto la patente de Otto carecía de novedad, motivo por el cual finalmente, en 1886, la patente alemana DE 532 fue revocada.

En otros países, como el Reino Unido y los Estados Unidos, los competidores de Otto también intentaron anular su patente, si bien en estos casos no tuvieron la misma suerte que con la patente alemana. Especialmente significativa fue la decisión americana, pues amparó a Otto por haber construido el motor de cuatro tiempos, lo que no consta que hiciera Beau de Rochas según ya se ha comentado.

Respecto a España, en la documentación conservada en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas relativa al privilegio real ES 5 479 PR, se han encontrado documentos que muestran que este privilegio de Otto tuvo varios problemas; probablemente la dificultad más grave que se presentó se refiere a la puesta en práctica de la invención. La legislación de la época exigía la puesta en práctica para el mantenimiento de los privilegios reales, entendiéndose como tal la existencia de algún establecimiento donde se fabricase la invención objeto de protección; pues bien, dicha puesta en práctica no fue acreditada inicialmente de forma adecuada conforme a la legislación entonces vigente.

¹⁹ *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, XXVIII, 12 de enero de 1884, pp. 45-47; citado por Cummins (1989), p. 174.

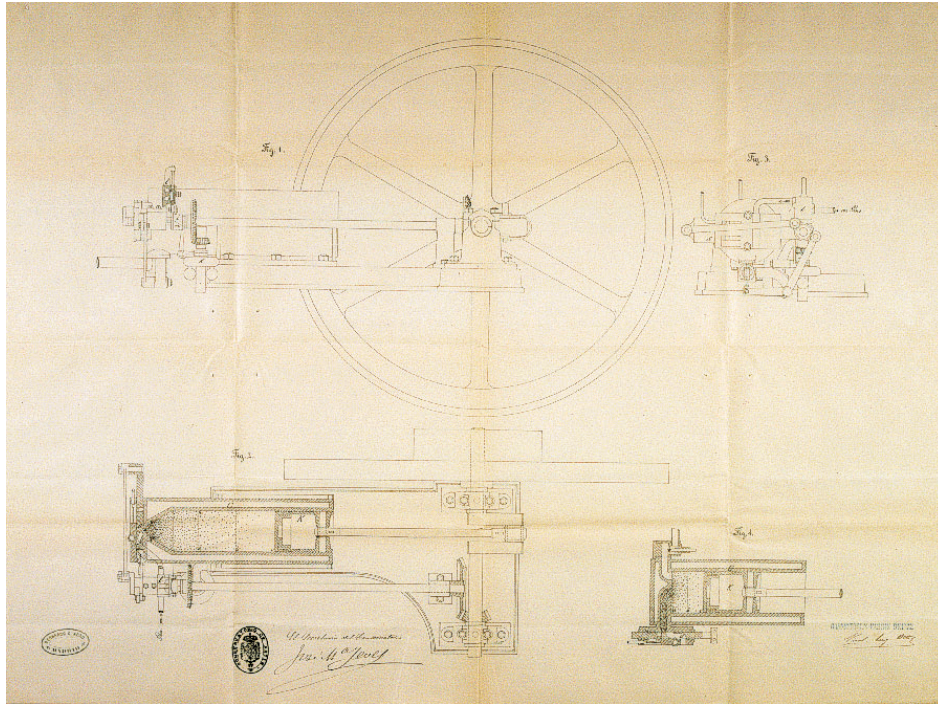


Figura 34.—Dibujos del privilegio español ES 5 479 PR, de Otto, solicitado en 1876

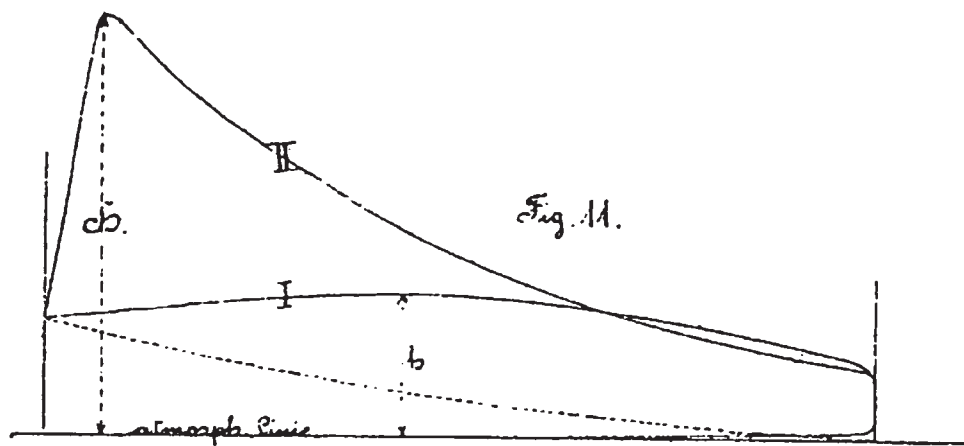


Figura 35.—Evolución de la presión en el motor de Otto según dos configuraciones propuestas

Fuente: patente alemana DE 2 735 (DPMA, Munich).

El 15 de junio de 1878 fue emitido un informe al respecto por Alfredo Bocherini y Calonge, Ingeniero Industrial de la rama Química, promoción de 1866, por la Escuela de Barcelona [Colegio de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 282]. En el escrito se declaraba que la máquina objeto del privilegio funcionaba en una fábrica de botones en Madrid, pero que dicha fábrica no tenía los elementos necesarios para la construcción de la máquina de Otto. Tras preguntar a Bernardo García Abad, representante de Otto en España, éste manifestó que la máquina procedía de los talleres de Carlos Bloss en Barcelona. Bocherini afirma que se le presentó una certificación sobre ello que, según escribe textualmente:

«... a juicio del que suscribe, es garantía suficiente para acreditar el hecho; pues es verosímil que en la Capital que pudiera llamarse de la industria española, exista la citada fábrica de construcción de máquinas con todos los elementos necesarios para la misma...»

sin embargo no se especifica qué tipo de acreditación es ésa que le permita inferir la construcción de dichas máquinas en Barcelona.

Posiblemente el informe de Bocherini debió considerarse insuficiente para acreditar la puesta en práctica de la invención de Otto, pues en la documentación de este privilegio real también se conserva un segundo informe sobre la puesta en práctica del motor de Otto en España. Dicho informe está emitido el 16 de julio de 1878 por Luis María Utor y Suárez, Catedrático de número del Conservatorio de Artes, según se cita en la documentación del privilegio real ES 5 479 PR. En el texto del Colegio de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 282, consta que Utor era Ingeniero Industrial, rama Química, de la 9.ª Promoción, 1864, del Real Instituto Industrial. En dicho informe Utor indica que inspeccionó el taller de los Sres. Feu e hijos, ubicado en la calle Mesón de Paredes, 79, de Madrid; Utor también menciona en su informe tres puntos de especial relevancia: 1) que dicho taller es una fábrica de botones, y no de motores, 2) que la máquina de los Sres. Feu e hijos ha sido adquirida en Deutz, Alemania y 3) que la máquina que existe en el taller, y que fue exhibida a Luis M.ª Utor, está construida en Deutz según informe del encargado de taller, lo que puede comprobarse por el rótulo que aparece en el cilindro de la máquina, que dice «*Gasmotorenfabrik Deutz Patent n.º 3.019*». Utor finaliza su informe del siguiente modo:

«El que suscribe entiende que su misión no es solamente examinar si la construcción de la máquina está o no conforme con la descripción de la memoria que acompaña al solicitar el privilegio, sino también informar si el objeto privilegiado está puesto en práctica o mejor dicho, si se construye en España que es el objeto principal de la ley. Resulta de lo que antecede: 1.º) Que el taller de los Sres. Feu e hijos tiene por objeto la construcción de botones para el ejército y no está en disposición de fabricar los «Motores de gas». 2.º) Que la máquina que existe en el taller de dichos Sres. Feu e hijos y que se me ha presentado para hacer constar la práctica del privilegio no está construida en España.

En su vista debo informar a V. E. que no puede declararse puesto en práctica el referido privilegio concedido a la sociedad anónima titulada »Fábrica de Motores para gas» representada por D. Bernardo García Abad.»

El escrito de Utor es demoledor para los intereses de Otto en España; poco después de este informe, el 30 de agosto de 1878, el Director General de Instrucción Pública, Agricultura e Industria hace una propuesta en nombre del Ministro de Fomento por la que se declara caducado el privilegio ES 5 479 PR según lo dispuesto en el caso tercero del artículo 21 del RD de 27 de marzo de 1826, a la vista del informe negativo del Director del Conservatorio de Artes (cabe pensar que éste era Luis M.^º Utor). Dicho artículo 21.3 proponía la caducidad cuando no se hubiese acreditado la puesta en práctica en el plazo de un año y un día desde la fecha de su concesión; en el caso de este privilegio, la concesión fue otorgada el 21 de diciembre de 1876.

El 21 de octubre de 1878 se dicta una Real Orden declarando caducado el privilegio real de Otto ES 5 479 PR. Es imaginable el revuelo que debió generar esta decisión en la sede de la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* en Alemania. No obstante, Otto no claudicó y luchó por la defensa de sus derechos en España. En el expediente administrativo de este privilegio de Otto se encuentra un escrito de fecha 1 de julio de 1879, en el que se remite a la Dirección General de Instrucción Pública, Agricultura e Industria una instancia del nuevo representante de Otto, Guillermo Spitz. En esta instancia se menciona que la Administración actuó de forma adecuada al declarar caducado el mencionado privilegio real, debido a que el anterior apoderado de Otto en Madrid, Bernardo García Abad, no interpretó bien la ley al pretender la justificación de práctica, e intenta acreditar que las máquinas a que se refiere se construían en Barcelona y se vendían dentro del plazo de un año y un día. En el escrito de Spitz se hace responsable a García Abad, que según aquél obró «*por ignorancia o torpeza*» (sic) a la hora de redactar la nota final del privilegio ES 5 479 PR, donde escribió:

«El privilegio de invención por quince años que se solicita, recaerá sobre el uso y construcción de una máquina perfeccionada, para la fabricación de gas, por el procedimiento descrito en la anterior memoria y dibujo que se acompaña.»

tal y como puede leerse en la memoria descriptiva de dicho privilegio, al final de la página ocho y principio de la nueve. Obsérvese que el objeto final de la protección, tal y como está escrito, es *una máquina perfeccionada para la fabricación de gas*, que realmente poco tiene que ver con la invención descrita por Otto. En hechos como éste se aprecia la importancia que tiene la correcta redacción de un documento de patente, y en este caso es evidente que la representación de Otto en España cometió un grave error, que posiblemente pueda atribuirse a un fallo en la traducción de documentos. También puede que resultase más fácil para Otto atribuir un error a su anterior representante y con ello intentar enmendar la falta cometida.

Y eso es realmente lo que solicita Spitz; según expone en el mencionado escrito, habida cuenta de la buena fe notoria, y dado que, según Spitz, la responsabilidad es de «*la impericia del agente de que se valió*» (refiriéndose a García Abad), solicita al Mi-

nistro de Fomento la expedición de una nueva cédula «*por las máquinas cuyo motor es el gas, a condición de retrotraer la fecha de la cédula a 21 de diciembre de 1876 en que se expidió la primera*».

La opinión del autor de este libro es que Otto y sus representantes españoles tramitaron erróneamente la primera acreditación de la puesta en práctica; desgraciadamente hoy en día será muy difícil averiguar si este motor de Otto realmente llegó a construirse en España entre 1876 y 1878, pero lo que sí está claro es que en su momento no se obró conforme a la legislación vigente, y que el fallo de Utor sobre la falta de puesta en práctica de la invención fue conforme a la legislación vigente. Probablemente Otto quería conseguir activar su patente como fuese, y pensó que una forma de conseguirlo era echar la culpa de los errores pasados a García Abad, y solicitar la restitución de los derechos habida cuenta de que no habían obrado de mala fe.

La petición de Spitz fue atendida y por tanto los derechos del privilegio real ES 5 479 PR fueron restituidos por resolución y RO de 24 de julio de 1879. En esta ocasión, no hubo problemas con la acreditación sobre la puesta en práctica de la invención, pues está certificada el 10 de noviembre de 1879 por el Ingeniero Industrial Antonio Dardes Trías, promoción de 1864 de la Escuela de Barcelona y rama Química [Colegio de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 282]. En el certificado, donde Dardes indica que es «*delegado por el Excmo Sr. Gobernador Civil de la provincia para estas cosas*», también señala que se presentó en los talleres de Carlos Bloss en Barcelona, donde había una máquina vertical a gas sistema Otto y una máquina horizontal a gas sistema Otto,

«... pudiéndose apreciar los dos casos de movimiento por medio de gases cuya tensión hasta el momento de su combustión es igual a la tensión de la atmósfera y el de gases cuya tensión antes de su combustión es superior a la de la atmósfera.»

es decir, las dos opciones recogidas en la memoria descriptiva del privilegio ES 5 479 PR según se vio al inicio de este epígrafe. Dardes continúa su certificado expresando que:

«... Tanto el montaje como su funcionamiento se practica en estricta conformidad con los planos en virtud de los cuales se ha concedido la Real Cédula de privilegio de invención de fecha tres de octubre último por quince años, cuyos planos son litografiados, representados en cuatro figuras diversas secciones verticales y horizontales de la máquina, que nos han sido exhibidas; así como la memoria descriptiva de los mismos debidamente autorizada por el “Conservatorio de Artes”, confeccionándose en Barcelona todas las piezas que constituyen la máquina...

... Está puesto en práctica en Alemania, en Inglaterra, en Francia y en España desde el año mil ochocientos setenta y seis, en cuya época empezose en el taller del Sr. Bloss a construir y expender a los industriales las máquinas motoras a gas del sistema Otto como así se desprende del expediente instruido al efecto en el Juzgado de primera instancia de las afueras bajo la instrucción de D. Ignacio Torre...»

Se ve que finalmente hay una acreditación de puesta en práctica de la invención según lo descrito. La certificación final de puesta en práctica fue declarada por el Conservatorio de Artes el 11 de febrero de 1880.

También llama la atención que, a raíz de la restitución del privilegio, se escriba en las páginas nueve y diez de la memoria descriptiva una nota reivindicatoria final firmada por un nuevo representante de Otto en España, Pedro Rigalt y Fagell, donde se reivindica «una máquina cuyo motor es el gas», sustituyendo así la antigua redacción dada por García Abad; Rigalt fue nombrado representante de Otto en España por un poder que éste firmó en Deutz, Alemania, el 23 de agosto de 1879. Queda señalar que el privilegio real ES 5 479 PR caducó el 22 de diciembre de 1891, una vez finalizados los 15 años de concesión.

Sin embargo, éstos no fueron los únicos problemas que Otto tuvo con sus invenciones en España; es conocido que el industrial catalán Miguel Escuder Castellá fabricaba y comercializaba motores tipo Otto, sin permiso del inventor alemán. Escuder llegó incluso a solicitar dos patentes en España relativas a motores Otto: se trata de la patente ES 157 «Máquina horizontal sistema Otto movida por el gas atmosférico», y la patente ES 158 «Construcción de una máquina sistema Otto vertical», presentadas ambas el 10 de diciembre de 1878. La primera de ellas expiró el 1 de marzo de 1884 después de satisfacer cinco anualidades, mientras que la segunda caducó el 15 de octubre de 1881 tras abonar dos anualidades.

Desgraciadamente estas patentes de Escuder se encuentran en un estado de conservación muy deficiente, por lo que su consulta no resulta fácil; sin embargo puede comprobarse que no existen diferencias técnicas entre sus patentes y la máquina de cuatro tiempos de Otto. Por este motivo resulta sorprendente que se pudiera producir la concesión de las patentes a Escuder, dado que realmente eran un plagio de la invención de Otto; ello sólo puede explicarse por la existencia de un sistema de patentes en España de simple registro, que resultaba débil, ya que en él no se valoraba la novedad, la actividad inventiva ni la aplicación industrial de las invenciones, dejando la solución de conflictos en manos del sistema judicial.

Algunos autores, como Carreras *et al.* (1998), p. 2.43, indican que ante la fabricación y comercialización de los motores de Escuder, la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* presentó una demanda; según Carreras, la Justicia falló a favor de Escuder al considerar que la patente de Otto había prescrito por falta de explotación en el plazo provisto por la ley. En el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas se conserva, dentro del expediente ES 5 479 PR, un escrito del Procurador de los Tribunales Julián Muñoz fechado en Madrid el 15 de febrero de 1882. En este escrito, Muñoz, que representa a Carlos Bloss, solicita una acreditación de la resolución por la cual se declaró caducada la Real Cédula expedida el 21 de diciembre de 1876 a favor de Otto, así como de la RO de 24 de julio de 1879 por la que se restituye dicho privilegio. Desgraciadamente no consta más explicación y no es posible determinar si esta petición está relacionada con los posibles litigios entre Otto y Escuder o por otros motivos. La figura de Escuder ha quedado reflejada en varios textos de historia económica catalana,

como los de Nadal *et al.* (1991), pp. 183-185, y Cabana (1992), pp. 125-132. A pesar de todos los problemas acontecidos en su momento, hoy en día la fama y el reconocimiento mundial por el motor de Otto son innegables; no obstante, en Francia, el ciclo de cuatro tiempos recibe el nombre de «Beau de Rochas».

Como se ha dicho, es evidente que un sistema débil de la protección de las invenciones, como fue el español durante los siglos XIX y XX, propiciaba situaciones paradójicas como el plagio de los motores Otto por parte de Escuder. Sin embargo, tal y como apuntan Beatty y Sáiz (2002), la existencia de estos sistemas débiles para la protección de las invenciones, como el español de la época, pueden favorecer el desarrollo tecnológico de algunos países en vías de desarrollo. Ello se puede explicar, entre otras causas, porque al no existir un sistema de concesión de patentes con garantías sobre la novedad, actividad inventiva y aplicación industrial de la invención, cualquier problema de litigios debía resolverse en los tribunales, en muchos casos sin conocimientos específicos sobre Propiedad Industrial, lo que alargaba los procedimientos y hacía que las causas se dilatasen. Esta demora en las resoluciones judiciales permitía a los posibles infractores de las patentes la producción y comercialización de sus desarrollos en tanto no hubiese un fallo firme, lo que favorecía la presencia de sus productos en el mercado. Con ello se fomentaba la industrialización nacional y, por ende, el desarrollo tecnológico. Quizás, en hechos como éstos deba encontrarse la explicación a que algunos países europeos, como Holanda y Suiza, derogasen sus leyes de Propiedad Industrial durante unos años a finales del siglo XIX; con ello se posibilitó la apertura de sus mercados hacia nuevas tecnologías, lo que les permitió situarse (al menos como usuarios) en niveles técnicos similares a los de las naciones generadoras de innovaciones tecnológicas.

Además de los privilegios reales ya comentados, Otto registró en España unas veinte invenciones relativas a mejoras en sus ingenios y otros desarrollos relacionados con máquinas y motores térmicos²⁰. Aunque la mayoría de las veces la solicitud de la patente estaba a nombre del propio Otto, en otras ocasiones el titular de la patente fue la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*, algo que dependía de la estrategia de protección elegida.

3.3. Eugen Langen, el socio de Otto en la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*

Eugen Langen nació en Colonia (Alemania) el 9 de octubre de 1833; falleció en Colonia el 2 de octubre de 1895. Estudió ingeniería en el Politécnico de Karlsruhe y pronto pudo mostrar sus habilidades mecánicas en la empresa azucarera de la que su padre era copropietario.

²⁰ Concretamente se solicitaron los siguientes privilegios reales y patentes: ES 5 694 PR, ES 1 481, ES 1 645, ES 3 267, ES 5 767, ES 6 787, ES 7 406, ES 7 426, ES 7 894, ES 7 895, ES 8 028, ES 8 072, ES 8 084, ES 8 265, ES 10 698, ES 10 769, ES 10 802, ES 10 884, ES 11 016, ES 11 057 y ES 11 835. Para más información sobre estas patentes puede consultarse la tesis doctoral del autor, Amengual (2004 b), pp. 139-147.

Ya se comentó en los epígrafes 2.3.3 y 3.2 la relación profesional existente entre Otto y Langen; no obstante, a pesar de dicha relación laboral, Langen desarrolló sus propias invenciones que llegó a registrar en España independientemente de su vínculo con la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* y Otto. Si bien algunas de estas invenciones estaban relacionadas con la industria azucarera y con el ferrocarril²¹, hay una patente relativa a máquinas térmicas que se ha considerado relevante y adecuada para citar en estas páginas. Se trata de la patente ES 13 671, titulada *Mejoras en máquinas motores de gas y aceite* que fue solicitada el 19 de agosto de 1892. Caducó el 21 de enero de 1896 tras haber satisfecho dos anualidades y sin que quede constancia de su puesta en práctica. Estos datos hacen sospechar que el éxito comercial de este desarrollo debió ser nulo, o cuando menos escaso.

La patente describe el funcionamiento de un motor que se rige según un ciclo completo por cada vuelta del cigüeñal, es decir, como un motor de dos tiempos. La figura 36 representa algunos de los dibujos que aparecen en la documentación de esta patente, que ayudan a comprender su funcionamiento.

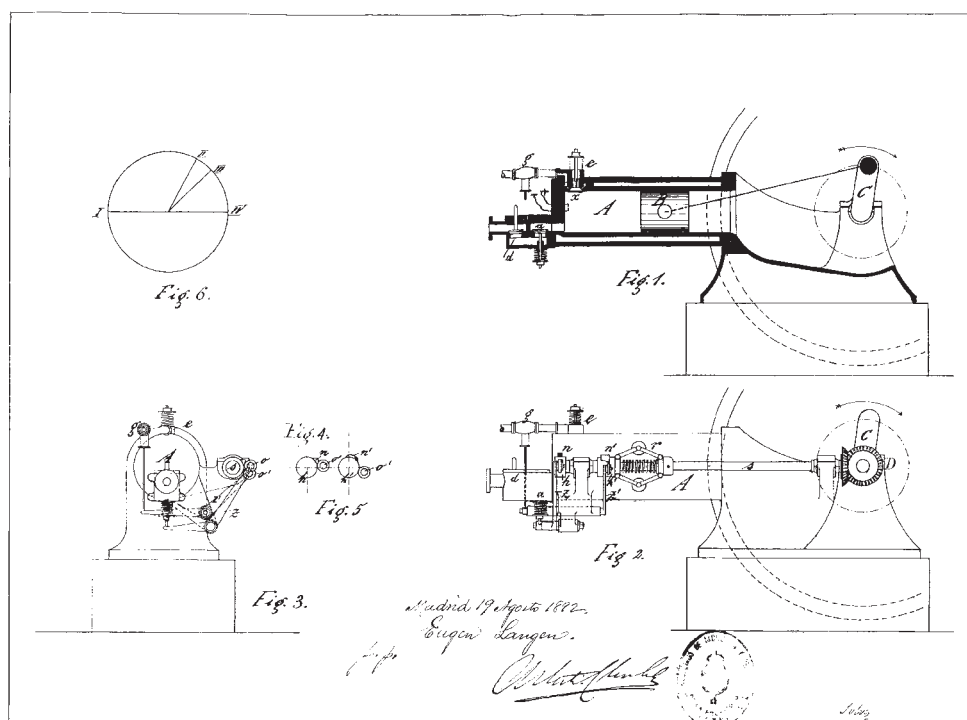


Figura 36.—Algunos de los dibujos de la patente ES 13 671 de Eugen Langen (OEPM, Madrid)

²¹ Langen solicitó en España los privilegios reales ES 2 221 PR y ES 5 036 PR, así como las patentes ES 1235, ES 1 676, ES 1 678, ES 5 035, ES 13 671, ES 17 178, ES 17 224, ES 17 228, ES 17 233, ES 17 252 y ES 17 491.

El dibujo numerado con el 6 en la figura 36 representa el movimiento que describe el cigüeñal C en la evolución del motor. Según Langen la carga explosiva es comprimida en el interior del cilindro hasta que el pistón alcanza el PMS (posición I en el dibujo 6 de la figura 36). Después, durante el movimiento de I a II, los gases se inflaman, se dilatan y dan impulso al pistón, el cual comunica a la rueda volante un momento correspondiente que facilita los movimientos ulteriores del pistón.

En el punto II la válvula de descarga a se abre por breve tiempo, durante el paso de II a III, facilitando con esto la fuga de los gases de combustión hasta que el interior del cilindro se encuentre a una presión próxima a la atmosférica. Langen expone que es difícil determinar la duración exacta de este periodo, y advierte que debido al enfriamiento y expansión de los gases en el interior del cilindro, la presión aquí podría disminuir y hacerse menor que la atmosférica, lo que generaría lo que él llama una *corriente de retroceso de los gases*. Para evitar este fenómeno propone disponer una válvula moderadora d en el conducto de descarga, detrás de la válvula a, que extraería esta corriente de retroceso.

Una vez que el cigüeñal ha alcanzado la posición III, y la presión en el interior del cilindro alcanza un valor próximo a la atmosférica, se cierra la válvula de descarga y se abre la válvula de entrada de mezcla c gracias al vacío parcial producido por el movimiento del pistón. De esta manera, Langen afirma que la nueva mezcla sin quemar entra en el cilindro tras el cuerpo de los gases de combustión contenidos todavía en él, produciéndose una estratificación en la carga, continuando tal entrada hasta que el movimiento del pistón hace que el cigüeñal alcance la posición del punto IV. Después, el cigüeñal en su media revolución desde IV hasta I comprime la mezcla contenida en el cilindro hasta que se alcanza el punto I, momento en que la carga entra en ignición, repitiéndose el ciclo según el procedimiento que se ha explicado. La válvula a y la de abastecimiento de gas g se actúan por medio de los salientes n y n'.

En la misma patente ES 13 671 Langen expone otros modos de funcionamiento de su motor, que se ilustra en los dibujos que aparecen en la figura 37. Conforme esta disposición, el anterior modo de actuar se modifica admitiendo solamente aire atmosférico en vez de una mezcla combustible de aire y gas, mientras que durante la primera parte del movimiento de vuelta del pistón se expulsa por la válvula de descarga una porción de la carga del cilindro que consta de una mezcla de aire y gases en combustión, después de lo cual se cierra dicha válvula y se comprime el resto de la carga. Al mismo tiempo, el gas combustible se fuerza dentro del cilindro bajo presión para constituir en el cilindro junto con el aire la carga combustible, la cual entra en ignición cuando el pistón llega al PMS. De esta manera, según Langen, se previene cualquier ignición prematura de la carga que pudiera darse en el procedimiento descrito en la misma patente, por estar en contacto los gases combustibles con las paredes calientes del cilindro o con los gases de combustión calientes. Además en este caso el periodo de compresión es variable, lo que no era en el caso anteriormente descrito. En los dibujos de la figura 37 se aprecia una válvula de descarga a, una válvula moderadora d en el pasaje de descarga, una válvula de admisión de aire l y una válvula g para regular la entrada del combustible gaseoso o pulverizado procedente de un depósito R.

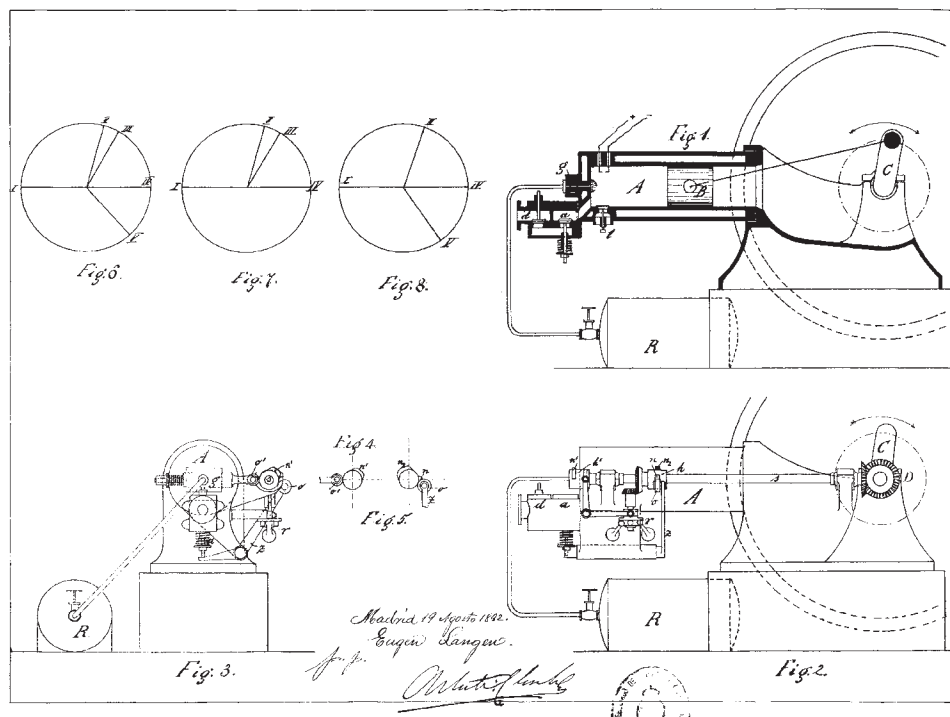


Figura 37.—Otros modos de funcionamiento del motor Langen descrito en la patente española ES 13 671 (OEPM, Madrid)

En el diagrama 6 de la figura 37 se representa el movimiento que sigue el cigüeñal en la evolución del ciclo. El punto I, que corresponde con la posición del pistón en el PMS, representa la ignición de la mezcla; durante el movimiento de I a II los gases en combustión se dilatan e impulsan al pistón, el cual comunica el momento correspondiente al volante de inercia que facilita la ejecución de los ulteriores movimientos del pistón. En el punto II la válvula de descarga *a* se abre por tiempo reducido, durante el movimiento desde II a III, facilitando con ello la fuga de una porción de los gases de combustión hasta que la porción remanente en el cilindro se quede próxima o iguala la presión atmosférica, momento en el que se cierra la válvula de descarga.

En el movimiento de III a IV se introduce aire fresco en el interior del cilindro, mezclándose con los gases de combustión remanentes en el cilindro. Después, durante la primera parte de la carrera de vuelta, del punto IV a V, se expulsa una porción de la mezcla de aire y gases en combustión, abriéndose nuevamente la válvula por cierto tiempo para conseguir este fin.

Durante la porción restante de la carrera del pistón, de V a I, se comprime la carga del cilindro, y durante esta compresión se abre la válvula de entrada de gas para introducir combustible a presión y formar así la carga combustible, que entra en ignición en

el punto I, con lo que se inicia un nuevo ciclo. Langen establece que los puntos II, III y V pueden determinarse a voluntad y que la máquina puede disponerse para funcionar sin la descarga realizada entre el periodo IV a V, tal y como se representa en el esquema 7 existente en la figura 37. Como curiosidad merece destacarse la denominación que Langen da a los puntos muertos, a los que se refiere como *centro de vacío o apagado*.

Otra modificación propuesta consiste en suprimir la apertura de la válvula de descarga en el punto II, de tal manera que la evolución del motor es la que aparece en el diagrama 8 de la figura 37: la expansión de gases se da entre I y II, la introducción de aire durante II a IV, la expulsión de aire y mezcla de gas de combustión entre IV y V, y la compresión del aire y la introducción del gas combustible bajo presión durante V a I.

Como ya se ha dicho, la escasa vida que tuvo esta patente y su falta de puesta en práctica hace dudar sobre el posible éxito comercial de esta invención; sin embargo, debe destacarse que la caducidad de esta patente se produjo apenas tres meses después del fallecimiento de Langen, por lo que es posible que sus herederos decidiesen no mantenerla o simplemente desconociesen su existencia. En cualquier caso, la detallada descripción de la invención, la claridad de sus explicaciones y sus figuras pone de manifiesto la valía de Langen como ingeniero a la hora de exponer sus nuevos desarrollos. Este hecho no se da en todas las patentes de Otto o la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*, como ya se ha comentado en el caso del privilegio real ES 5 479 PR que describe el ciclo de cuatro tiempos, en el que la suficiencia de la descripción y su claridad no es todo lo detallada para que un experto en la materia pudiera poner en práctica dicha invención.

3.4. Gottlieb Daimler, ingeniero de la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*

Gottlieb Daimler fue otro de los insignes ingenieros que trabajaron en la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*; sin embargo desarrolló sus propias invenciones cuando abandonó la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* en 1882. Gottlieb Wilhelm Daimler nació el 17 de marzo de 1834 en Schorndorf, Stuttgart (Alemania), donde su padre era panadero. Daimler estudió ingeniería mecánica en Stuttgart, en la *Polytechnischen Schule Maschinenbau* donde finalizó la carrera en 1859, aunque después, entre 1860 y 1862, amplió sus estudios en París, Leeds, Manchester y Coventry. En 1872 empezó a trabajar en la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* como director técnico, cargo que ocupó hasta 1882 año en el que, debido a grandes divergencias que mantenía con Otto, abandonó la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*. En ese momento Daimler recibió 112.000 marcos por las acciones que poseía de la compañía [véase Schlegelmilch und Lehbrink (1997), p. 14] lo que le permitió proseguir con sus desarrollos. Daimler falleció en Stuttgart el 6 de marzo de 1900, tras una fértil vida como constructor de motores.

Asociada con la imagen de Daimler aparece la figura de Wilhelm Maybach. August Wilhelm Maybach nació el 9 de febrero de 1846 en Heilbronn (Alemania); la madre de

Maybach falleció en 1854, y su padre en 1856, por lo que el joven Maybach pasó buena parte de su infancia y adolescencia en un orfanato. De 1861 a 1865 se formó como delineante técnico y cursó estudios secundarios de física y matemáticas. Desde 1865 hasta 1869 trabajó en el taller mecánico del orfanato, del que Daimler era director; Daimler pronto descubrió las habilidades mecánicas del joven Maybach, por lo que ambos continuaron su devenir profesional juntos. En 1869 Daimler abandonó la dirección del taller del orfanato y pasó a la *Maschinenbau-Gesellschaft Karlsruhe AG*, y Maybach le acompañó como delineante técnico; como ya se ha indicado, de 1872 a 1882 ambos trabajaron juntos en la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* y después de esa fecha mantuvieron su vínculo laboral. En 1907, algunos años después de la muerte de Daimler, Maybach abandonó la *Daimler-Motoren-Gesellschaft* y pasó a la *Grafen Zeppelin* donde trabajó en la construcción de los motores del famoso dirigible. Wilhelm Maybach falleció en Stuttgart el 29 de diciembre de 1929.

Se ha considerado necesario hacer este breve reseña biográfica sobre Wilhelm Maybach habida cuenta de su estrecha relación laboral con Daimler, aunque no hay constancia de que Maybach presentara individualmente en España patente alguna relacionada con motores. Sin embargo, Daimler sí patentó en España varias invenciones sobre motores, y cabe pensar que Maybach estuvo presente en su desarrollo.

En el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas se encuentran cuatro patentes solicitadas por Gottlieb Daimler relacionadas con motores; se trata de las patentes ES 660, ES 4 410, ES 5 021 y ES 5 361. A continuación se hará una breve descripción de dos de estos documentos, pasando a analizar las otras dos patentes más tarde en sendos epígrafes independientes, por el interés que pudieran suscitar²². La patente ES 660, de título *Construcción y explotación exclusiva de un motor de gas en el que uno o dos cilindros de alta presión vienen combinados con o sin otro de baja presión* fue solicitada el 22 de noviembre de 1879, es decir, cuando Daimler todavía trabajaba en la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*. La máquina descrita en esta patente describe un dispositivo que consta de tres cilindros, de manera que los productos gaseosos de la combustión obtenidos en dos de estos cilindros pasan al tercer cilindro, a fin de que por su expansión en este cilindro produzcan una nueva cantidad de trabajo. La figura 38 muestra un dibujo del motor descrito en esta patente.

En el documento se describe que los dos cilindros de alta presión A^1 y A^2 están abiertos por su parte más próxima al PMI y encierran los émbolos B^1 y B^2 , los cuales en su carrera hacia atrás aspiran una carga de gas y aire combustible, que se comprime en la sucesiva carrera del émbolo hacia delante; puesta luego en ignición, su carga obliga al émbolo a realizar su carrera de trabajo. En vez de dejar escapar y esparcir en la atmósfera los gases expelidos, se les obliga a entrar en un tercer cilindro A^3 (ubicado entre los cilindros A^1 y A^2), y así empujan al émbolo B^3 en virtud de su fuerza expansi-

²² Daimler también solicitó la patente ES 7 031 sobre un barco movido por un motor de gas, pero no se analiza en este texto al considerar que dicha invención está relacionada con el mundo de la construcción naval.

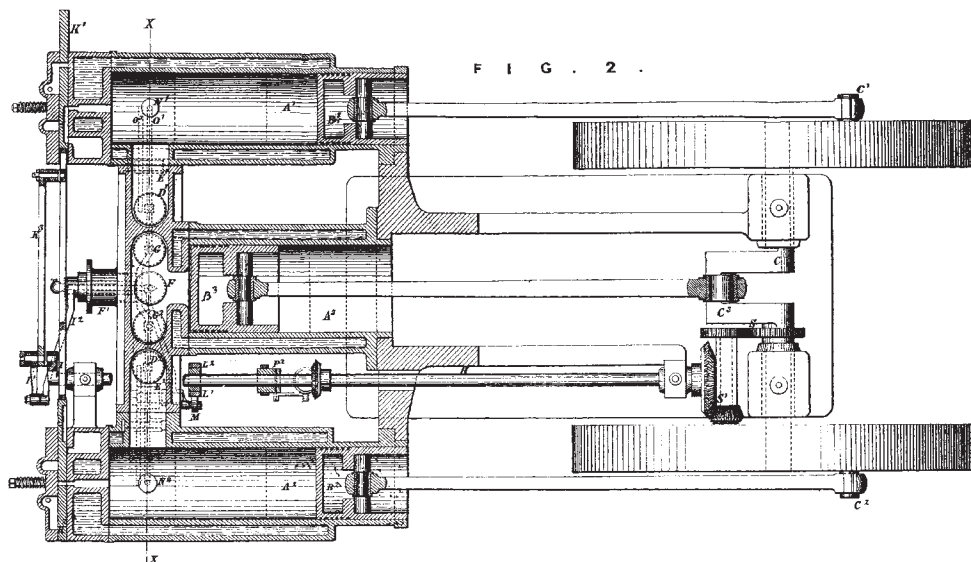


Figura 38.—Uno de los dibujos de la patente de Daimler ES 660, solicitada en 1879 (OEPM, Madrid)

va. La regulación de los cilindros estaba hecha de manera que por cada vuelta del cigüeñal se producían dos carreras útiles, una generada por alguno de los cilindros de alta presión (A^1 o A^2) y la segunda debida al cilindro A^3 . Con la regulación establecida se producían varias acciones en cada cilindro por cada media vuelta del cigüeñal, según puede apreciarse en la tabla 1.

TABLA 1.—Evoluciones en los distintos cilindros del motor descrito en la patente ES 660 de Daimler, en función del giro del cigüeñal

Media revolución del cigüeñal	Evolución en cilindro de alta presión 1	Evolución en cilindro de alta presión 2	Evolución en cilindro de baja presión 3
Primera	Aspiración de la carga	Expansión y producción de trabajo	Escape
Segunda	Compresión	Escape hacia el cilindro 3	Expansión por el escape de gases del cilindro 2
Tercera	Expansión y producción de trabajo	Aspiración de la carga	Escape
Cuarta	Escape hacia el cilindro 3	Compresión	Expansión por el escape de gases del cilindro 1

La puesta en práctica está certificada el 28 de agosto de 1882 y la caducidad se produjo el 19 de agosto de 1889 tras haber satisfecho nueve anualidades, por lo que cabe pensar que esta invención fue susceptible de tener cierto éxito comercial. Resulta llamativo que Daimler presentara esta invención siendo todavía director técnico de la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*²³; este hecho habría resultado conflictivo desde la perspectiva del siglo XXI. Efectivamente, según la ley de patentes vigente en España en el momento de redactar este libro (Ley 11/1986, de 20 de marzo) existe un vínculo entre el inventor que presta sus servicios en una empresa y la titularidad de las invenciones que dicho inventor pueda desarrollar en el ámbito del trabajo realizado en esa empresa [véase el Título IV de la Ley 11/1986, artículos 15-20, en Heras Lorenzo (2002), pp. 380-381]. Según el mencionado artículo 15, las invenciones realizadas por el trabajador durante su vínculo laboral con la empresa y que sean fruto de una actividad de investigación relacionada con el objeto de su contrato, son propiedad del empresario. Es decir, si a la invención descrita por Daimler en la patente ES 660 se hubiese aplicado la ley española de patentes de 1986, esta patente debería haber sido propiedad de la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* habida cuenta del trabajo que Daimler desarrollaba en esa empresa. Sin embargo, estas consideraciones son inapropiadas teniendo en cuenta la legislación vigente durante el último cuarto del siglo XIX y su planteamiento debe considerarse como un mero ejercicio teórico, puesto que tampoco se tiene constancia de si el contrato de Daimler con la *Gasmotorenfabrik Deutz AG* era o no de exclusividad.

Otra patente española de Daimler es la ES 5 021, presentada el 24 de abril de 1885 y de título *Un nuevo motor de gas*. El objetivo que perseguía Daimler con esta invención era que las mezclas explosivas empleadas en los motores fuesen mayores en cantidad y calidad, y que los residuos de la combustión fuesen menores. Para conseguir este propósito, Daimler propone añadir una carga adicional de aire y combustible o sólo de aire en cada ciclo del motor (es decir, por cada dos evoluciones seguidas del pistón desde el PMS hasta el mismo PMS) mediante el empleo de una bomba ubicada al otro lado del cilindro, con lo que además se conseguiría la expulsión de los residuos de la combustión anterior. En la figura 39 se pueden ver los dibujos correspondientes a esta invención.

En dicha figura puede apreciarse el cilindro **A** con la cámara de combustión **A**, en cuya extremidad superior se encuentra el canal de entrada y salida **a**; **b** es la válvula de entrada, **c** la válvula de salida y **d** es una cazoleta calentada por la parte exterior. **E** es el pistón en cuya cabeza hay una válvula de paso **e** con un muelle espiral **e**, y el disco tope **e**, ; **F** es un caballete-tope fijado en el armazón de la máquina. A cada bajada del pistón **E** el disco **e**, aprieta el muelle **e**, contra este caballete tope, de modo que la válvula **e** queda libre y se pone en funcionamiento hasta cierta distancia antes y después del PMI, abriéndose dicha válvula sólo cuando la presión en la caja del cigüeñal **G** es

²³ Durante el periodo en que trabajó en la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*, Daimler también solicitó patentes en otros países. Algunas de éstas son las patentes estadounidenses US 153 245, US 168 623, US 179 782 o las patentes británicas GB 414 del año 1874 y la GB 71 de 1875.

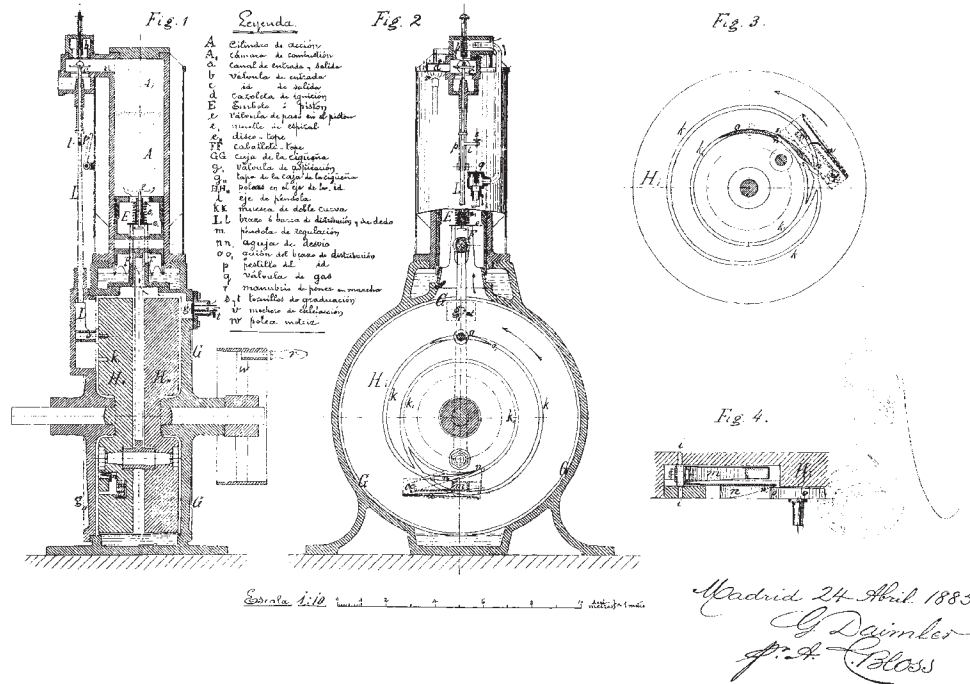


Figura 39.—Dibujos del motor de Daimler descritos en la patente ES 5 021 de 1885 (OEPM, Madrid)

superior a la que hay en el cilindro; la caja del cigüeñal hace pues de bomba para la admisión de la nueva carga o del aire que se introduce por la cabeza del pistón.

El principio de trabajo del motor es el siguiente: un poco antes de terminar la carrera descendente del pistón generada por la inflamación de la mezcla, se abre la válvula de escape, la presión dentro del cilindro disminuye hasta hacerse inferior a la que existe en la caja del cigüeñal, por lo que la válvula de la cabeza del pistón se abre y deja pasar al cilindro una carga de mezcla o de aire que empuja a los residuos de la combustión, que por su menor densidad se encuentran por encima de la nueva carga; la cámara de combustión tiene en este momento una primera carga de mezcla y aire. En la siguiente carrera descendente del pistón se introduce una segunda y principal carga de mezcla, y un poco antes de alcanzar el PMI se abre otra vez la válvula del pistón e y entra al cilindro una tercera carga. Durante la segunda carrera ascendente del pistón se produce la inflamación de la carga. Este proceso de inflamación de la carga se hace variando la riqueza de la mezcla que constituye la segunda carga; esta segunda carga se hace menos rica (de un medio a un tercio de la riqueza de la mezcla contenida en la cámara de combustión) al variar la válvula de gas q, por lo que al estar esta mezcla en contacto con la cazoleta de ignición d se produce la inflamación de esta parte de la mezcla. El momento de la inflamación se puede variar regulando el tornillo s.

Como puede apreciarse la complejidad de esta invención es considerable por las posibles dificultades inherentes a la ubicación de la válvula en la cabeza del pistón. Esta patente no tiene acreditada su puesta en práctica y caducó el 17 de enero de 1888 tras haber satisfecho tres anualidades. Si bien este hecho podría inducir a pensar que su desarrollo real, si se produjo, fue muy limitado, en el epígrafe 3.4.2 se darán pruebas que indican que esta invención tuvo aplicación práctica.

Además de las invenciones descritas anteriormente, Daimler solicitó en España otras patentes; su divulgación permitirá mostrar el talento de este inventor.

3.4.1. El motor de encendido por compresión de Daimler

El 12 de agosto de 1884 Daimler solicitó en España la patente ES 4 410 sobre un nuevo motor de gas. En este motor se emplea un nuevo método para comprimir rápidamente la mezcla de aire y combustible contra las paredes calientes del cilindro mediante la acción del pistón; de esta manera, cuando el pistón llegaba al final de su carrera resultaba una inflamación automática por efecto de la compresión y, por consiguiente, una explosión o rápida combustión de toda la mezcla contenida en el cilindro. La presión obtenida mediante dicho procedimiento se empleaba como fuerza motriz para el movimiento del pistón. Es decir, este documento de Daimler propone un motor de encendido por compresión. La figura 40 muestra alguno de los dibujos de esta patente.

Observando la figura 40 pueden apreciarse los distintos elementos que integran este motor: el cilindro A en cuyo interior se mueve el pistón B, la culata C y las válvulas de aspiración d y de escape e. Según el inventor alemán, su motor se rige por el siguiente principio de funcionamiento:

«Las paredes del espacio A adquieren, a las pocas repeticiones de dicho juego una temperatura normal algo elevada, la cual, unida al efecto de la compresión, produce con regularidad la inflamación de la mezcla en, o alrededor del punto muerto interior de la cursa del pistón, según el principio confirmado por la experiencia, de que mezclas combustibles, las que bajo presión puramente atmosféricas no se inflamarían o quemarían con lentitud, al ser comprimidas rápidamente, queman, no solamente con rapidez, sino hasta hacen explosión.»

Resulta evidente que el comentario que hace Daimler al principio de la anterior cita sobre «las pocas repeticiones de dicho juego» se refiere a las sucesivas carreras del pistón dentro del cilindro, una vez que comienza el funcionamiento del motor. Daimler expone en la patente ES 4 410 el fundamento de los conocidos como motores de cabeza caliente, proponiendo en cierta forma lo ya descrito por Beau de Rochas en su patente: el motor de encendido por compresión, en el que se comprimía una mezcla de aire y combustible hasta que se producía la autoinflamación de la mezcla debido a la presión existente en el interior del cilindro, así como a la temperatura de las paredes del cilindro. Como se verá en el epígrafe 3.5, este procedimiento difiere del que Diesel

Nuevo Motor de Gas

de G. Daimler en Cannstatt. (Alemania.)

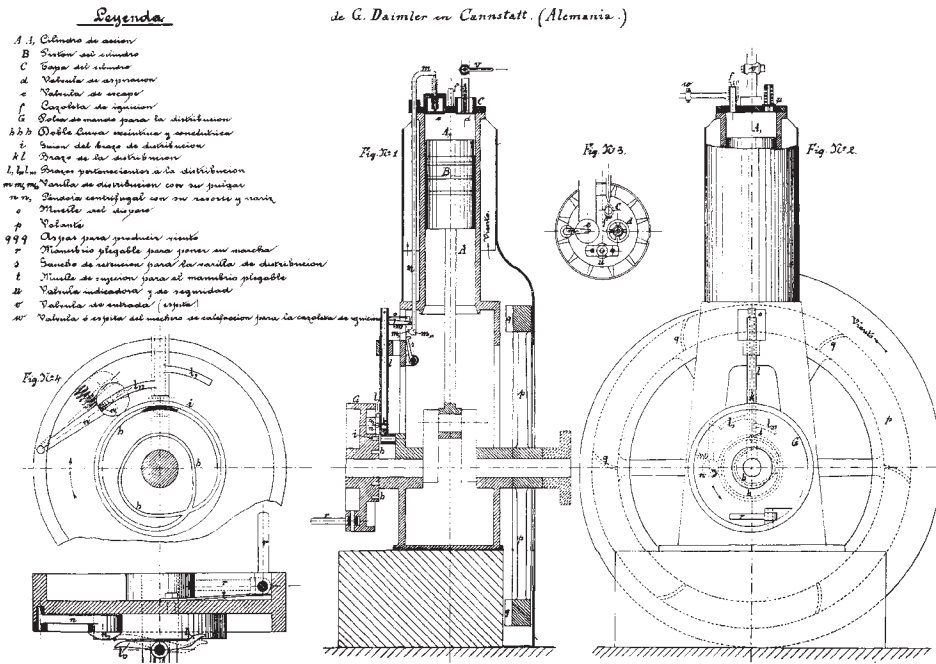


Figura 40.—Algunos dibujos de la patente de Daimler ES 4 410 (OEPM, Madrid)

propondría ocho años más tarde, en 1892, en el proceso de compresión: mientras Daimler comprime la mezcla de aire y combustible, Diesel propone en sus patentes comprimir inicialmente sólo aire, para después proceder a la inyección del combustible finamente pulverizado, que entrará en ignición al ponerse en contacto con el aire a alta presión.

Probablemente sea conveniente mostrar las diferencias básicas entre este motor y el propuesto por Diesel que se estudiará más adelante. Como se verá en el epígrafe 3.5, la idea inicial que tuvo Diesel para desarrollar su motor era buscar una máquina que simulase el ciclo de Carnot; para ello era necesario mantener la temperatura constante, por lo que había que simultanear el calentamiento producido por la combustión con el enfriamiento generado en la expansión. Por ello Diesel pensó inyectar el combustible con una ley tal que la temperatura fuese constante y se planteó simultanear inyección y combustión, por lo que debía comprimir sólo aire. Quizás por ello podría plantearse el debate si es oportuno denominar al motor Diesel como *motor de encendido por compresión*, o si por el contrario sería más adecuado llamarlo *motor de combustión por difusión*, al ser ésta su característica diferenciadora.

Desde una perspectiva actual se podría mostrar cierto escepticismo ante esta invención de Daimler, pues esta diferencia en el modo de admisión de la carga de su motor respecto al motor Diesel podría imposibilitar la autoignición de la mezcla por compresión; desgraciadamente en la patente no existen pruebas documentales que permitan corroborar o desmentir esta hipótesis. Daimler tampoco especifica en el documento qué tipo de combustible emplea, por lo que no se puede inferir ningún dato concluyente al respecto. Sin embargo, esta posibilidad de comprimir el aire conjuntamente con el combustible también sería propuesta por Diesel años más tarde, como puede comprobarse en la patente ES 19 821, como se describe en el epígrafe 3.5.5. Cabe pensar que al comprimir la mezcla en el motor de Daimler se produciría la autoinflamación de forma muy brusca, ya que se quemaría de golpe.

Considerando los problemas que tendría el funcionamiento de este motor durante su arranque, dado que al estar frías las paredes del cilindro el calor generado por la compresión se disiparía rápidamente, Daimler proponía la existencia de una cazoleta de ignición f que se calentaba mediante un mechero o llama externa. El interior de la cazoleta de ignición comunicaba directamente con la entrada de la mezcla al cilindro, de modo que la inflamación de la mezcla sólo tenía lugar al punto final de la compresión, siguiendo así hasta que la ignición ocurriera automáticamente, sin la referida cooperación. Así, calentando la superficie exterior de la cazoleta de ignición f se podía obtener también, con cilindro y carga fría, la temperatura necesaria para que se efectuasen con regularidad las inflamaciones mediante la compresión. Este procedimiento de calentamiento inicial con el motor frío se asemeja en cierto modo al que todavía se realiza hoy en día en los motores de encendido por compresión.

La patente ES 4 410 describe, además del sistema de inflamación de la mezcla por compresión, variaciones en la distribución del motor, un nuevo sistema para la regulación de la fuerza, un nuevo sistema para poner en marcha el motor y un nuevo sistema de refrigeración del cilindro. Desde una perspectiva actual de la Propiedad Industrial esta patente adolece de falta de unidad de invención, es decir, en una misma patente se recogen varias invenciones distintas, de manera que no forman un único concepto inventivo general. Este caso no es único y desde estas páginas ya se ha descrito algún ejemplo notable, como se dio en la patente francesa de Beau de Rochas, si bien en el caso de la patente española de Daimler la falta de unidad de invención puede que sea menos acusada que en el documento francés.

En este punto se desea destacar el sistema de refrigeración de este motor, que prescinde de cualquier refrigeración líquida para emplear una refrigeración forzada por aire. Para ello el volante p ubicado en el extremo del cigüeñal consta de unos álabes q que generan una corriente de aire que ayuda a mantener fresca la parte del cilindro en la que se mueve el pistón, pero que permite mantener el sitio de inflamación en el PMS a una temperatura relativamente alta.

En la página 7 de la patente ES 4 410 aparece el único dato numérico que se da en este documento; Daimler asegura que este motor desarrolla «*relativamente la mayor*

fuerza que hasta el día se haya conseguido con motores», dado el régimen de giro que podía alcanzar este ingenio: hasta mil revoluciones por minuto. Este valor es de suma importancia si se compara con el que, según Schlegelmilch y Lehbrink, tenía el motor de Otto de 1876 [Schlegelmilch und Lehbrink (1997), p. 14], pues estos autores cifran el régimen de giro en 180 rpm. Klemm (1962), p. 410, también cuantifica el régimen de giro del motor de Otto de 1876 entre 150 y 180 rpm; igualmente, Heywood (1988), p. 3, establece la velocidad de giro de este motor Otto en 160 rpm.

La relevancia de la patente ES 4 410 de Daimler probablemente quedaría en entredicho si no estuviese acreditada su duración y su puesta en práctica. Efectivamente, la *vida* de esta patente fue de algo más de quince años, pues caducó el 22 de octubre de 1900 tras haber satisfecho quince anualidades. Aunque la patente no alcanzase el final de su vida legal, limitada a veinte años, es lícito considerar la posibilidad de que esta invención gozase de cierto éxito comercial, habida cuenta que la duración de otras patentes en muchos casos raramente alcanzaba los cinco años, como ya se ha visto en otros ejemplos aquí citados.

El otro punto a considerar para comprender la importancia de esta patente de Daimler es la puesta en práctica de la invención. Su certificado de puesta en práctica es de fecha 20 de abril de 1887, y está expedido por el Ingeniero Industrial Ricardo de Aróstegui y de la Torre, de la rama Mecánica, 9.^a Promoción (1864) del Real Instituto Industrial [Colegio de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 282]. En el certificado de puesta en práctica de esta patente consta que Ricardo de Aróstegui y de la Torre es delegado por el Conservatorio de Artes de Madrid, por Orden de 23 de marzo de 1887, para entender de la justificación de la puesta en práctica de invenciones. En el certificado expedido por este ingeniero se puede leer:

«... procedí inmediatamente al examen minucioso del conjunto y detalles del referido nuevo motor de gas objeto de la patente, teniendo a la vista la memoria original y los planos diligenciados y sellados por el Conservatorio de Artes, unidos a la memoria, a cuyos documentos me atuve estrictamente, resultando que el nuevo motor de gas, de que se trata, estaba construido en un todo conforme con los referidos planos y descripción hecha en la memoria...»

Así puede comprobarse una vez más el papel de los ingenieros industriales en la acreditación del funcionamiento de las invenciones. A pesar de los posibles problemas que teóricamente pudiera tener este motor en cuanto a su funcionamiento, tal y como se entiende hoy en día el ciclo de los motores de encendido por compresión y como se ha comentado en estas páginas, no cabe duda que probablemente esta patente de Daimler sea uno de los primeros documentos que propongan el ciclo de un MEC.

A la vista de la documentación conservada de la patente ES 4 410, todo parece indicar que esta invención tuvo vida y éxito comercial, y que llegó a ponerse en funcionamiento en España. Daimler solicitó esta invención en otros países; la patente alemana DE 28 022 y la estadounidense US 313 922 describen esta misma invención, si bien el

contenido de los tres documentos (el español, el alemán y el americano) no es exactamente el mismo en los tres casos. En la patente española de Daimler no se hace referencia al derecho de prioridad; debe recordarse que si bien el CUP (Convenio de la Unión de París) de 1883 estableció en su artículo cuarto dicho derecho de prioridad para solicitar invenciones en otros países extranjeros [véase el texto de Heras Lorenzo (2002), pp. 1.050-1.052], en la práctica, y como se verá en el capítulo 5, este derecho empieza a utilizarse habitualmente para las patentes de máquinas y motores térmicos solicitadas en España por extranjeros, a partir de los primeros años del siglo xx. Este hecho también se explicaría parcialmente porque algunos países industrializados no ratificaron el CUP en sus primeros años de vigencia. Así, por ejemplo, el CUP entró en vigor en Estados Unidos en 1887, y en Alemania en 1903; por tanto, los inventores alemanes no pudieron acogerse al derecho de prioridad hasta principios del siglo xx.

3.4.2. El primer vehículo de Daimler

El 3 de octubre de 1885 Daimler solicitó una nueva patente en España, titulada *Un carruaje o trineo de movimiento propio por motor de gas o de petróleo* y a la que se asignó el número ES 5 361. Éste es uno de los primeros vehículos autopropulsados documentados en el Archivo Histórico de la OEPM, si se exceptúa la motocicleta de Perreaux descrita en el privilegio real ES 4 849 PR y a la que se hizo referencia en el epígrafe 2.2.5.

El objeto de la invención queda descrito completamente en la primera reivindicación de la patente:

«La combinación de un armazón de carruaje para una sola vía con un motor de gas o de petróleo y su depósito de gas o de petróleo, para obtener un vehículo de movimiento propio.»

Según se menciona en la memoria descriptiva, el motor empleado para la propulsión de este carruaje es el descrito en la patente de invención solicitada en abril de 1885, por lo que cabe pensar que se refiere a la patente ES 5 021. Aunque los dibujos que se describen en la patente ES 5 361 no permiten visualizar suficientemente los detalles del motor, en el texto de Cummins (1989), pp. 236-238, se muestra un dibujo del motor que propulsó este vehículo y puede comprobarse que coincide con los dibujos del motor descrito en la mencionada patente ES 5 021, hecho que permite ratificar dicha hipótesis.

Las figuras 41 y 42 representan respectivamente una vista de esta motocicleta, así como una leyenda de los elementos que integran el vehículo de Daimler. Su puesta en práctica está acreditada el 25 de junio de 1888 por Federico Pérez Bobadilla, Ingeniero Industrial, rama Mecánica, 10.ª Promoción (1865) del Real Instituto Industrial [Colegio de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 282], y Jefe de Fabricación de la Casa de Moneda en el momento de realizar dicha certificación. La patente caducó el 30 de octubre de 1900 tras haber abonado catorce anualidades.

Carruaje ó Trineo de Movimiento propio por Motor de Gas

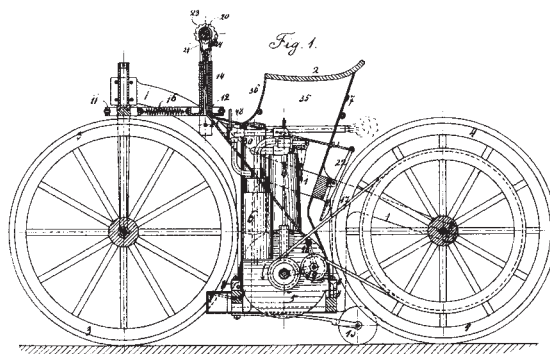


Figura 41.—Uno de los dibujos de la motocicleta de Daimler descrita en la patente ES 5 361 (OEPM, Madrid)

*Carruaje ó Trineo de Movimiento propio
por Motor de Gas ó de Petróleo
de G. Daimler en Cannstatt, Alemania.*

Leyenda del Plano

- | | |
|--|---|
| 1 Amarrón | 23 y 24 Ruedecita dentada y su tranqueta |
| 2 Asiento | 25 Polea motriz |
| 3 Rueda guadora ó zapato guador | 26, 27 Discos de fricción |
| 4 Rueda motora | 28, 29 Muelle y tornillo de presión |
| 5 Motor | 30 Cubito de escape |
| 6 Depósito de gas ó de petróleo | 31 Helice ventilador |
| 7 Tornillos de sujeción | 32 Eje de la cigüeñal del motor |
| 8 Discos de goma | 33 Camisa del cilindro |
| 9 Tarimas | 34 Cilindro de acción |
| 10 Barruchas ó Zapatos de balanceo | 35 Caja cerrada que forma el asiento |
| 11, 12 Discos de transmisión | 36, 37 Compuertas de ventilación |
| 13 Cadena ó cinta de id | 38, 39 Mecanismo y sus dientes diagonales |
| 14 Eje travesa | 40 Rotador en el depósito de petróleo |
| 15, 15 Tornos del timón | 41, 42 Tubos enchufados |
| 16 Muelle de contracción | 43 Tapa del depósito |
| 17 Cable de movimiento | 44 Agujeros en el tubo del rotador |
| 18 Palanca de tensión | 45, 46, 47 Cámaras de evaporación |
| 19 Barrucha de id | 48 Grifo regulador |
| 20 Barra de gobierno ó Timón | 49 Cedazo de separación |
| 21 Cuerda que une la barrucha de tensión | 50 Válvula de seguridad |
| 22 Palanca del freno | |

Figura 42.—Leyenda relativa a las figuras de la patente de Daimler ES 5 361 (OEPM, Madrid)

*J. P.
G. Daimler*



La motocicleta de Daimler fue patentada en Alemania (patente DE 36 423). Al igual que ocurrió con las patentes de Daimler anteriormente citadas, en la patente española ES 5 361 no se hace referencia alguna al derecho de prioridad a la hora de registrar esta invención en España, debido a que en Alemania el CUP todavía no había entrado en vigor.

Si bien esta patente no describe innovación técnica alguna en máquinas o motores térmicos, se ha considerado relevante por su importancia, pues probablemente sea la primera patente en España que describa un vehículo autopropulsado²⁴ y cuya puesta en práctica se encuentre certificada (recuérdese que el velocípedo de Perreaux no la tenía acreditada).

A la vista de las patentes solicitadas por Daimler en España y aquí descritas, cabe pensar la importancia que tuvo como ingeniero no sólo en la fundación y dirección de su compañía, la *Daimler-Motoren-Gesellschaft*, sino también el papel de debió desempeñar en la empresa de Otto. La claridad de exposición en el planteamiento de sus invenciones y el grado de detalle en la descripción de las patentes de Daimler, así como en las de Langen tal y como se vio en el epígrafe anterior (especialmente si se comparan con otras patentes de la época), induce a plantearse si el éxito que obtuvo Otto con su motor de cuatro tiempos hubiese sido factible sin la ayuda técnica de personas como Langen, Daimler y Maybach al servicio de la *Gasmotorenfabrik Deutz AG*.

3.5. Rudolf Diesel: tras los pasos de Carnot

Rudolf Christian Karl Diesel nació en París el 18 de marzo de 1858 y falleció el 29 de septiembre de 1913. Aunque Diesel era francés de nacimiento, sus padres eran alemanes. Su padre fue un artesano que fabricaba productos de cuero, y la familia vivió en París hasta que en 1870 emigraron a Londres al estallar la guerra franco-prusa. Las dificultades económicas que sufría la familia Diesel en el Reino Unido hicieron que el joven Rudolf fuese a vivir con un primo de su padre, profesor de matemáticas, en Augsburg (Alemania) durante cinco años. Diesel fue un brillante estudiante, y poco a poco fue despertándose en él la vocación por la ingeniería; gracias a su brillante expediente académico, fue admitido en la *Technische Hochschule München* (lo que hoy es la Universidad Técnica de Munich), donde obtuvo su diploma en ingeniería mecánica a los veintidós años.

²⁴ Otro de los primeros documentos que muestra un vehículo autopropulsado es la patente del triciclo de Benz, aunque no consta que en España se solicitase patente alguna por esta invención. El triciclo de Benz quedó registrado en la patente alemana DE 37 435 de 29 de enero de 1886 y en la patente británica GB 5 789 A. D. 1886, solicitada el 28 de abril de 1886. Igualmente, en el texto de Schlegelmilch y Lehbrink (1997), pp. 100-105, puede encontrarse información técnica y gráfica sobre este triciclo de Benz, considerado por muchos autores como el primer automóvil patentado. Existen indicios de otros vehículos autopropulsados, como el que desarrolló en Viena Siegfried Marcus en el año 1875, pero tampoco hay datos que demuestren que esta invención se patentó en España. Por otro lado, no hay un criterio unánime sobre si la invención de Marcus llegó realmente a ponerse en práctica.

Siendo ya ingeniero y a través de uno de sus profesores, Carl von Linde (el experto en máquinas térmicas y sistemas de refrigeración que compatibilizaba su trabajo en la universidad con la empresa privada), el joven Diesel empezó su vida laboral en el sector de la refrigeración y fue enviado a París para trabajar en el montaje de una instalación frigorífica. La experiencia que adquirió con el amoníaco le hizo reflexionar sobre la posibilidad de conseguir un ciclo termodinámico basado en una máquina de vapor sobrecalentada por amoníaco y obtener así, siguiendo las ideas de Carnot, una mayor diferencia de temperatura entre los dos focos caloríficos.

Parece que estas ideas sobre una máquina que funcionase según el ciclo de Carnot no eran nuevas para Diesel; en el texto de Klemm (1962), pp. 410-415, se expone una descripción del propio Diesel sobre la génesis y desarrollo de su motor. Según el mismo Diesel, la influencia del Profesor Linde en sus explicaciones de Termodinámica fue muy decisiva. Diesel escribe:

«Cuando mi venerado maestro, el doctor Linde, explicaba al auditorio en el curso de sus lecciones de Termodinámica en la Escuela Politécnica de Munich, en 1878, que la máquina de vapor transforma en trabajo efectivo sólo entre el 6 al 10% de la cantidad de calor disponible; cuando esclarecía el principio de Sadi Carnot y demostraba cómo en los cambios isotérmicos de estado de un gas, todo el calor cedido se transformaba en trabajo, yo escribí en el margen de mi cuaderno: "Estudiar si es posible realizar prácticamente la isoterma"... El deseo de realizar el proceso ideal de Carnot dominó desde entonces mi espíritu.»

Todo ello hizo que en 1892 Diesel escribiera un manuscrito²⁵ reflexionando sobre estas cuestiones, que sirvió de base para las patentes que presentó durante esas fechas en diversas naciones. De esta manera Diesel solicitó en los primeros meses de 1892 una patente de título *Procedimiento para producir trabajo motor por la combustión de combustibles* en varios países europeos²⁶. Esta primera solicitud se vio ampliada por una aportación voluntaria que el propio Diesel presentó en los meses siguientes²⁷. La edición final de la patente alemana no permite diferenciar el texto original presentado en febrero de 1892 de la aportación posteriormente realizada; sin embargo, tanto en el documento británico como en el francés, estas adiciones se mantuvieron independientes de la solicitud inicial, circunstancia que los hace ideales para estudiar la evolución del pensamiento de Diesel²⁸; además, el contenido de la patente británica y el de

²⁵ Diesel, Rudolf, *Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotors zum Ersatz der Dampfmaschinen und der heute bekannten Verbrennungsmotoren*, Berlin, 1892; citado por Cummins (1989), p. 313.

²⁶ En Alemania fue la patente DE 67 207, presentada el 28 de febrero de 1892; en Francia fue la patente FR 220 903 presentada el 14 de abril de ese año, mientras que en Reino Unido fue la patente GB 7 241 A. D. 1892, presentada también el 14 de abril de ese año. La primera patente española de Diesel se registró en 1894, como se verá en el epígrafe 3.5.5.

²⁷ En Francia esta aportación fue realizada el 13 de agosto de 1892, y en el Reino Unido el día 27 de ese mismo mes y año. El procedimiento seguido por la patente alemana DE 67 207 puede estudiarse en Cummins (1989), pp. 314-317.

²⁸ En el documento británico ambas aportaciones aparecen publicadas bajo la patente GB 7 241 A. D. 1892. En Francia la aportación de 13 de agosto de 1892 fue presentada como un primer certificado de

la francesa es prácticamente idéntico. No obstante, el hecho de encontrarse el texto francés manuscrito²⁹ hace más difícil su lectura minuciosa, por lo que el siguiente análisis versará sobre el documento británico GB 7 241 del año 1892.

Considerando la patente británica GB 7 241 A. D. 1892 primeramente se hará un estudio de la presentación provisional («*Provisional Specification*»), presentada el 14 de abril de 1892, para realizar después el análisis de la presentación definitiva («*Complete Specification*»), presentada el 27 de agosto de 1892.

3.5.1. La «*Provisional Specification*» de la patente GB 7 241 A. D. 1892

Esta primera parte de la patente británica GB 7 241 A. D. 1892 presentada el 14 de abril de 1892, comienza haciendo un análisis del estado de la técnica de los motores de combustión interna de la época. Diesel clasifica estos ingenios en tres grandes grupos: a) motores a gas de horno, b) motores a gas (o motores de petróleo) y c) motores de aire caliente, y a continuación pasa a realizar un balance termodinámico de dichos ingenios³⁰. Según Diesel, para los primeros tipos de motores, el calor equivalente convertido en trabajo era el 6%, y del 94% restante resultaban distintos tipos de pérdidas; para los motores a gas el 22% del calor era convertido en trabajo, y las pérdidas se reducían hasta el 78%, mientras que los motores de aire caliente habían sido prácticamente abandonados por su bajo rendimiento.

La idea que tenía Diesel para mejorar el rendimiento de estos ingenios se basaba en reducir las pérdidas de calor, tal y como se puede leer en su patente británica:

«... el cilindro debe estar protegido de cualquier pérdida de calor mediante su aislamiento. Las temperaturas empleadas en la práctica, teniendo en cuenta estas circunstancias, se encuentran entre 600 y 1.200 °C.»

Para este rango de temperaturas de trabajo, Diesel hizo una estimación del rendimiento:

«En la realización de este proceso se ha encontrado que fácilmente pueden conseguirse temperaturas entre 600 a 1.200 °C, con lo que pueden conseguirse rendimientos entre el 70 y el 80%.»

adición a la patente FR 220 903; posteriormente, el 18 de mayo de 1895, se presentó una segunda adición al documento FR 220 903.

²⁹ La patente FR 220 903 fue publicada en edición especial, junto con los mencionados certificados de adición, para conmemorar el centenario del funcionamiento del primer motor Diesel. *Brevet d'invention 220.903*, Institut National de la Propriété Industrielle, Paris, 1997. Tanto los documentos originales como los de la edición especial son manuscritos.

³⁰ En hechos como éste se aprecia la formación de Diesel como ingeniero. En las diversas patentes de Otto no aparece ningún análisis termodinámico como el de Diesel, y comparando con la patente de Beau de Rochas se observa que la información termodinámica proporcionada por ésta es muy inferior a la de Diesel.

Estos objetivos se cumplirían de una forma concreta: mediante una compresión en la que hubiese una fase inicial a temperatura constante, que se conseguiría realizando un enfriamiento por inyección de agua, combustión y posterior expansión adiabática de los gases quemados:

«En la manera anteriormente descrita para realizar el proceso, la cantidad de aire dada se comprime a tan altas presiones que la expansión posterior a la combustión (que se describirá más tarde) produce, sin ceder calor al exterior, una refrigeración tan alta de la masa gaseosa que ésta es enfriada hasta temperaturas próximas a la atmosférica, es decir, que escapa sin contener cantidad alguna de calor o sólo una pequeña cantidad.»

«Esta compresión es la más perfecta si primero se produce la inyección de agua, es decir a temperatura constante, y después se completa sin inyección de agua hasta la temperatura máxima determinada.»

«Al producirse la expansión subsiguiente a la combustión entre elevadas diferencias de presión, el elevado enfriamiento antes mencionado de los gases de expansión tiene lugar sin refrigeración artificial alguna, y éstos escapan sin contener cantidad alguna de calor o sólo una pequeña cantidad.»

Las condiciones termodinámicas obtenidas tras la compresión también se exponen en la patente británica:

«... Carrera ascendente —del pistón— con inyección de agua dentro del cilindro, compresión consiguiente, a temperatura constante, del aire absorbido; a continuación supresión de la inyección de agua y compresión hasta alrededor de 250 atmósferas, presión que corresponde a la temperatura máxima elegida, digamos 800 °C, siendo la temperatura en este caso superior a la temperatura de ignición del combustible (carbón seco pulverizado).»

El proceso de combustión no requería aporte adicional de trabajo, pues espontáneamente se producía la autoinflamación al entrar en contacto el combustible con el aire comprimido:

«Considerando que la anterior temperatura máxima es todavía admisible, la presión de compresión requerida es de 100 atmósferas y más. Con esta compresión la temperatura es tan alta que el combustible se autoinflama espontáneamente cuando entra en contacto con el aire comprimido.»

La combustión transcurriría a temperatura constante, y Diesel consideraba que el proceso realizado por su máquina era el más perfecto de todos:

«Fácilmente se comprueba que el resultado más favorable se obtiene cuando la carrera de vuelta del pistón ha tenido lugar durante el aporte gradual de combustible de tal manera que la combustión tiene lugar a una temperatura constante (máxima).»

«Resulta evidente que el proceso completo descrito, que tiene lugar a una temperatura de combustión constante, debe ser considerado como el más perfecto de todos.»

Durante la propia fase de la combustión se producía simultáneamente una primera expansión isoterma y después, una vez finalizados dichos procesos, se iniciaba una segunda expansión que según Diesel podía considerarse como adiabática, como ya se ha anticipado:

«Sólo después de este proceso de combustión, exactamente regulado, tiene lugar la expansión de todos los gases sin aporte alguno de calor, de tal manera que la temperatura final llega a estar tan cerca como sea posible de la atmosférica, o es la propia atmosférica, de manera que no se produce pérdida de calor por los gases de escape.»

La idea última que perseguía Diesel era obtener así un ingenio que siguiese prácticamente un ciclo de Carnot:

«Esta máquina sigue casi exactamente el ciclo de Carnot entre una gran diferencia de temperaturas.»

que, según Diesel, seguía un ciclo de cuatro tiempos:

«La máquina arriba descrita ... tiene sólo una carrera de trabajo cada 2 revoluciones.»

En la figura 43 se muestra el ciclo teórico de Carnot en los diagramas T-s (temperatura-entropía) y P-V (presión-volumen), ciclo que Diesel buscó inicialmente.

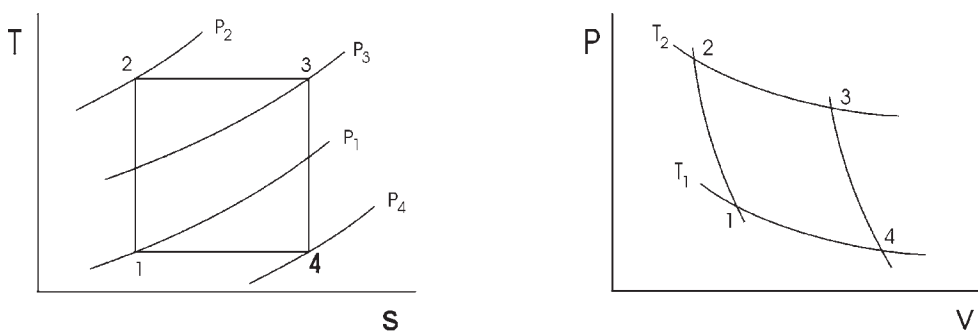


Figura 43.—Ciclo teórico de Carnot en los diagramas T-s (izquierda) y P-V (derecha)

Por algún motivo Diesel reconsideró sus planteamientos entre los meses de abril y agosto de 1892, a raíz de lo cual se presentaron las correspondientes adiciones a los documentos europeos anteriormente citados³¹. En la aportación al documento británico

³¹ Tal y como narra Cummins (1989), p. 316, parece que Diesel tuvo dudas sobre sus hipótesis iniciales, pero no se atrevió a modificarlas habida cuenta de la buena acogida que en un primer momento tuvieron sus ideas por parte del Profesor Linde.

GB 7 241 A. D. 1892 que Diesel presentó el 27 de agosto de 1892 se encuentra por primera vez referencia a los dibujos³² de la patente; esto hace pensar que dichos dibujos podrían haber sido presentados en agosto, aunque en la publicación final se fechen el 14 de abril. Además aparece por primera vez la evolución termodinámica en el diagrama P-V del ciclo seguido por el motor de Diesel (véase la figura 44). Resulta curioso comprobar que, en la mencionada aportación británica, Diesel no cita algunas consideraciones básicas que había planteado en el documento presentado en abril de 1892; por ejemplo, ya no hace en ningún momento referencia alguna al ciclo de Carnot.

Estas reflexiones, que aisladamente pueden resultar nimias, tienen importancia cuando se analiza el documento GB 7 241 A. D. 1892 en su totalidad, pues aunque se aprecia claramente una línea divisoria entre la presentación inicial y la de agosto de 1892, parece que con esta aportación Diesel pretendía «empezar desde cero» su patente, olvidándose de la información presentada a principios del año 1892. Esta hipótesis parece confirmarse al realizar el análisis de la patente alemana DE 67 207, pues en ella consta como fecha de presentación el 28 de febrero de 1892; sin embargo, la información que aparece en el documento germano se corresponde exactamente, tanto en la memoria descriptiva, las reivindicaciones y los dibujos con la documentación adicional presentada en el documento británico en agosto de 1892. Es decir, la presentación adicional presentada para la patente británica es una traducción exacta de lo que acabó siendo definitivamente la patente alemana de Diesel, DE 67 207, y en ésta no hay referencia alguna a un contenido similar al de la primera parte de la patente británica, presentada en abril de 1892, y por lo tanto, tampoco hace referencia alguna al ciclo de Carnot. Este hecho induce a pensar que, a la hora de estudiar el documento británico de Diesel, convenga «no considerar» sus seis primeras páginas (presentadas en abril de 1892), y centrar el estudio en la información proporcionada a partir de agosto de 1892.

3.5.2 La patente francesa FR 220 903

Prácticamente lo mismo que se ha dicho para la primera presentación del documento británico GB 7 241 A. D. 1892 podría aplicarse a la patente francesa FR 220 903, presentada el 14 de abril de 1892; las memorias descriptivas de ambos documentos coinciden, si bien en el documento francés aparecen cuatro reivindicaciones que no existen en el británico. Las reivindicaciones que figuran en el documento francés pueden resumirse de la siguiente manera:

«1.^a Procedimiento para producir trabajo motor por la combustión de combustible caracterizado por la sucesión de las siguientes operaciones:

a) introducción en el motor de una cantidad de aire determinada, en función del poder calorífico del combustible empleado,

³² En el texto de la patente presentada el 14 de abril (página 6, líneas 11 a 12) Diesel justifica la ausencia de dibujos así: «Como todos los mecanismos conocidos pueden emplearse en estos motores no prefiero ningún aparato especial y por esta razón no lo ilustro con dibujos».

b) *compresión de este aire a una presión tal que la temperatura del aire comprimido de esta manera sea prácticamente igual a la temperatura de combustión elegida,*

c) *introducción dentro de la cantidad de aire determinada en a) y comprimida según b), de combustible sólido, líquido o gaseoso, finamente dividido, de manera que durante la combustión, el calor generado sea inmediatamente absorbido por la expansión de la masa gaseosa, es decir, por la producción de un trabajo externo,*

d) *enfriamiento, después de la combustión, del aire comprimido y empleado en la combustión, hasta una temperatura aproximada a la ambiental, por expansión y sin aportación de calor.*

2.^a *El empleo de una mezcla de gases raros o de vapores y de aire, en lugar del aire introducido en el cilindro del motor, según reivindicación 1.^a*

3.^a *Modificación del procedimiento descrito en la reivindicación 1.^a, de manera que en los gases de escape se obtengan temperaturas diferentes a la atmosférica, así como el empleo de estos gases.*

4.^a *Realización del procedimiento descrito según la reivindicación 1.^a dentro de un motor de uno o varios cilindros, de simple o de doble efecto, a expansión y a compresión simples o múltiples.»*

Se comprueba el parecido que tiene esta primera reivindicación con la 4.^a reivindicación de las patentes de Otto citadas (alemana DE 532, francesa FR 113 251 o privilegio real español ES 5 479 PR), o incluso con la descripción del ciclo de cuatro tiempos que hace Beau de Rochas en su patente. Probablemente, visto el tiempo transcurrido entre que Otto construyó su motor de cuatro tiempos y cuando Diesel presentó su patente, y habiendo comprobado ya el éxito de los motores de cuatro tiempos, Diesel buscó en esta reivindicación caracterizar su nuevo motor de manera que pudiera compatibilizar las características de su ingenio con el ciclo de cuatro tiempos. Cuando Diesel presentó esta invención, la patente francesa de Otto solicitada el 9 de junio de 1876 FR 113 251 ya había expirado, pues en aquella época la duración de las patentes francesas era de quince años; por eso, aunque Diesel reivindicara su invención según un motor de cuatro tiempos, no estaba infringiendo la patente francesa de Otto dado que ésta ya había expirado.

No obstante cabe preguntarse por qué las diversas patentes de Diesel presentan unas divergencias tan acusadas entre sus reivindicaciones, si se trata de la misma invención que fue presentada en distintos países y en fechas muy próximas entre sí. Estos hechos pueden ser exponente de la influencia institucional y la estrategia empresarial sobre las patentes: el que cada país tenga su legislación específica sobre patentes, con sus peculiaridades sobre otros estados, puede hacer variar el contenido de una misma invención solicitada en dos naciones diferentes.

3.5.3. La «Complete Specification» de la patente GB 7 241 A. D. 1892

Como ya se ha indicado, probablemente algo hizo cambiar el pensamiento de Diesel entre los meses de abril y agosto de 1892, por lo que presentó la «*Complete Specification*». Esta nueva aportación tiene dos partes: una primera «*termodinámica*» (desde el principio de la página 7 de la patente hasta la página 9, línea 39) en la que se plantean las características del ciclo, y una segunda «*mecánica*» (desde la página 9, línea 40 hasta el final del texto) en la que se describen los elementos más destacables del nuevo motor.

La parte *mecánica* de la «*Complete Specification*» se ocupa de una descripción detallada de los sistemas más destacables del motor Diesel, como el sistema de alimentación del combustible o la distribución. Aquí es destacable el grado de detalle que se da en el documento. En otra forma de realización también se describe un dispositivo motor que consta de tres cilindros, uno para la compresión del aire y dos para la combustión de la mezcla.

Al analizar la parte *termodinámica* del documento se comprueba que en la nueva presentación ya no se hace referencia alguna a que la máquina siga un ciclo de Carnot, pero se definen las características principales del proceso:

«Sólo quisiera que se hubiese entendido que en el nuevo proceso la presión máxima y la temperatura máxima se consiguen esencialmente no por combustión, sino por compresión mecánica, y que por la combustión y durante ella no se produce ningún aumento de temperatura, o si acaso un valor insignificante, a todos los efectos insignificante si se compara con el calor de compresión.»

Es decir, que la elevación térmica era debida a la compresión mecánica, y no a la propia combustión:

«... la combustión en sí misma, contrariamente a todos los procesos de combustión hasta ahora conocidos, no produce ningún incremento de temperatura, o bien éste es despreciable; la temperatura máxima se produce por compresión del aire...»

Para conseguir estos objetivos Diesel proponía dos alternativas: a) compresión del aire atmosférico de admisión:

«En este proceso, se comprime aire puro atmosférico en un cilindro según la curva 1, 2 hasta tal punto, que la presión máxima del diagrama se consigue por esta compresión, desde su principio, y antes de que tenga lugar combustión alguna, y al mismo tiempo se genera la máxima temperatura...»

o, b) compresión del aire con inyección de agua:

«La figura 3 muestra otra modificación del proceso, consistente en que el primer periodo de compresión del aire se realiza con inyección de agua... Con estos medios se alcanzan presiones de compresión considerablemente mayores de las

que se muestran en la figura 2 y sin conseguir temperaturas demasiado elevadas que requerirían refrigeración del cilindro.»

Diesel previó unas temperaturas y presiones para el final del proceso de compresión mecánica:

«Si, por ejemplo, se desea que la combustión posterior transcurra a una temperatura de 700 °C, la presión será de 64 atmósferas; para 800 °C la presión será de 90 atmósferas y así sucesivamente.»

Además este motor podía utilizar cualquier tipo de combustible, en cualquier estado físico:

«Cualquier tipo de combustible en cualquier estado de agregación es susceptible de emplearse en este proceso.»

La figura 44 representa los diagramas P-V del ciclo para el caso en que no haya inyección de agua (izquierda) en la compresión, así como en el caso de que la compresión sea con inyección de agua (derecha, inyección entre los puntos 1 y 2).

En dichos diagramas se aprecia la evolución de los puntos 1, 2, 3, 4, resultando llamativo que el punto de final de expansión 4 esté a la misma presión que el punto de inicio de compresión 1.

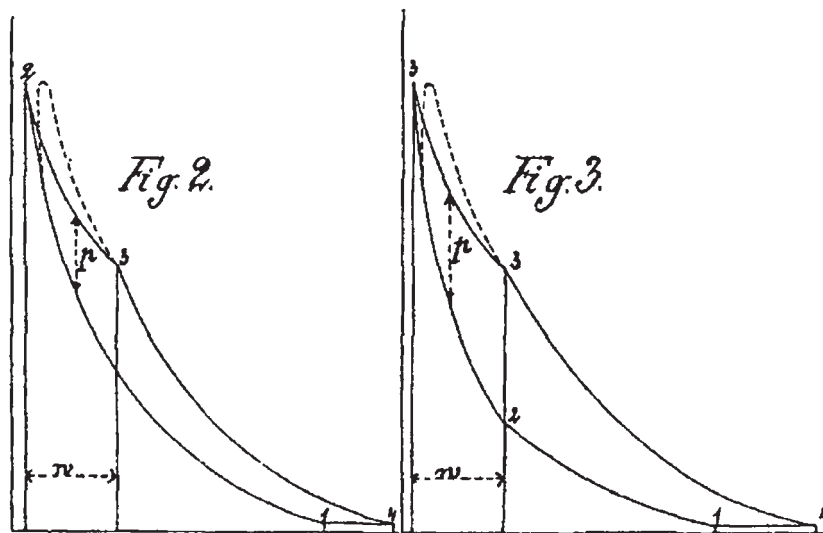


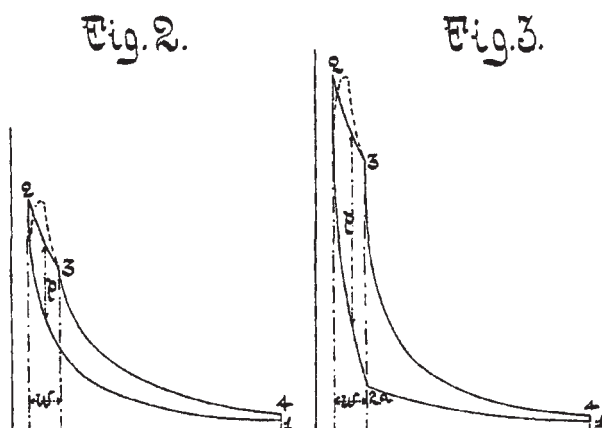
Figura 44.—Evolución P-V del motor Diesel sin inyección de agua (izquierda) y con ella (derecha)

Fuente: Patente británica GB 7 241 A. D. 1892 (TPOUK, Newport)

3.5.4. La patente estadounidense US 542 846

Si se considera el documento americano de la invención de Diesel, patente US 542 846 presentada el 26 de agosto de 1892, se comprueba que este documento corresponde casi exactamente con la «*Complete Specification*» británica: prácticamente los mismos dibujos y casi la misma descripción, con ciertas excepciones. Una de éstas aparece en los diagramas P-V, donde el punto 4 (véase la figura 45) ya no se encuentra a presión atmosférica, como en la patente GB 7 241 A. D. 1892, sino que está a una presión algo superior, como por otra parte resulta lógico pensar hoy en día; por desgracia, en la memoria descriptiva no se da ninguna explicación a este hecho, ni valores para esta presión.

En la parte derecha de la figura 45 se aprecia el incremento de presión (P) que Diesel suponía debido a la compresión con inyección de agua entre 1 y 2a, respecto la presión (P) generada en el caso sin inyección de agua (izquierda).



WITNESSES:
Chas. W. Hornum
Eugenie A. Perside

INVENTOR:
Rudolf Diesel,
 BY
Alfred Dubau
 ATTORNEY

Figura 45.—Evolución P-V del motor Diesel en su patente estadounidense US 542 846 (USPTO, Washington)

Observando la evolución del ciclo propuesto por Diesel en su patente estadounidense (figura 45), y comparándola con la evolución seguida en la patente británica (figura 44), cabe plantearse si en el caso del documento americano la evolución seguida es la realmente representada en el gráfico, o si la idea de Diesel era evolucion-

nar como en el *ciclo Atkinson*, según el cual la expansión no se acabaría en el punto 4 del documento US 542 846, sino que llegaría hasta la presión atmosférica para conseguir una expansión completa, de una forma similar a la que se aprecia a la vista de la gráfica del documento británico (figura 44), en la que los puntos 1 y 4 están a presión atmosférica. Una explicación más detallada sobre el ciclo Atkinson y sus características puede encontrarse en la obra de Heywood, (1988), pp. 183-186, donde se compara el efecto de la sobreexpansión respecto un ciclo convencional de cuatro tiempos, así como el aumento que experimenta el rendimiento.

3.5.5. *Las patentes españolas de Diesel*

En los apartados anteriores se han expuesto las primeras patentes que Diesel presentó durante 1892 en varios países; sin embargo no se tiene constancia que Diesel presentase patente alguna en España hasta 1894. En la Oficina Española de Patentes y Marcas se encuentran tres patentes solicitadas por Diesel: se trata de los documentos ES 16 654, ES 17 085 y ES 19 821, presentadas en los años 1894, 1895 y 1896 respectivamente. A continuación se hace un breve análisis los mismos, con el objeto de difundir el contenido técnico de las invenciones que este ilustre ingeniero quiso proteger en España.

La patente ES 16 654 *Perfeccionamientos en los motores de combustión interior* fue solicitada el 3 de diciembre de 1894. En este documento no se plantean las hipótesis sobre la evolución del ciclo que se han visto tanto en la patente británica como en la americana; lamentablemente tampoco se da ninguna información sobre el rango de temperaturas o presiones de trabajo entre las que evoluciona el motor. La figura 46 muestra la hoja de dibujos de este documento y a la que se refiere Diesel a lo largo de su patente. Ésta comienza con una revisión de la evolución experimentada por la forma de regular sus motores de combustión, bien mediante la variación de la presión o bien por el tiempo de inyección del combustible. Como se aprecia en el dibujo 4 de la figura 46, el combustible se introducía mediante una ley variable oab , oab^1 , oab^2 , oab^3 , oab^4 . En el dibujo 5 de dicha figura 46 se aprecian las presiones obtenidas por la combustión p^1 , p^2 , ... , p^7 en función de la proporción de la mezcla detonante. Según Diesel, la primera de esas evoluciones se realizaba a presión constante, mientras que la segunda era a volumen constante.

La nueva regulación que propone Diesel en la patente ES 16 654 se efectúa por variación de la curva de combustión tal y como se aprecia en el dibujo 6 de la figura 46. En dicho dibujo la curva 2-3 representa el periodo de combustión, durante el cual se realiza la admisión del combustible bajo una presión superior a la compresión máxima en el punto 2. Fijada una curva de combustión como la 2-3, se aprecia que disminuciones en la presión la desplazan hacia la curva 2-3' (izquierda), mientras que aumentos de la presión la mueven hacia las curvas 2-3'', 2-3''' (derecha),

modificando consecuentemente la subsiguiente expansión 3-4 y, por tanto, el área del diagrama o trabajo realizado. Llama la atención comprobar en dicho dibujo 6 de la figura 46, que la evolución 4-1 vuelve a ser un proceso isóbaro, como reflejó Diesel en su primera patente británica GB 7 241 A. D. 1892, y no un proceso isócoro tal y como indicó en su patente americana US 542 846, posterior a la británica.

Esta nueva regulación exige que tiempo y presión de admisión sean variables; así puede leerse en el texto de la patente:

«La fig. 6 demuestra que este procedimiento de regulado exige la existencia de las dos condiciones siguientes: 1.^a la longitud o duración de la admisión del combustible debe ser variable, a fin de influir en la longitud de la curva 2-3, 2-3',... , etc., y 2.^a el exceso de presión del combustible introducido debe variar igualmente a fin de influir en la forma misma de la curva.»

Para llevar a cabo esta regulación, en los dibujos 1 y 7 de la figura 46 puede observarse la válvula de aire \underline{V} y la válvula para la introducción de combustible \underline{D} ; la aguja \underline{n} de la válvula \underline{D} determina la duración del periodo de admisión del combustible 2-3, 2-3', 2-3'', 2-3'''. El combustible de este motor es polvo de carbón que se almacena en la tolva \underline{T} mediante el distribuidor de carbón en polvo \underline{r} ; otra opción es que en la tolva se almacene combustible líquido. La válvula \underline{D} y el distribuidor \underline{r} están unidos al depósito \underline{L} mediante el tubo \underline{S} ; el depósito \underline{L} se alimenta mediante el tubo \underline{m} y almacena gas combustible, o aire carburado o bien aire sólo, de manera que la presión en \underline{L} sea siempre superior a la compresión máxima en el cilindro. Durante la apertura de la aguja \underline{n} el excedente de presión hace penetrar en el interior del cilindro los gases del depósito \underline{L} , que arrastran íntimamente mezclado el polvo de carbón distribuido en \underline{r} , con lo cual se realiza una combustión muy rápida y más perfecta que por la introducción directa del polvo en el cilindro. Una válvula de seguridad \underline{R} con un contrapeso \underline{B} , accionable por la varilla de tracción del regulador \underline{Q} , asegura que la presión en el depósito corresponda siempre a la carga momentánea de la válvula.

Otro modo de funcionamiento se aprecia en el dibujo 2 de la figura 46, donde el depósito \underline{L} contiene en este caso aire puro y el cilindro tiene una válvula \underline{D} para la insuflación del combustible pulverulento, y otra válvula \underline{d} para el combustible líquido o gaseoso destinado a activar la combustión. Los dibujos 7 a 10 de la figura 46 muestran otro dispositivo destinado a suprimir el empleo de una bomba de aire especial; en este caso, el pistón motor produce el aire comprimido almacenado en el depósito \underline{L} . Para ello, la válvula \underline{Y} deja escapar una pequeña cantidad de aire comprimido a cada compresión del pistón durante la marcha normal del motor. Este aire es almacenado por el tubo \underline{b} (dibujo 8), de manera que la presión en el depósito \underline{L} sea igual a la presión máxima en el cilindro. Como es necesario un exceso de presión para la admisión del combustible, la distribución abre la aguja de la válvula \underline{D} con un pequeño retraso una vez que la presión en el cilindro ha disminuido debido al retroceso del pistón. Para caso de sobrepresiones accidentales hay dispuesta una válvula \underline{U} que reduce la presión en caso de explosiones accidentales en el cilindro.

Otros elementos del motor son el árbol de la distribución W (dibujo 9 de la figura 46), con una serie de levas, I a V; así, por ejemplo, la leva II regula la marcha de la válvula Y, III la aguja de la válvula D y V la válvula de aire. También se observa que la cámara de combustión K se encuentra tallada en el pistón. Aunque ésta sea la primera patente que Diesel presentó en España, el inventor da por supuesto el conocimiento de su motor, habida cuenta de las explicaciones iniciales que se dan sobre el funcionamiento del mismo. A pesar de ello, todo parece indicar que el éxito comercial de esta patente debió ser nulo, puesto que el primer motor de Diesel no funcionó hasta 1897. La patente caducó el 7 de mayo de 1897 tras abonar tres anualidades y sin tener acreditada la puesta en práctica.

La segunda patente que Diesel solicitó en España, la ES 17 085, es una adición a la anterior patente ES 16 654; fue solicitada el 4 de marzo de 1895 y tiene por título *Perfeccionamientos en los motores de combustión interior*. Caducó al hacerlo su parte principal, es decir, el 7 de mayo de 1897. La patente destaca la importancia de mezclar íntimamente el chorro de combustible con el aire de la cámara de compresión para asegurar una combustión perfecta, para lo que se emplea un mezclador que tiene por efecto dividir el chorro de la cámara e introducirlo por muchos sitios a la vez. El mezclador puede tener diversas configuraciones geométricas, desde un simple tubo provisto con agujeros, una esfera M_1 , un disco M_2 o una alcachofa con efecto dispersante M_3 , hasta un dispositivo M_4 en forma de tobera, según se aprecia en los diversos dibujos que se muestran en la figura 47, que representa algunos detalles de la patente ES 17 085. Este mezclador se introduce en la cámara de combustión, también tallada en el pistón como en el caso de la anterior patente.

En esta invención también se había dispuesto una válvula Y que hacía las mismas funciones que tenían las válvulas Y y U en su parte principal, es decir, en la patente ES 16 654. Así pues, esta válvula Y tenía tres usos: poner en marcha el motor con el aire comprimido del depósito L, volver a cargar de aire el mencionado depósito L durante la marcha normal, y funcionar como válvula de seguridad que permitía la descarga a la atmósfera en caso de explosiones accidentales, empleando también la válvula R.

Como en el caso de la ES 16 654, parece que esta patente tampoco debió tener éxito comercial, pues la caducidad de ambas se produjo en la misma fecha y que no hay acreditación de su puesta en práctica.

La última invención que Diesel presentó en España fue la ES 19 821, solicitada el 21 de octubre de 1896 y titulada *Un procedimiento de trabajo para motores de explosión y combustión*. Esta patente propone que la admisión de aire no se haga directamente de la atmósfera, sino que se reciba de un recipiente intermedio en el que el aire ha sido comprimido previamente, según puede apreciarse en los dibujos de la patente que se representan en la figura 48.

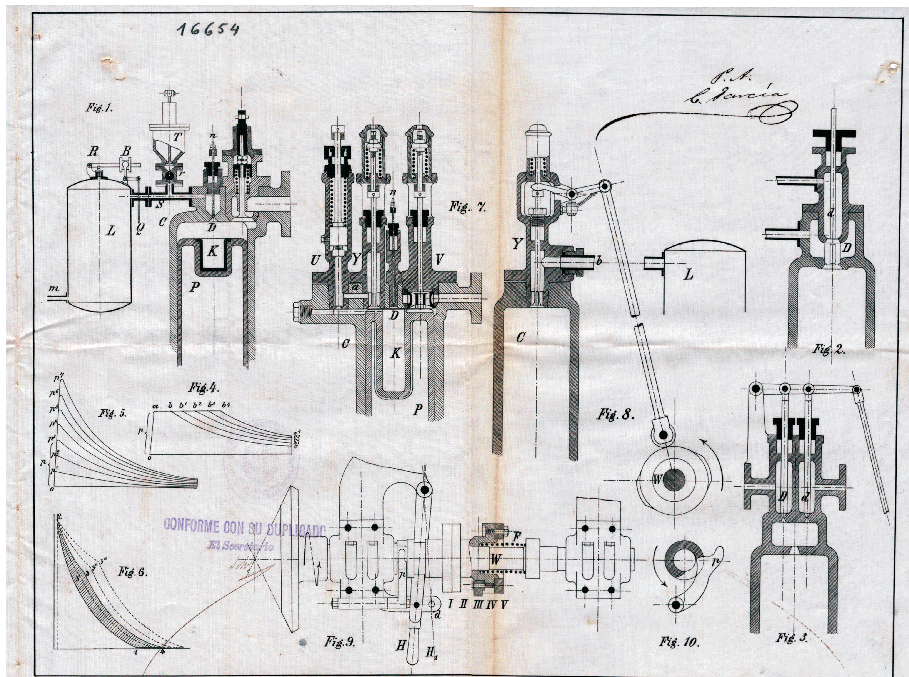


Figura 46.—Dibujos de la patente española de Diesel ES 16 654 presentada en 1894 (OEPM, Madrid)

17085

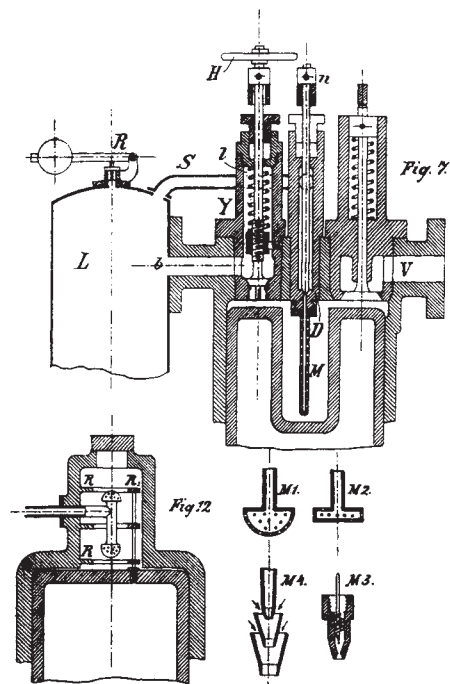


Figura 47.—Algunos de los dibujos de la patente de Diesel ES 17 085 del año 1895 (OEPM, Madrid)

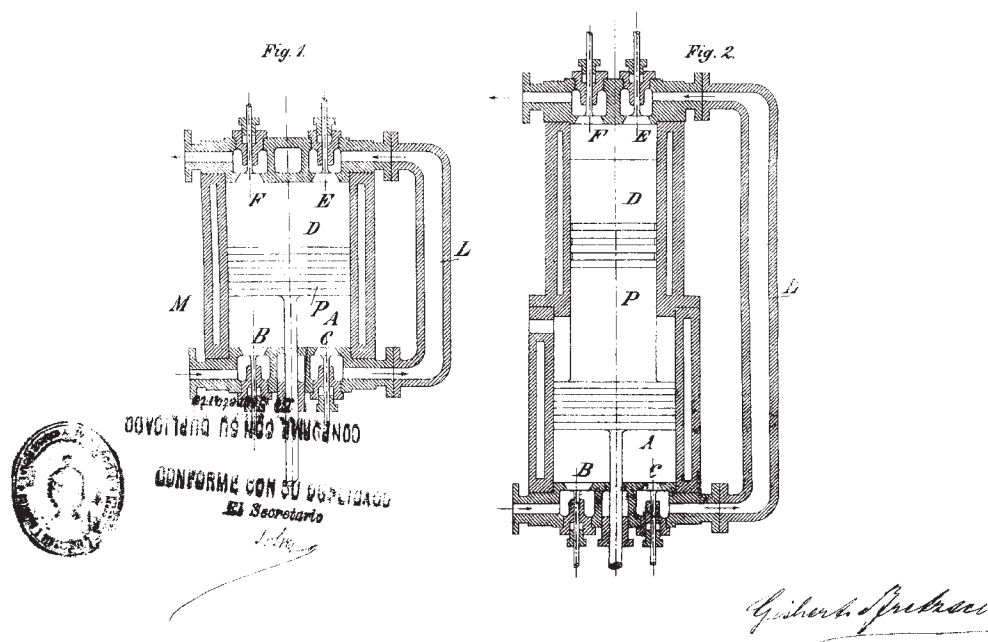


Figura 48.—Dibujos de la patente de Diesel ES 19 821 presentada el 21 de octubre de 1896 (OEPM, Madrid)

En el dibujo de la izquierda de la figura 48 se observa un modo de realización de esta invención; en él se aprecia el cilindro D de un motor de cuatro tiempos provisto de un pistón de disco P en vez de un pistón ordinario, estando la parte inferior del cilindro cerrada y provista de válvulas B y C. Durante la carrera ascendente del pistón P, la válvula B absorbe aire o la mezcla combustible bien directamente de la atmósfera o bien de algún recipiente sometido a presión distinta de la atmosférica. Al descender el pistón el fluido sale a través de la válvula C a otro recipiente L que puede tener forma cualquiera, o incluso ser parte del bastidor de la máquina. El funcionamiento posterior es igual al de cualquier motor de cuatro tiempos, donde el aire o la mezcla combustible se absorbe del conducto L a través de la válvula E, produciéndose después la combustión, expansión y finalmente el escape por la válvula F.

Conviene hacer una observación sobre la posibilidad que plantea Diesel de poder absorber mediante la válvula B aire o mezcla combustible para ser comprimida previamente. En el caso de que se precomprima una mezcla combustible, cabría plantear la problemática señalada para el caso del motor de encendido por compresión de Daimler, es decir, la dificultad de inflamar la mezcla por compresión al realizar esa compresión previa. Sin embargo Diesel no hace mención alguna de esta situación en la documentación conservada en esta patente. Ésta es la única mención en los documentos españoles de Diesel donde se considere la posibilidad de precomprimir la mezcla, de

forma similar al motor de Daimler descrito en la patente ES 4 410; así pues, dicha patente de Daimler ya anticipa la posibilidad de precomprimir la mezcla antes de la autoinflamación por compresión. Otra configuración se ilustra en el dibujo derecho de la figura 48, si bien su funcionamiento no difiere en esencia del ya explicado. Esta patente caducó el 19 de enero de 1898 tras satisfacer una anualidad y sin tener certificada su puesta en práctica.

Puede concluirse fácilmente una característica común en las patentes españolas de Diesel: su reducida vida (nunca superior a tres años) y la falta de acreditación de su puesta en práctica. Considerando, como ya se ha apuntado, que el primer motor de Diesel funcionó en 1897, cabe suponer que estas invenciones nunca llegaron a ponerse en práctica, pues probablemente nunca funcionaron y tampoco tuvieron éxito comercial. Posiblemente lo que Diesel perseguía con estas patentes era la protección en España de las distintas innovaciones que se iban dando en la fase de desarrollo de su motor; sin embargo, de ser cierta esta hipótesis, no se entendería por qué Diesel no presentó nuevas patentes en España una vez que su motor fue realidad. Cuando falleció en 1913, durante una travesía marítima entre la Europa continental y el Reino Unido, ya se había producido la aplicación de su motor en la propulsión naval, en la automoción y como fuente estacionaria productora de energía. Hoy cabe rendir admiración y respeto al hombre que desarrolló uno de los ingenios más utilizados durante prácticamente todo el siglo xx y principios del xxi.

3.6. El desarrollo de los motores de combustión interna hasta 1914, estudiados a través del sistema español de patentes

3.6.1. Consideraciones previas: invenciones radicales e incrementales

Durante este capítulo se han visto algunas de las invenciones capitales para el desarrollo de los motores de combustión interna alternativos (MCIA) tal y como se entienden a principios del siglo xxi; sin duda alguna la labor que desempeñaron Beau de Rochas, Otto, Diesel (y probablemente también Langen, Daimler y Maybach) en el desarrollo de estas máquinas fue capital para entender la evolución que tendrían los MCIA posteriormente. No obstante, aunque el trabajo de estas personas fue ingente, ha de reconocerse la gran evolución que han sufrido los MCIA, tanto los MEP como los MEC, desde su concepción a finales del siglo xix hasta alcanzar su configuración actual.

Si se considera la evolución experimentada por los MEC desde la década de 1980 hasta principios del nuevo milenio, es fácil comprobar que las prestaciones de los vehículos propulsados con mecánicas *Diesel* mejoraron en menos de veinte años en unas formas insospechadas en 1980. Estas mejoras llegaron hasta tal punto que las ventas de automóviles propulsados por MEC empezaron a ser mayor que las de vehículos motorizados con MEP cuando las prestaciones de aquéllos fueron al menos tan ventajosas como las de éstos. Ello se hizo posible gracias al trabajo y esfuer-

zo de numerosas personas que sin duda no gozan del reconocimiento que, por ejemplo, tienen Otto o Diesel, pero sin cuya aportación técnica no se habrían alcanzado los desarrollos de hoy en día. Puede verse así que al lado de las grandes invenciones hay otras muchas invenciones menores, que las van perfeccionando lentamente, pudiendo ocurrir que en algunos casos estas pequeñas *mutaciones* en las grandes invenciones generen otros grandes desarrollos, como se intentará ilustrar en las próximas líneas.

Esta hipótesis sobre la existencia de una invención *madre* que desarrolla una nueva tecnología, y de otras invenciones *hijas* que la perfeccionan, ya ha sido propuesta por Mokyr en su texto (1990), p. 29, donde sugiere que existen unas invenciones *radicales* o *macroinvenciones*, que son aquellas de las que emerge una idea completamente nueva, sin precedentes, y otras invenciones menores, *incrementales*, que Mokyr denomina *microinvenciones* y que constituyen pequeños pasos progresivos que mejoran, adaptan y modernizan técnicas existentes que ya están en uso. En el capítulo 2 de esta obra se han visto algunas invenciones *radicales*, como los desarrollos de Newcomen, frente a múltiples invenciones *incrementales* como las descritas en el epígrafe 2.2; muchas de éstas no fueron especialmente importantes en el desarrollo tecnológico posterior, pero otras pocas sí; incluso se encuentran invenciones anticipadoras de nuevas tecnologías futuras, como la patente ES 41 854 que propone una máquina de vapor con una configuración geométrica similar al posterior motor Wankel de combustión interna.

A lo largo de las siguientes páginas se describen algunas invenciones *incrementales* que son una muestra de las numerosas patentes que se solicitaron y ayudaron al desarrollo tecnológico de las máquinas y motores térmicos. Por supuesto que la importancia de las invenciones *radicales* es capital, pues ellas suponen un nuevo punto de partida, pero sin embargo puede ser posible que, en ocasiones, también se necesiten de estas invenciones *incrementales* para llegar a nuevas invenciones *radicales*. Un ejemplo que podría sostener esta teoría se encuentra en el desarrollo de los primeros motores de aire caliente vistos en el capítulo 2. De una manera un tanto simplista puede considerarse la siguiente evolución tecnológica: uno de los primeros ingenios de aire caliente fue el de Stirling, que era un ciclo cerrado; de éste se pasó al motor de aire caliente de Ericsson, que era de ciclo abierto. Después Lenoir decidió introducir una mezcla explosiva que se quemase en el interior del cilindro para que posteriormente el aire caliente se dilatase y así mover el pistón; finalmente, Otto, parece que inspirado en el motor de Lenoir tal y como se dijo en el punto 3.2, fue haciendo varios desarrollos hasta llegar al motor de cuatro tiempos con compresión previa. Se ve así que de una primera invención *radical* como la de Stirling puede llegarse mediante la suma de otras invenciones *incrementales* (si así pueden considerarse a los motores de Ericsson y Lenoir) a otra invención *radical* como la de Otto. Por ello el autor de este libro sostiene que para tener un adecuado avance técnico, el desarrollo tecnológico necesita tanto de invenciones *radicales*, que abran nuevas vías tecnológicas que quizás no sean consideradas productivas económica y socialmente en su fase de generación, como de invenciones *incrementales*, que las perfeccionen y las conviertan en tecnologías útiles e

incluso imprescindibles para el desarrollo tecnológico y económico posterior. Es decir, y siguiendo el símil evolutivo, las invenciones *hija*, a lo largo de diversas *generaciones*, pueden engendrar otras invenciones *madre*.

En las próximas páginas se describen invenciones que probablemente no puedan reconocerse por alguna importancia en especial a los ojos actuales, pero que posiblemente supusieron cambios relativos cuando fueron presentadas; quizás ni siquiera podrá asegurarse si el inventor que registró su patente en España fue realmente el primero en desarrollar dicha tecnología. Estas patentes deben considerarse como referencias temporales para determinar aproximadamente cuándo un avance tecnológico estuvo disponible en el estado de la técnica de la época; pretender establecer exactamente la fecha en que una invención *incremental* fue desarrollada es una tarea compleja. Esto es así porque resulta más difícil determinar cuándo se produjo la novedad en las invenciones *hija*, habida cuenta que estas tecnologías menores suelen superarse rápidamente y pueden caer en un olvido técnico una vez que han sido mejoradas; por otro lado, la falta de catálogos automatizados e informatizados en los archivos históricos de las oficinas nacionales de patentes convierte la tarea de recuperación de las invenciones históricas en arduas investigaciones dado el ingente número de documentos a analizar. También hay que considerar que el análisis que se hace es sólo a nivel nacional; es posible que invenciones *incrementales* solicitadas en España fuesen solicitadas previamente en otros países, incluso por otros inventores. Hacer un análisis comparativo de invenciones *incrementales* a nivel internacional y en el ámbito técnico de este estudio es una tarea que, por su ingente labor, queda fuera del ámbito de este trabajo.

El estudio siguiente se presenta agrupando las distintas invenciones, que se detallan por diversos campos tecnológicos asociados con las máquinas y motores térmicos.

3.6.2. Motores de combustión interna de dos tiempos

Otro ciclo importante relacionado con los motores de combustión interna y del que todavía no se ha hecho mención es el de dos tiempos; este ciclo fue desarrollado por el escocés Dugald Clerk, y quedó recogido en la patente británica del año 1878 GB 3 045 A. D. 1878, así como en la patente de los Estados Unidos US 230 470. Aunque esta invención no fue registrada en España, se considera necesario hacer una escueta mención de la misma por el interés y relevancia que estos ingenios supusieron en el desarrollo posterior de los motores térmicos. De la mencionada patente británica inicialmente fue presentada una «*Provisional Specification*» el 1 de agosto de 1878, describiéndose en este documento la invención de una forma genérica; posteriormente, el 31 de enero de 1879, fue aportada la «*Complete Specification*», que describe la invención con mayor grado de detalle a la vez que quedó ilustrada con dibujos, algunos de los cuales se representan en la figura 49. Clerk sólo pagó las dos primeras anualidades de su patente británica, y su caducidad se produjo en agosto de 1881.

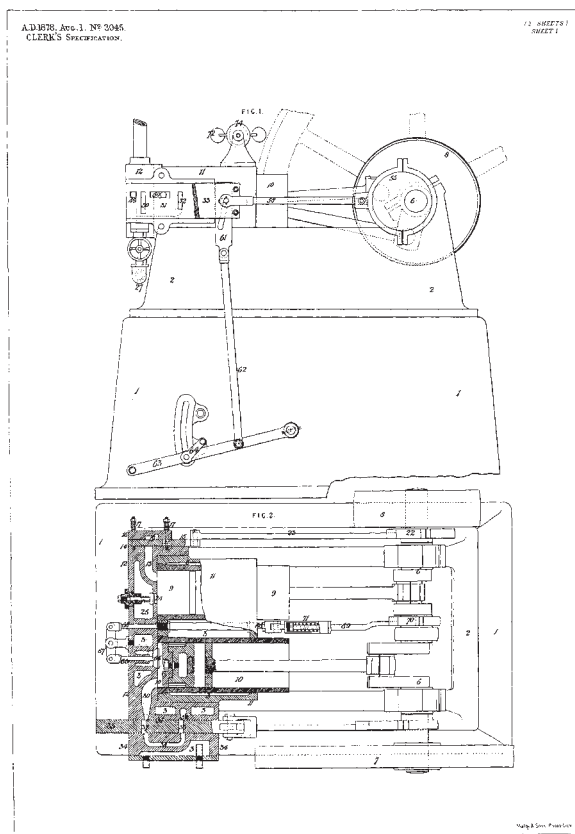


Figura 49.—Algunos dibujos de la patente británica de Clerk GB 3 045 A. D. 1878 (TPOUK, Newport)

Esta máquina de Clerk disponía de dos cilindros de simple efecto, tal y como puede verse en la figura 49. Uno de los cilindros, 9, hacía las funciones de bomba para suministrar el fluido al otro cilindro, 10, donde se hacía la combustión. La mezcla entraba al conducto de admisión 13 del cilindro 9 mediante el puerto 21 de la válvula corredera 15, que era desplazada por el empujador 23, y éste a su vez estaba accionado por la excéntrica 22 acoplada al cigüeñal 6. Cuando el pistón del cilindro 9 realizaba su carrera ascendente, la válvula 15 se encontraba cerrada y la mezcla de combustible y aire era comprimida; después entraba en una cámara de reserva 25 tras vencer la resistencia ejercida por la válvula de muelle 24. La mezcla precomprimida pasaba de esta cámara 25 al conducto 38 a través de varios pasajes realizados en el bloque motor, y desde dicho conducto 38 iba a la cámara 30 mediante la válvula de corredera 33, también accionada por el cigüeñal.

La admisión de la mezcla gaseosa al cilindro 10 se realizaba mientras la válvula corredera 33 se desplazaba hacia el cigüeñal; en ese movimiento una placa de platino incandescente, ubicada en un rebaje hecho en la válvula 33, pasaba entre la cámara 30 y

el conducto 38. A su vez, el pistón del cilindro 10 realizaba su movimiento hacia el cigüeñal; como una parte de la mezcla se encontraba en el conducto 38, y dicho conducto se ponía en contacto con la placa de platino incandescente, consecuentemente se producía la inflamación de la mezcla existente en el conducto 38.

Al inflamarse el fluido contenido en el conducto 38, se producía una fuerte propagación de la combustión hacia el interior del cilindro 10, produciéndose la carrera útil del pistón. Después, y por acción del volante 7, el pistón realizaba la carrera de escape fluyendo los gases quemados, a través de la correspondiente válvula 65, al escape mediante un conducto 50, no representado en la figura 49.

La válvula de admisión 33 del cilindro 10 estaba regulada por la excéntrica 55, acoplada al cigüeñal. La regulación de esta válvula se podía variar manualmente gracias a la palanca 63, que mediante los respectivos vástagos 62, 61, 58 ajustaba la posición de la excéntrica 55 a la válvula 33.

Como ya se ha comentado, Dugald Clerk no solicitó esta invención en España; sin embargo, Clerk presentó el 21 de noviembre de 1881 la patente ES 2 027 de título *Motores mejorados movidos por gas o por vapor combustible*. Esta invención propone un dispositivo de dos cilindros: en uno de ellos (cilindro de fuerza) se inflamaba la mezcla de gas y aire, y con el otro (cilindro de desalojamiento) se realizaba la admisión de gases y se facilitaba su escape una vez quemados. En su texto, Cummins (1989), pp. 203-207, habla de una segunda generación de motores tipo Clerk que estaba en funcionamiento a finales de 1880; la descripción de estos motores y sus dibujos coinciden plenamente con la documentación aportada en la patente ES 2 027.

La figura 50 muestra algunos dibujos de la patente ES 2 027 de Clerk; en la parte superior se ve una sección del motor en planta donde se aprecia el cilindro de desalojamiento 24 que está paralelamente al cilindro de fuerza 11; la parte inferior de la figura representa una sección longitudinal y una vista lateral del motor. La principal diferencia de este motor de Clerk con respecto al de 1878 es que el cilindro de bombeo ya no hacía la compresión de la mezcla, sino que era el cilindro de fuerza el que la hacía. Cuando el pistón 15 se encontraba en el PMI, se producía el escape de los productos de combustión a través de los elementos 31, 32, 33; en la siguiente carrera ascendente el pistón comprimía la nueva carga y al llegar al PMS la mezcla se inflamaba gracias a un llama que se ponía en contacto con parte de la mezcla y propagaba la combustión a la mezcla comprimida. La renovación de la carga se hacía mediante el cilindro de desalojamiento: en una de sus carreras se producía la succión de aire a través de las válvulas 37 y 38 y en la de regreso se enviaba el aire al cilindro de combustión. Parte de este aire limpio aspirado por el cilindro de desalojamiento servía para limpiar de gases quemados el cilindro de combustión y el resto, tras ser aspirado e impelido por el primer cilindro, se mezclaba con el combustible antes de pasar al cilindro de fuerza y proceder a su combustión según lo explicado.

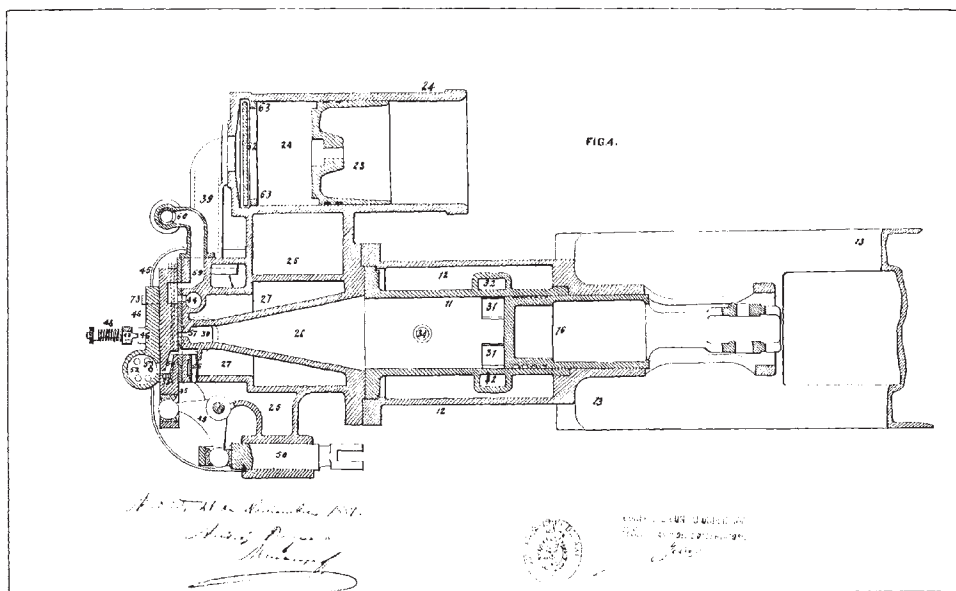
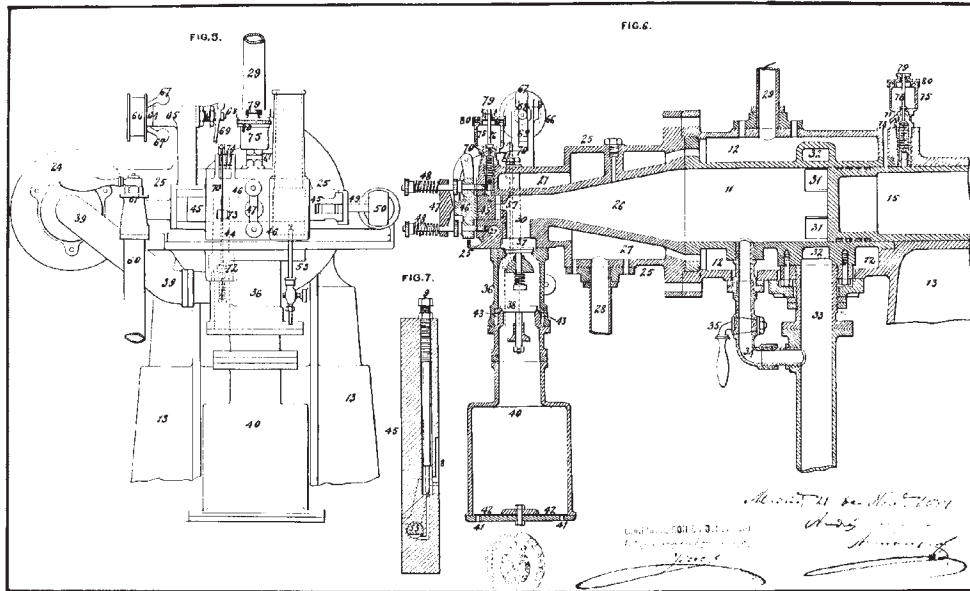


Figura 50.—Algunos dibujos de la patente española de Dugald Clerk ES 2 027 solicitada en 1881 (OEPM, Madrid)

La patente española de Clerk caducó el 15 de abril de 1884 tras satisfacer dos anualidades y sin acreditar la puesta en práctica en España; sin embargo, su ciclo fue objeto de numerosas mejoras, y algunas de estas propuestas fueron registradas en España. Una de ellas es la patente ES 20 321, solicitada el 29 de enero de 1897 por Robert Conrad, residente en Berlín. La propuesta de Conrad se asemeja a la invención descrita por Clerk en su patente británica de 1878, con la diferencia de que el cilindro de admisión y bombeo de la mezcla y el cilindro de combustión estaban dispuestos formando un ángulo de 90°, en vez de estar en línea. Algunos dibujos de la patente de Conrad pueden verse en la figura 51, donde se aprecia la disposición ortogonal de dichos cilindros.

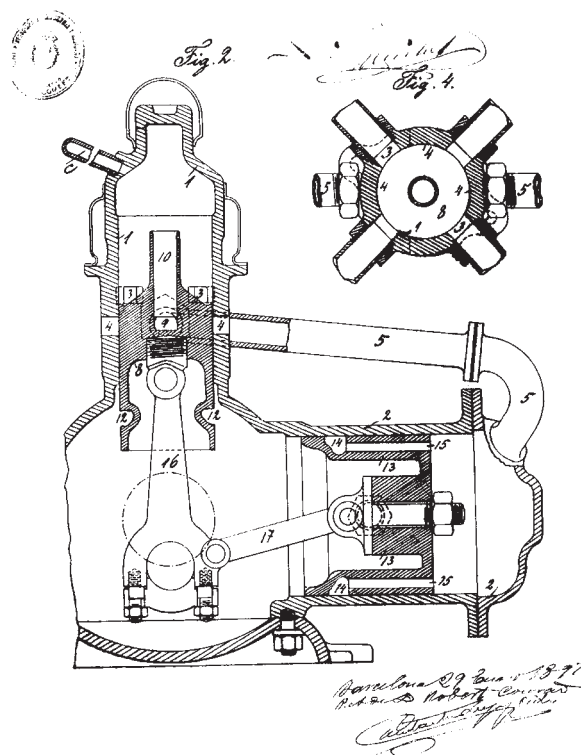


Figura 51.—Uno de los dibujos de la patente ES 20 321, solicitada en el año 1897 (OEPM, Madrid)

El funcionamiento de este motor era el siguiente: cuando del émbolo 8 del cilindro motor 1 se encontraba próximo al PMS, había una mezcla combustible que se inflamaba en el tubo de ignición c. El impulso comunicado por la expansión de los gases al émbolo 8 lo movía hacia el PMI. A la vez que el émbolo del cilindro motor 1 realizaba su carrera de expansión, el émbolo 13 de la bomba se desplazaba lateralmente de izquierda a derecha, desde su PMI a su PMS. En estas condiciones el émbolo 13 de la bomba ponía en comunicación el canal circular 14 a través de unos tubos, no muestra-

dos en la figura, por los que se inyectaba aire saturado del combustible vaporizado y por distintos conductos llegaba hasta el 9; aquí esta mezcla se unía con el aire que salía del tubo 5 y así pasaban al conducto central 10 del pistón. La nueva mezcla sin quemar iba penetrando de esta forma en la parte superior del cilindro motor 1, y empujaba a los gases de la combustión que abandonaban el cilindro a través de los orificios 3. El proceso continuaba hasta que el émbolo 8 llega al PMI.

Entonces el émbolo 8 del cilindro motor 1 realizaba su carrera ascendente hacia el PMS, y así obturaba completamente los orificios de escape 3, por lo que la mezcla que había sufrido la compresión era impelida al tubo de ignición *c* donde se inflamaba. En otros momentos de la carrera del cilindro 8, los orificios 4 se ponían en comunicación mediante la cavidad anular 12 del cilindro 8, de modo que el émbolo 13 de la bomba en su movimiento de derecha a izquierda aspiraba aire por el tubo 5 que comunicaba con la atmósfera. Así, el émbolo 13 del cilindro de bombeo 2 realizaba su carrera descendente, mientras que el émbolo 8 del cilindro motor 1 hacía su carrera ascendente y se repetía el ciclo.

En esta figura también puede apreciarse la especial geometría del pistón 8 del cilindro motor 1 con su conducto central 10. La patente caducó el 13 de agosto de 1898 tras haber satisfecho una anualidad y sin estar acreditada la puesta en práctica; estos datos inducen a pensar que esta invención no tuvo un vida comercial real y que cayó en desuso muy pronto. Sin embargo, resulta llamativa la disposición perpendicular de los cilindros de combustión y de bombeo. Un dispositivo prácticamente igual a éste también se describe en la patente ES 47 646, presentada el 28 de marzo de 1910.

Otro documento que ilustra mejoras en los motores de dos tiempos es la patente ES 34 205, solicitada el 21 de junio de 1904 por Leon Cordonnier, residente en Lille, Francia y titulada *Un nuevo motor de dos tiempos sin válvulas*. El motor de Cordonnier presenta una configuración muy similar a la de los modernos motores de dos tiempos, tal y como puede apreciarse en la figura 52.

El funcionamiento de este motor es el siguiente. En el momento de la explosión los gases comprimidos en el cilindro empujan al pistón a realizar su carrera descendente, y éste, al llegar casi al final de su carrera, descubre la lumbrera de escape 3 por donde se evacuan en parte los gases quemados. Muy poco después, el émbolo descubre la lumbrera de transferencia 4 por donde los nuevos gases, comprimidos en el cuerpo del cilindro durante la carrera descendente del pistón, penetran en el cilindro. Estos gases, al encontrar en su camino el deflector 7, se dirigen hacia la parte superior del cilindro, realizando el proceso de barrido y expulsando por la lumbrera de escape 3 el resto de los gases quemados.

El pistón realiza entonces la carrera ascendente, cierra las lumbreras de transferencia 4 y escape 3, y comprime en el cilindro los gases frescos que acaban de introducirse. Al mismo tiempo el pistón aspira hacia el cuerpo del cilindro gases frescos procedentes del carburador mediante los conductos 11, 12 y 13, no mostrados en la figura. El pistón se desliza hasta alcanzar el PMS en cuyas proximidades se produce la ex-

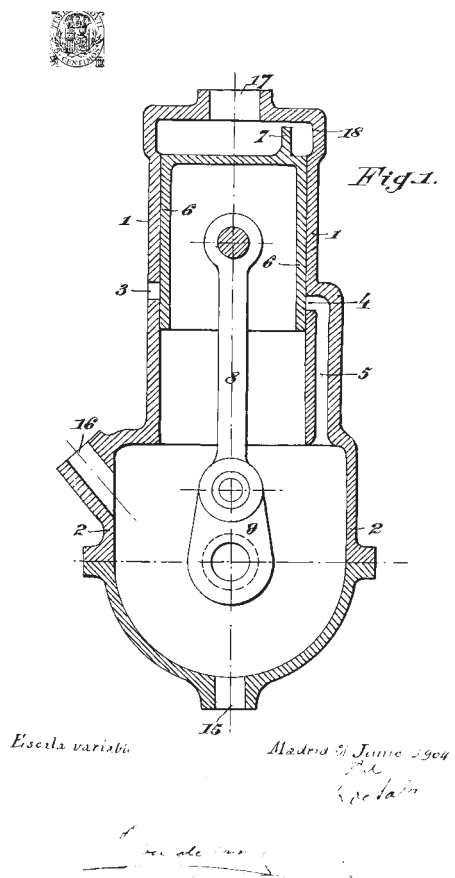


Figura 52.—Dibujos de la patente ES 34 205 sobre un motor de dos tiempos del año 1904 (OEPM, Madrid)

plósion de la mezcla gracias a la bujía, ubicada en la referencia 17, volviéndose a repetir el ciclo.

Esta patente, que era de introducción³³, caducó a los cinco años tras su fenecimiento, por lo que cabe pensar que debió gozar de éxito comercial. La puesta en práctica está certificada el 2 de agosto de 1906.

En este epígrafe se han visto diversas invenciones cuyo esquema de funcionamiento difiere de los cuatro tiempos clásicos propuestos por Beau de Rochas y Otto. Las patentes expuestas pretenden ser algunas de las más representativas al respecto, si bien cabe señalar que en las patentes del periodo considerado existen numerosas referencias sobre innovaciones relacionadas con motores de dos tiempos.

³³ Las patentes de introducción eran una modalidad de Propiedad Industrial, según la cual se podía solicitar en España una invención que ya estuviese registrada en otro país extranjero aunque el solicitante no fuese el inventor original. Se le exigía la puesta en práctica en España como a cualquier patente nacional y su duración estaba limitada a cinco años y no a veinte.

3.6.3. Otras innovaciones

Durante los primeros años del desarrollo de los motores de combustión interna alternativos no sólo se propusieron diversas configuraciones sobre el ciclo de funcionamiento de estos motores, tal y como se acaba de ver en el epígrafe anterior; también se produjeron numerosas innovaciones en los múltiples mecanismos que integran estos ingenios. En este apartado se pretende hacer una miscelánea de algunas de las numerosas invenciones *incrementales* que se produjeron en el terreno de los MCIAs en el periodo de estudio. Así, se podrán ver curiosidades como un sistema de ignición eléctrica de la mezcla a principios de la década 1880 o un motor con árbol de levas accionado por cadena en la década de 1890. Como se ha dicho anteriormente, la existencia de estos documentos no pretende determinar quién fue el primero en desarrollar estas tecnologías, ya que para ello tendría que hacerse un estudio comparado sobre el estado de la técnica en esas fechas para todos los países (o cuando menos para los más desarrollados tecnológicamente). Su inclusión en estas páginas sólo debe entenderse como un homenaje a sus inventores, a la vez que permitirá determinar la fecha aproximada en que esta tecnología fue divulgada a través de las patentes españolas.

Unas de las primeras innovaciones que se desarrollaron en las fases iniciales de los motores alternativos versaban sobre el número de cilindros y su geometría. Si bien inicialmente los motores fueron monocilíndricos, pronto aparecieron las configuraciones policilíndricas en línea. El siguiente paso se dio cuando los motores policilíndricos adoptaron otras configuraciones, como cilindros horizontales opuestos, en estrella, «V», o en otras disposiciones. La patente ES 45 525 trata sobre una configuración de un motor policilíndrico en estrella, tan habitual a principios del siglo xx como planta propulsora en las primeras aeronaves. Esta patente, titulada *Un motor de cilindros radiales y que gira alrededor de un eje fijo*, fue solicitada el 18 de mayo de 1909 por la *Société des Moteurs Gnome*, establecida en París. En la figura 53 se pueden ver algunos de los dibujos de esta patente.

El motor que se describe en la patente tiene el eje fijo, girando los cilindros alrededor del cigüeñal; la característica principal de este motor radica en su sistema de distribución, ya que la mezcla pasa al cárter a través de los conductos del cigüeñal y es aspirada en la cámara de explosión de los diferentes cilindros, atravesando una válvula automática **f** equilibrada convenientemente dispuesta en la cabeza de los émbolos. El escape se produce gracias a unas válvulas **k** ubicadas en el fondo de los cilindros, que son accionadas por una leva que gira a la mitad de la velocidad del motor. Llama la atención la disposición de la válvula de admisión en la cabeza del émbolo, disposición similar a la descrita en la patente de Daimler ES 5 021, según se vio en el epígrafe 3.4 (figura 39); así se corrobora cómo se van repitiendo en el tiempo desarrollos tecnológicos que ya fueron planteados en el pasado. La patente ES 45 525 caducó el 1 de enero de 1914, tras satisfacer cuatro anualidades y la puesta en práctica está acreditada el 13 de junio de 1912.

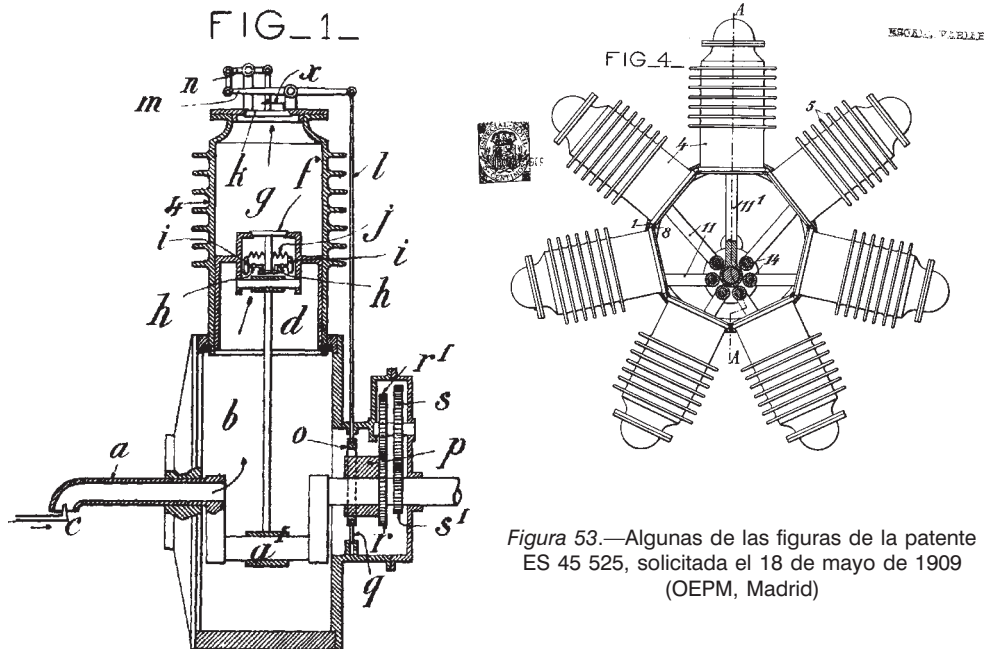


Figura 53.—Algunas de las figuras de la patente ES 45 525, solicitada el 18 de mayo de 1909 (OEPM, Madrid)

Se comprueba así esta característica que se da en muchas patentes de la época de estudio de este trabajo: la ausencia de hábitos de información tecnológica, es decir, la carencia de investigación sobre productos ya patentados, por lo que se produce una repetición de los resultados en la I + D con el consiguiente gasto de recursos en reinventar lo que ya está patentado e, incluso, caducado.

Otro de los elementos de los MCIA donde se produjeron grandes avances en este periodo fue el tren de la distribución. En las siguientes páginas se describen algunas patentes que muestran la existencia de sistemas de distribución sobradamente conocidos hoy en día. La primera patente que se expone es la ES 13 074, de título *Mejoras en motores de gas y de petróleo* y solicitada el 8 de marzo de 1892 por el ciudadano alemán Hermann Schumm, quien propone un árbol de levas para las válvulas de admisión y escape, tal y como puede verse en los dibujos de la figura 54.

La invención describe un sistema de distribución para motores de cuatro tiempos con un árbol de levas S en cabeza donde existe una leva v que actúa sobre el rodillo A de un balancín de doubles extremos G, cuyo otro extremo acciona la válvula de escape C. Además del mencionado rodillo A, existe un segundo rodillo R sobre el que se hace juego durante parte de la fase de admisión mediante la válvula o situada sobre un manguito H que puede correr a lo largo del árbol y gira con él. Este manguito también sostiene otra leva w que acciona la válvula de admisión D del cilindro (no representada en estos dibujos) al mismo tiempo que mueve la válvula de entrada de combustible M, ubicada

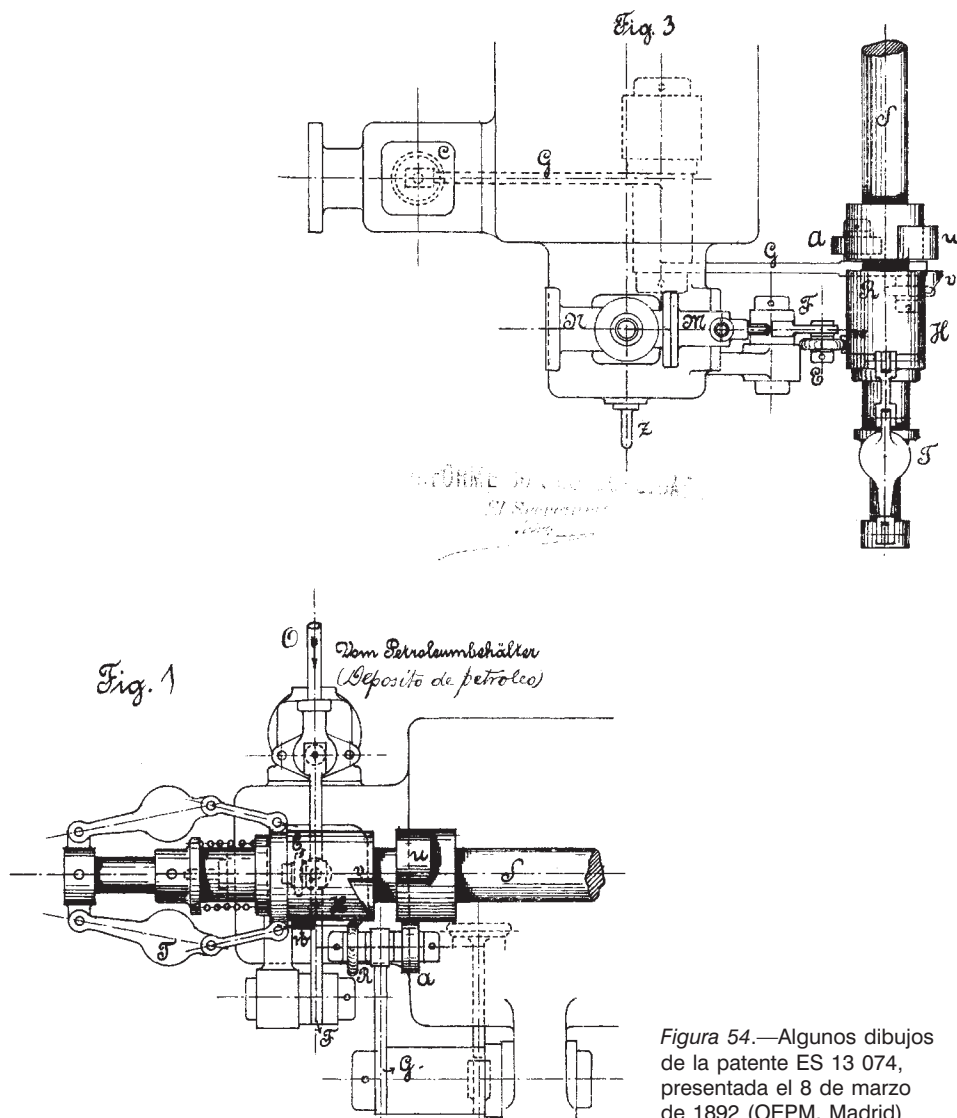


Figura 54.—Algunos dibujos de la patente ES 13 074, presentada el 8 de marzo de 1892 (OEPM, Madrid)

encima de la mencionada válvula D. En la memoria descriptiva se emplea el uso de la palabra *cama* para referirse a las distintas levas, lo que puede interpretarse como una falta de soltura en el lenguaje técnico por parte del traductor de la patente al español, o bien por una dependencia tecnológica del idioma español frente al francés y al inglés. La patente caducó el 26 de junio de 1895 tras satisfacer dos anualidades y sin que quede constancia de su puesta en práctica, circunstancia que no permite ser optimista sobre el posible éxito comercial de la invención. Sin embargo, ésta es una de las primeras patentes donde se documenta la existencia de un árbol de levas en cabeza.

Otro desarrollo relacionado con el tren de la distribución se encuentra descrito en la patente ES 19 186, solicitada el 10 de junio de 1896 por George John Altham, residente en los Estados Unidos, y que tiene por título *Mejoras en máquinas movidas por petróleo*. Detrás de esta escueta referencia se recoge un motor con un árbol de levas en cabeza accionado por cadena, tal y como se observa en la figura 55.

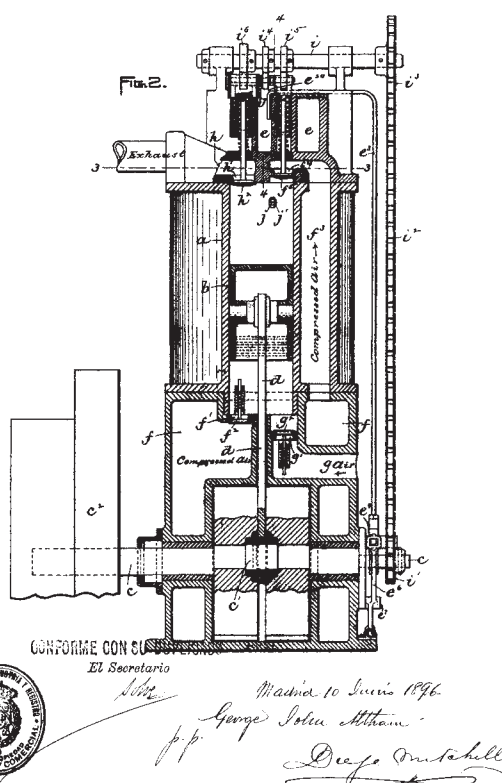


Figura 55.—Uno de los dibujos de la patente ES 19 186, solicitada en 1896 (OEPM, Madrid)

No obstante, según el inventor el objeto principal de esta invención no reside en el sistema de distribución descrito, que tan presente está en los MCIA actuales. Altham propone un sistema de renovación de carga que limpia el interior del cilindro de gases quemados cuando se realiza un nuevo ciclo, asegurando una perfecta expulsión de los productos de combustión.

El funcionamiento del motor se entiende fácilmente después de observar la figura 55: una mezcla de aire y combustible se encuentra comprimida en el cilindro motor y se inflama por la acción de la bujía *j j'* y a consecuencia de ello se produce la expansión; el pistón a su vez comprime el aire que se encuentra al otro lado del émbolo. Al llegar al PMI, el aire comprimido pasa, tras la apertura de la válvula *f²*, al depósito *f* y de ahí a su vez va a *f³*. En

la carrera ascendente del pistón se produce la apertura de la válvula h^2 , con lo que los gases de escape salen fuera del cilindro; también se produce la apertura de la válvula g^2 y así la parte inferior del cilindro se llena de aire limpio que será comprimido en la siguiente carrera de trabajo del pistón. A su vez, parte del aire previamente comprimido y que se almacena en la cámara f^3 pasa por una cámara de vaporización, donde absorberá combustible; esta mezcla está entonces lista para ser introducida al cilindro mediante la válvula f^5 cuando el pistón se encuentre próximo al PMS y se hayan evacuado los gases quemados, completándose así un nuevo ciclo. La patente caducó el 1 de enero de 1898 tras satisfacer sólo una anualidad y sin acreditar la puesta en práctica, por lo que es fácil suponer que la invención no debió tener impacto comercial alguno.

La patente ES 50 562, titulada *Un movimiento de gobierno para máquinas de explosión* y solicitada por la compañía holandesa *Industrieele Maatschappij Trompenburg A.G.* el 19 de mayo de 1911, describe un sistema de distribución en el que el accionamiento de las válvulas se realiza mediante taqués, tal y como puede observarse en la figura 56. En la patente se describe un motor con dos grupos de tres cilindros en línea cada uno, de manera que las válvulas de admisión y escape de los cilindros de cada grupo se mueven mediante un único árbol situado en el bloque motor y no en la culata. En la figu-

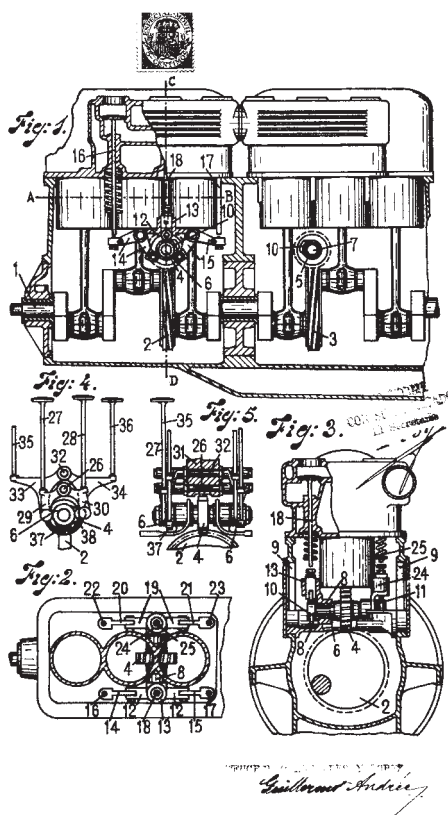


Figura 56.—Dibujos de la patente ES 50 562 sobre una distribución por taqués, año 1911 (OEPM, Madrid)

ra 56 se pueden observar los árboles de levas 6 y 7 (uno para cada bloque de tres cilindros) ubicados sobre una pieza de puente 8 que está fijada al bloque motor sobre superficies de trabajo torneadas en forma cilíndrica. Los árboles tienen unas levas 10, 11 que dan movimiento a las tres válvulas de admisión y escape pertenecientes al mismo grupo de cilindros. La pieza de puente está provista por ambos lados de brazos laterales 12 en los que están colocadas los balancines 14 y 15 cuyos brazos inferiores descansan sobre las levas 10, 11, mientras que los otros brazos mueven los vástagos de las válvulas 16 y 17. El vástago de la válvula 18 descansa directamente sobre el árbol de levas. Los dibujos 4 y 5 de la figura 56 muestran otra disposición para el caso de motores con cuatro cilindros. La patente caducó el 1 de enero de 1914 tras el pago de dos anualidades y sin que esté certificada su puesta en práctica; se ve así una vez más cómo las diversas innovaciones técnicas se desarrollan, aparentemente, sin éxito de mercado.

La patente ES 55 478 sobre *Perfeccionamientos en motores de combustión interna o de explosión* fue solicitada por la empresa británica *Vickers Limited* el 30 de abril de 1913. La invención propone mejoras en el sistema de distribución de motores con cilindros en estrella, habitualmente empleados en la época para propulsión aeronáutica; la figura 57 muestra uno de los dibujos de esta patente, que se refiere a un motor de catorce cilindros.

En la figura 57 puede verse la leva A que es accionada por medio de una transmisión apropiada desde el cigüeñal B. Los cilindros C están ubicados en forma de estrella irradiándose desde el bastidor del motor C^x. Cada cilindro posee una válvula de admisión C¹ y una válvula de escape C², que se mantienen cerradas por medio de unos muelles c¹ y c² respectivamente. Las válvulas se abren por medio de unos balancines C³ que oscilan por medio de unos pivotes c³ sobre los empujadores C⁴. Éstos van articulados en c⁴ a los cursores C⁵ que se prolongan a través de unas guías radiales c formadas en el bastidor del motor C^x. Dichos cursores llevan unos rodillos c⁵ que son impulsados de manera que se apoyan continuamente sobre la superficie activa de la leva A, obedeciendo a la acción de los muelles c^x que rodean los mencionados empujadores.

En la superficie activa de la leva A hay tres protuberancias a situadas en el mismo plano y distanciadas en 120°. Cuando la leva va a ser accionada, es impulsada mediante unas ruedas dentadas b¹ b², la segunda de las cuales engrana con una corona dentada c⁶ formada en la parte interna de la leva. Según el solicitante la disposición del engranaje es tal que la leva debe girar en dirección opuesta a la del árbol de levas y a una sexta parte de su velocidad.

El documento también describe otras regulaciones para el caso en que el dispositivo actúe en un motor de diez cilindros en estrella. La patente caducó el 1 de enero de 1919 tras satisfacer cinco anualidades y su puesta en práctica fue certificada el 18 de julio de 1916. En este caso puede ser arriesgado establecer alguna hipótesis sobre el funcionamiento de la invención, pues el hecho de que su puesta en práctica esté acreditada puede inducir a pensar sobre la posibilidad de comercialización de la invención; sin embargo, el número relativamente bajo de anualidades satisfechas induce a pensar lo contrario.

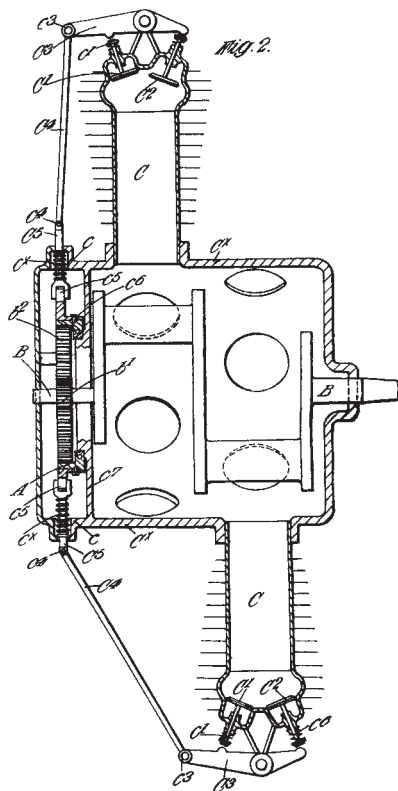


Figura 57.—Distribución descrita en la patente ES 55 478, solicitada en 1913 (OEPM, Madrid)

Otro grupo de invenciones de interés para este estudio son las relacionadas con el tren alternativo, es decir, las relativas al pistón, biela, segmentos, bulón y cigüeñal. Lo más destacado que hay que apuntar al respecto es que aparecen pocas patentes relacionadas con el tren alternativo. Ello no debe entenderse como una ausencia de innovación en estos elementos, sino más bien como una muestra de la falta de madurez del sistema de protección, de manera que los inventores y solicitantes de patentes probablemente consideraban que un pistón, un segmento, un bulón, una biela o un cigüeñal no eran invenciones por sí solas; de lo contrario es difícil explicar por qué no se presentaban patentes al respecto. Como confirmación de esta hipótesis, se comprueba que sí se producen innovaciones relacionadas con estos elementos y no se protegen en sí, como pueden ser el caso de los pistones descritos en las anteriores patentes ES 20 321 y ES 34 205, epígrafe 3.6.2, que podrían ser susceptibles de protección *per se* pero que se consideraron elementos del motor que integraban.

Se da la circunstancia que hasta bien entrado el siglo xx no empiezan a registrarse invenciones relativas exclusivamente a elementos del tren alternativo, y las que se encuentran solicitadas hasta el fin del periodo de estudio de este trabajo (1914) versan casi exclusivamente sobre segmentos, no habiéndose encontrado patentes de otros

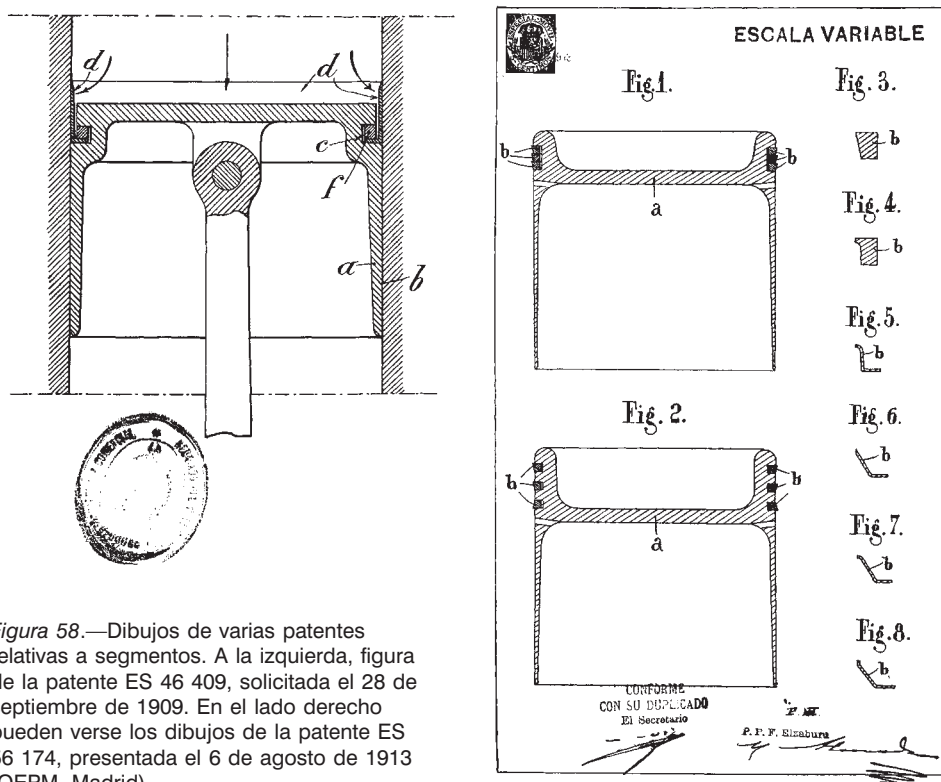


Figura 58.—Dibujos de varias patentes relativas a segmentos. A la izquierda, figura de la patente ES 46 409, solicitada el 28 de septiembre de 1909. En el lado derecho pueden verse los dibujos de la patente ES 56 174, presentada el 6 de agosto de 1913 (OEPM, Madrid)

elementos (pistón, biela, bulón o cigüeñal). En la figura 58 se muestran los dibujos de algunas invenciones relacionadas con segmentos. En el lado de la izquierda de dicha figura se puede ver el dibujo de la patente ES 46 409; a la derecha se representan los dibujos de la patente ES 56 174.

La patente ES 46 409 *Un pistón con corona de revestimiento, que forma labio estanco, para motores de explosión* fue presentada el 28 de septiembre de 1909 por la entidad francesa *Société des Moteurs Gnome*. La patente describe una corona *d* en forma de «L» y preferiblemente de latón que se fija junto al segmento *f*, de modo que la corona tiene la suficiente elasticidad para poder ajustarse a la pared del cilindro por la presión de los gases, consiguiéndose así un cierre estanco. En el dibujo de la izquierda de la figura 58 puede verse un pistón *a* que se desplaza sobre la pared *b* de un cilindro. El pistón dispone en la zona próxima a la cabeza de una garganta *c* en la que se introduce un segmento de acero *f* que aprisiona la corona *d* de manera que se produce el cierre estanco de la corona con la pared del cilindro.

La puesta en práctica está acredita el 28 de octubre de 1912 y se abonaron nueve anualidades, caducando el 1 de enero de 1919, por lo que cabe imaginar que esta patente gozó de cierto éxito comercial.

La patente ES 56 174, cuyos dibujos se representan en el lado derecho de la figura 58, fue presentada el 6 de agosto de 1913 por Alfred Lanser, residente en Bélgica. En los dibujos de esta patente pueden apreciarse diversas configuraciones dadas a los segmentos. Sólo se pagaron dos anualidades y la patente fue declarada caducada el 28 de febrero de 1934. Este desfase entre la caducidad de la patente y la falta de pago de las anualidades se debe a que a raíz de la Primera Guerra Mundial se decretó en España una RO de fecha 23 de septiembre de 1914 por la que se concedía moratoria para la acreditación de la puesta en práctica a las invenciones de solicitantes europeos [véase Sáiz (1996), p. 282]; sin embargo, esa moratoria fue levantada al acabar la contienda en un RD de 13 de septiembre de 1919, por el que las medidas de gracia dictadas en la anterior RO de 1914 debían terminar el 31 de diciembre de 1919 [Sáiz (1996), p. 287]. No obstante, el desfase existente entre estas fechas y el 28 de febrero de 1934, cuando fue declarada caducada, debe entenderse como un retraso de difícil justificación por la Administración en la resolución de sus actos.

Otra invención relativa al tren alternativo se encuentra en la patente española ES 54 622, solicitada por la empresa francesa *Société du Piston Anti-Friction* el 7 de enero de 1913 sobre *Un procedimiento y dispositivo de engrase de los pistones de motores ó bombas*. La figura 59 muestra los dibujos presentados en esta patente.

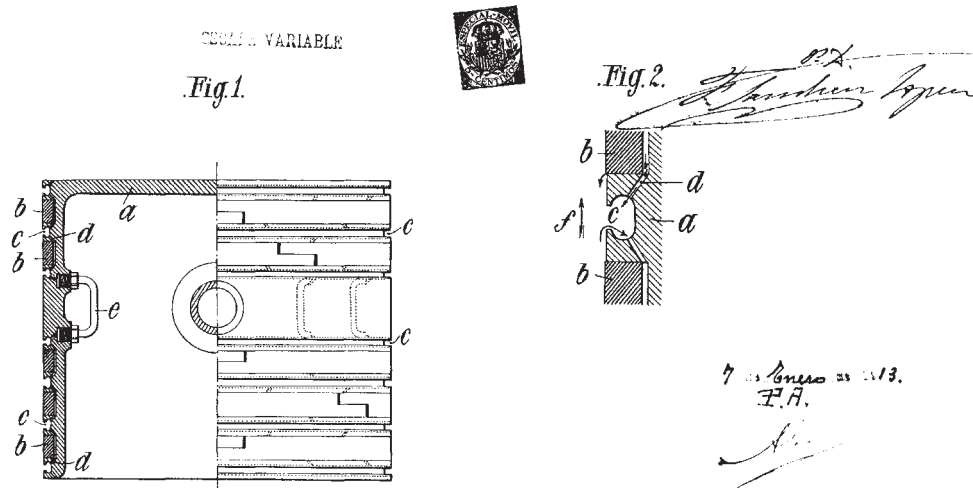


Figura 59.—Dibujos de la patente ES 54 622 presentada el 7 de enero de 1913 (OEPM, Madrid)

En esta invención se plantea la dificultad de lubricar el pistón en ciertas ocasiones en las que, según el solicitante, el lubricante que se distribuye entre la camisa del cilindro y el pistón puede aumentar su viscosidad y llegar a convertirse en una materia pasta espesa. Según el documento, la pared de un pistón a lleva entre sus segmentos b unas goteras c cuyos bordes opuestos se construyen con aristas vi-

vas y hacen a continuación unas gargantas formadas en cada una de las paredes laterales de la *gotera* correspondiente. Unos conductos oblicuos d (dibujo 2 de la figura 59) se practican en estas gargantas para hacerlas comunicar con el fondo de las cavidades que sirven de alojamiento a los segmentos adyacentes. Cuando el pistón se desplaza en una dirección (como la indicada en la flecha f), toda la cantidad de lubricante que el primer segmento halla ante sí, es recogida por la *gotera*; de ahí pasa por los conductos d a la parte trasera del segmento del cual lubrica las paredes laterales, esparciéndose en parte contra la pared del cilindro. Las goteras están comunicadas entre sí mediante los conductos e. La parte de lubricante que queda en la zona trasera del segmento corre a la gotera siguiente, mientras que la parte que sale de cada lado del primer segmento es recogida por el segmento siguiente y conducida por la gotera posterior. El mismo ciclo continúa a cada segmento durante toda la carrera del pistón en ambos sentidos. La patente caducó el 1 enero 1917 tras abonar tres anualidades y sin estar acreditada la puesta en práctica.

Otro campo técnico destacable asociado a los motores de combustión interna alternativos es el de los sistemas de formación de la mezcla. En el texto de Cummins (1989), pp. 179-180, se indica que durante los primeros diez años transcurridos desde el funcionamiento del motor de cuatro tiempos de Otto, la *Gasmotoren-fabrik Deutz AG* hizo grandes desarrollos en varios aspectos; entre ellos cabe citar los sistemas de formación de la mezcla combustible. Cummins explica que hacia 1884 Otto desarrolló un motor alimentado con gasolina, donde el combustible era vaporizado en un carburador donde se hacía burbujear dicho combustible. Por desgracia, este tipo de innovaciones no fueron protegidas en España y no han quedado documentadas como patentes nacionales. Sin embargo en la Oficina Española de Patentes y Marcas se conservan numerosas patentes de la época de estudio referidas a sistemas de alimentación de combustible. A continuación se hace mención a algunas de las invenciones de estos sistemas que fueron registradas en España.

Una de las patentes a señalar es la ES 43 053 solicitada el 11 de abril de 1908 por la *Daimler-Motoren-Gesellschaft* y de título *Un gasificador para los motores de explosión*. Esta invención describe, como puede apreciarse en la figura 60, un regulador para lo que se denomina *un gasificador*; aunque la patente realmente viene a describir la campana de regulación de los carburadores. El cuerpo de regulación d rodea con su extremo inferior cónico a la tobera de inyección f y tiene unas aberturas k para la entrada de aire auxiliar y otras aberturas g para el paso de la mezcla a las válvulas de admisión. El cilindro de regulación r se mueve en dirección axial y también puede girar dentro de la armadura del carburador mediante el mango s, pudiéndose así ajustar las aberturas i del cilindro con las aberturas k del cuerpo de regulación. Como curiosidad, merece citarse que se reivindica la prioridad de una solicitud alemana presentada el 17 de junio de 1907, aunque no detalla el número de patente. Fueron satisfechas tres anualidades de esta patente y no se acreditó la puesta en práctica, caducando el 30 de julio de 1912.

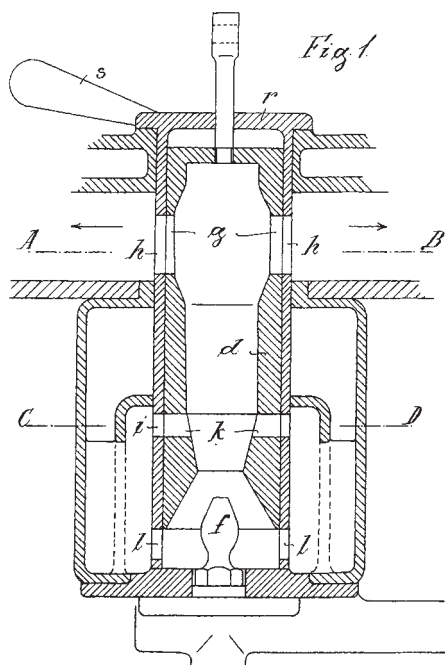


Figura 60.—Esquema del regulador descrito en la patente ES 43 053, del año 1908 (OEPM, Madrid)

El 18 de enero de 1913 la *Société du Carburateur Zenith*, de Lyon, Francia, solicitó la patente ES 54 712 titulada *Perfeccionamientos en carburadores*. La figura 61 ilustra los dibujos de esta patente, que describe un carburador *Zenith* que comprende dos inyectores alimentados por dos combustibles distintos. En el dibujo numerado con el 1 en la figura 61 se aprecia un primer depósito 1 de combustible con nivel constante que alimenta por el conducto 2 a un inyector 3, que desemboca en el centro del conducto de aspiración 4 por debajo de la mariposa 5 y recibiendo aire por el manguito 6. El inyector 3 descarga más combustible cuanto mayor es la velocidad del motor; por ello, este inyector se alimentará de un combustible *pesado y económico* que procederá del depósito ubicado a la izquierda del dibujo.

Un segundo depósito 7, ubicado a la derecha del dibujo, contiene una *esencia ligera* y alimenta un tubo 9 que tiene escape libre. En el interior de dicho tubo se encuentra otro tubito estrecho 8 que desemboca en el conducto de aspiración 4, cerca de la válvula de mariposa 5; este tubito no baja hasta el fondo del conducto 9, por lo que sólo funciona al arrancar el motor o a velocidades muy bajas. Además el tubo 9 comunica mediante un conducto 12 con un inyector anular 13 que rodea al inyector 3 antes citado. El tubo 9 recibe del depósito 7 una cantidad de combustible constante por unidad de tiempo. Cuando el motor está en marcha y la mariposa abierta, la cantidad de combustible suministrada al tubo 9 es inversamente proporcional al régimen del motor, mientras que el inyector 3 proporciona más combustible cuanto mayor es la velocidad del motor. Esta distribución se realiza automáticamente por el motor, según la velocidad que desarrolle.

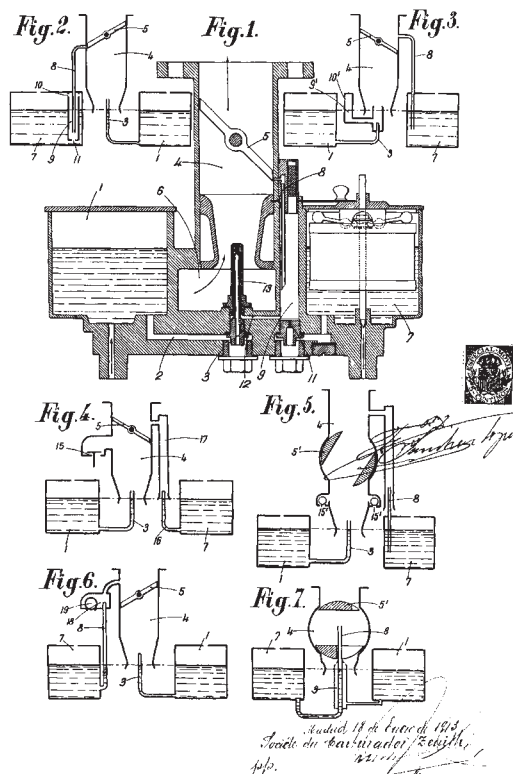


Figura 61.—Dibujos de la patente ES 54 712, presentada el 18 de enero de 1913 (OEPM, Madrid)

Los otros dibujos de la figura 61 muestran configuraciones alternativas para esta invención. La patente caducó el 1 de enero de 1917 tras abonar tres anualidades y sin acreditar la puesta en práctica. Como en el caso de la anterior solicitud de *Daimler-Motoren-Gesellschaft*, en ésta se reivindica la prioridad de otra patente extranjera, en esta ocasión presentada en Francia el 1 de mayo de 1912.

Un último documento que se expone relacionado con carburadores es la patente ES 55 054 solicitada por el ciudadano francés Charles Henri Claudel el 27 de febrero de 1913 y titulada *Perfeccionamientos en los carburadores de giclaje para compensar los efectos perturbadores debidos a la inercia del líquido carburante*. La invención propone separar en dos partes distintas el órgano que regula la cantidad de combustible admitido en el motor y el que regula la admisión de aire. La figura 62 muestra uno de los dibujos de este documento.

En esta figura se observa que el combustible entra al cuerpo del carburador mediante el conducto C y el aire lo hace por la abertura A, de sección variable, y con una sección útil a en el momento que se aprecia en la figura. Esta sección variable en el caudal de entrada del aire se consigue mediante un difusor móvil E que puede deslizarse en el interior del cuerpo del carburador. El difusor E está conectado mediante un resorte R a la mariposa D y a un émbolo P que se encuentra en el interior de un cilindro F. A su vez

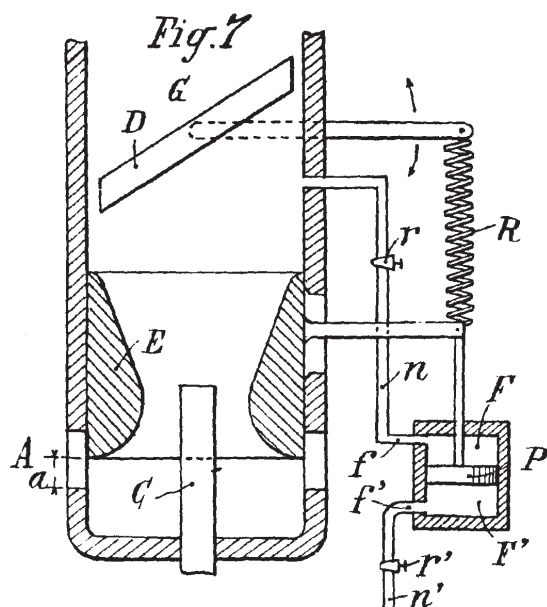


Figura 62.—Uno de los dibujos de la patente ES 55 054, presentada el 27 de febrero de 1913 (OEPM, Madrid)

este cilindro F consta de un tubo n que comunica con el cuerpo del carburador en las proximidades de la mariposa D, y otro tubo n' que puede conectarse con un punto de presión diferente, como puede ser el escape; en sendos tubos puede acoplarse unas válvulas r r' para regular el proceso. En función de la apertura de la mariposa y las presiones en los conductos n n', se establece la forma en que debe deslizarse al difusor E en el interior del cuerpo del carburador y, por tanto, regular el proceso de mezcla entre combustible y aire. Esta patente, que era de introducción, caducó por fenecimiento el 27 de febrero de 1918, y su puesta en práctica está acreditada el 11 de octubre de 1917. Es decir, llegó al fin de su vida útil, por lo que pudo gozar de éxito comercial.

A la vista de las patentes anteriores, parece claro que desde principios de siglo xx se produce una expansión de las invenciones desde otros países hacia España; ello podría coincidir con una fase de internacionalización de los mercados y expansión empresarial acaecida durante la denominada Segunda Revolución Industrial, desde 1880 hasta 1914. Esta fase coincide con el establecimiento del CUP, Convenio de la Unión de París, que estableció entre otros el derecho de prioridad para proteger invenciones en varios países y respetar la fecha del primer depósito.

No sólo se produjeron innovaciones en los sistemas de alimentación de los motores de encendido provocado; en los motores de encendido por compresión también hubo otros desarrollos, como el propuesto en la patente ES 53 305, solicitada el 17 de junio de 1912 por *Fried Krupp Aktiengesellschaft Germaniawerft* y de título *Dispositivo de inyección de combustible destinado a los motores de combustión interna que marchan con un combustible difícilmente inflamable*. En la figura 63 se puede observar el funcionamiento de la invención mediante el dibujo que la describe.

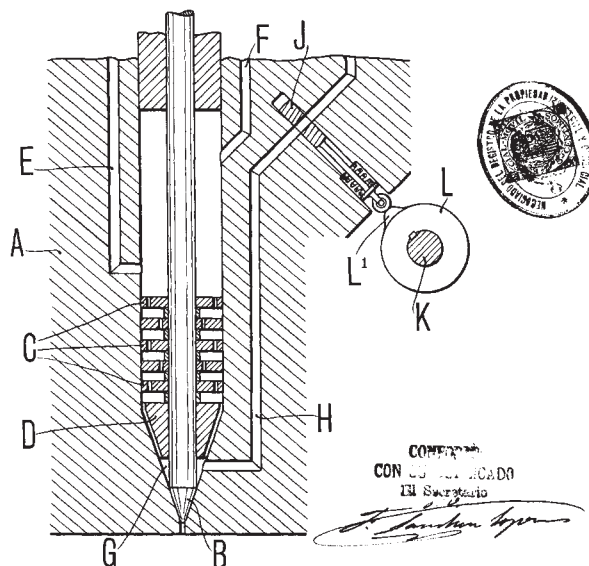


Figura 63.—Dibujo del inyector descrito en la patente ES 53 305, solicitada en 1912 (OEPM, Madrid)

La patente propone un dispositivo de inyección para combustibles difícilmente inflamables, de tal manera que se pueda producir un encendido aún para cargas débiles. El dispositivo comprende de un asiento de válvula A, aguja de combustible B, placas de pulverización C y cono de pulverización D. Un canal E hace llegar el combustible y otro canal F el aire a presión. La cámara anular G, situada encima del asiento de la aguja, está ligada mediante un canal H a otro espacio sometido a presión inferior, como puede ser la atmósfera. Una válvula corredera J se dispone en el trayecto de este canal H formando un obturador; dicha corredera está accionada por un árbol K, que puede ser por ejemplo el de la distribución, mediante una leva L L¹, de manera que está abierta durante un tiempo muy corto después que haya terminado la impulsión del combustible por la bomba y antes de que se abra la aguja (momento representado en el dibujo) y se cierra inmediatamente después.

Esta abertura momentánea del canal H produce en el tubo conductor del líquido un movimiento del fluido contenido, provocado por el aire comprimido destinado a la inyección. Si el espacio anular G quedase vacío de combustible debido a una carga débil del motor, el aire comprimido que se encuentra en él podría escaparse entonces por el canal H. Para grandes cargas del motor no es necesario sacar el aire comprimido contenido en el espacio anular G puesto que el canal de conducción del fluido no está completamente vacío de combustible. La patente caducó el 1 de enero de 1915 tras pagar dos anualidades y sin estar puesta en práctica, lo que hace pensar que su vida comercial debió ser prácticamente nula.

El 18 de julio de 1912 los británicos Henry Pollard y Collingwood Pollard solicitaron la patente ES 53 506 titulada *Un dispositivo para la inyección del aceite en los cilindros de los motores del tipo «Diesel»*. La figura 64 muestra una forma de realización de esta

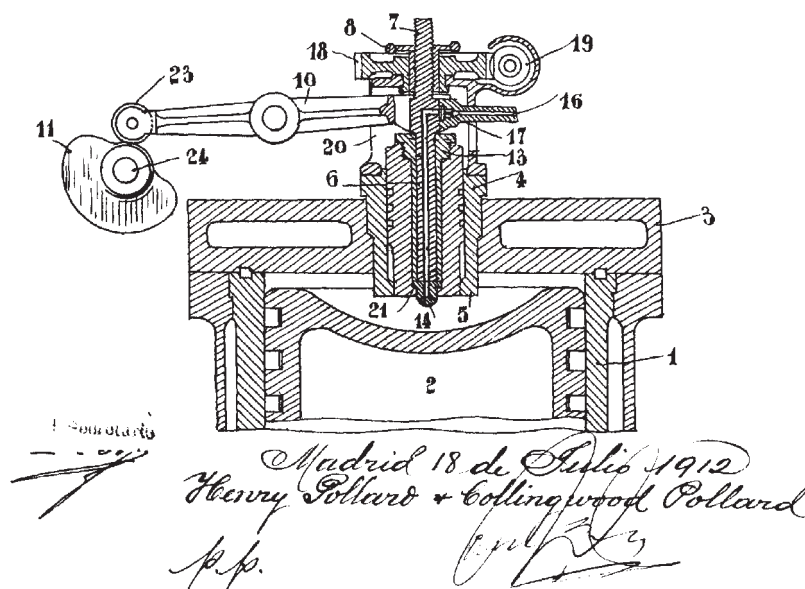


Figura 64.—Uno de los dibujos de la patente ES 53 506 de 1912 (OEPM, Madrid)

invención, donde el pistón ha acabado su carrera ascendente y los órganos de alimentación acaban de realizar la inyección del combustible.

En la culata del motor se ha practicado un rebaje donde se ha introducido la camisa 4 que aloja un pistón hueco 5 revestido por una guarnición metálica 13, donde a su vez va alojado un pistón macizo 6 provisto de una varilla fileteada 7. La varilla 7 va enroscada en una tuerca 8 sujeta a un soporte 20. A través del pistón macizo 6 hay perforado un conducto que une el tubo 16 con la tobera 14 por donde se inyecta el combustible; una válvula 17 regula el proceso. En la parte superior del pistón 5 descansa una extremidad del balancín 10, estando la otra extremidad 23 apoyada sobre una leva 11 montada en un árbol 24. El movimiento del árbol 24 hace que la leva 11 mueva el balancín 10 cuando el pistón 2 alcanza el PMS, de manera que el émbolo 5 se desplace hacia el pistón 2 momento en que se produce la inyección del combustible. La solicitud reivindica la prioridad de una patente presentada en Bélgica el 22 de julio de 1911; la caducidad se produjo el 1 de enero de 1915 tras abonar dos anualidades y sin acreditar la puesta en práctica.

Ya se ha hecho referencia a los comentarios de Cummins (1989), pp. 178-180, sobre el desarrollo de carburadores por parte de Otto. Cummins indica al mismo tiempo que Otto desarrolló en 1884 un sistema de encendido a baja tensión para una ignición eléctrica. Lamentablemente, en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas no se encuentra prueba alguna que demuestre que estas invenciones fueran registradas en España. No obstante, en la OEPM se han encontrado otras patentes que tratan sobre los procesos de combustión en los motores de combustión interna y al encendido de la mezcla.

Uno de los primeros sistemas eléctricos de ignición de la mezcla se encuentra documentado es la patente ES 3 729, *Un aparato eléctrico propio para la inflamación de las mezclas gaseosas empleadas en los motores de gas de todas clases*, presentada el 6 de noviembre de 1883 por Nicolas Kabath, ingeniero ruso residente en París. La figura 65 muestra los dibujos de esta invención, cuyo objeto es «un sistema que permita inflamar instantánea y seguramente mediante una chispa eléctrica las mezclas gaseosas empleadas como productoras de fuerza motriz en los sistemas de motores de gas».

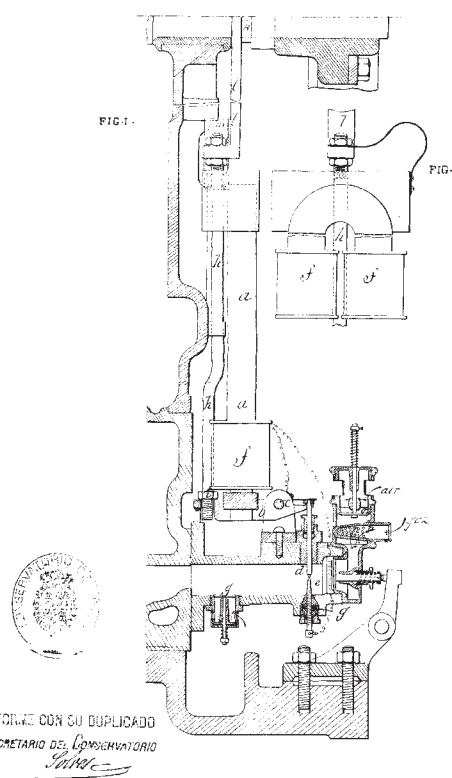


Figura 65.—Dibujos del sistema de ignición desarrollado por Kabath, patente ES 3 729 de 1883 (OEPM, Madrid)

Para conseguir este propósito se dispone el siguiente desarrollo: un órgano cualquiera del motor actúa mediante una transmisión adecuada (concretamente un vástago vertical h-l) sobre la armadura b de un imán a, en forma de herradura, cuyos brazos se hallan rodeados de unas bobinas f de hilo conductor. La armadura b, que puede oscilar sobre el eje c, lleva en una de sus extremidades el vástago d, colocado en frente de otro vástago e. Los dos extremos del hilo de las bobinas f comunican con los vástagos metálicos d y e, existiendo una pieza g aislante que rodea el vástago e. Si la armadura b se desprende bruscamente del imán a, se desarrollará una corriente inducida en el hilo de las bobinas y dará lugar a una chispa entre los vástagos metálicos d y e; esta chispa inflamará la mezcla aire combustible. El vástago vertical h-l atraviesa un ex-

tremo de la armadura b. El desprendimiento de la armadura se produce cuando el vástago h-l queda libre, y hace golpear la tuerca i sobre la armadura b, separándola bruscamente del imán a, momento en el que salta la chispa.

Probablemente, como se ha dicho, este sistema de ignición eléctrica sea uno de los primeros documentados, pues Cummins atribuye a Otto el ser pionero, en 1884, del desarrollo de un sistema de encendido a baja tensión para una ignición eléctrica. La propuesta de Kabath es algo anterior a la de Otto; sin embargo, no se puede hacer ninguna hipótesis a favor del ingeniero ruso, ya que esta patente caducó el 19 de mayo de 1885 tras satisfacer sólo una anualidad y sin que la puesta en práctica esté acreditada.

Con este documento finaliza la exposición de algunas de las invenciones *incrementales* que se desarrollaron y protegieron en España; aunque muestren desarrollos conocidos en la técnica cotidiana actual, no es posible acreditar la autoría de la invención a sus inventores según las hipótesis expuestas en el punto 3.6.1. Los últimos epígrafes de este capítulo de centran en las invenciones del ingeniero suizo Marc Birkigt así como en los desarrollos de los primeros motores sobrealimentados.

3.7. Marc Birkigt, ingeniero de la Hispano-Suiza

Marc Birkigt nació el 8 de marzo de 1878 en Ginebra; su padre Ernest Louis era ciudadano alemán y su madre, Louise Annen, suiza. Birkigt estudió ingeniería en l'École de Mécanique de su ciudad natal, y a los veintidós años fue a Barcelona para trabajar en una empresa de automóviles.

Esta empresa era «*La Compañía General de Coches-Automóviles Emilio de la Cuadra*», propiedad del militar Emilio de la Cuadra, que intentaba la construcción de vehículos de propulsión eléctrica e híbrida eléctrica-combustión interna. Para llevar a cabo este fin, De la Cuadra contactó con el ingeniero suizo Carlos Vellino, que era dueño de una fábrica de baterías eléctricas en Barcelona, según indica Polo (1994). Las dificultades para desarrollar estos ingenios eran elevadas, por lo que Vellino, que conocía a Birkigt, habló con él y le convenció para venir a España; juntos lograron construir un equipo propulsor compuesto por un motor de gasolina que alimentaban unas baterías eléctricas, equipo que instalaron en un autobús. Durante la demostración pública del vehículo éste se averió de forma irremediable, por lo que Vellino decidió abandonar la empresa. No obstante, Birkigt logró convencer a De la Cuadra para seguir construyendo vehículos pero propulsados por motores de combustión interna. Parece que se llegaron a construir dos de estos vehículos, pero De la Cuadra no tenía capital suficiente para seguir con la empresa, por lo que ésta se declaró en suspensión de pagos.

Los acreedores se hicieron cargo de la empresa, que cambió de denominación, pasándose a llamar «*J. Castro Sociedad en Comandita, Fábrica Hispano-Suiza de Automóviles*» en honor del principal accionista y de Birkigt, que desempeñaba el puesto de director técnico de la firma. En 1903 se presentó el primer automóvil de la marca *J. Castro*, del que parece se llegaron a vender cinco unidades. A pesar de estos relativos éxitos, la compañía necesitaba ampliar su capital para producir a mayor escala y así poder rebajar costes. No

se lograron los objetivos previstos, pero sí reunieron los fondos necesarios para fundar en 1904 una nueva compañía, «La Hispano-Suiza, Fábrica de Automóviles, S.A.», de la que Damián Mateu se convirtió en principal accionista, y donde el propio Birkigt también poseía parte de la empresa. Mateu era un conocido industrial catalán que tenía negocios relacionados con la siderurgia y la maquinaria. En los textos de Polo (1994), (1999) y Lage (1992), (2003) se puede encontrar más información sobre la Hispano-Suiza y Birkigt.

Sin duda alguna la *Hispano-Suiza* fue una de las empresas españolas más importantes de principios del siglo xx, y en la que el buen hacer de Birkigt tuvo un papel fundamental. Birkigt solicitó numerosas patentes en España sobre diversos elementos de sus vehículos y motores. Dada la capital importancia que para la industria española supuso la *Hispano-Suiza*, en las siguientes páginas se describen brevemente algunas de las invenciones de Birkigt que se conservan en el Archivo Histórico de la OEPM.

La patente ES 43 672 fue una de las primeras sobre motores que Birkigt solicitó en España, presentada el 11 de julio de 1908 y titulada *Un sistema de lubricación interna para motores*. La figura 66 muestra el dibujo de esta patente. El sistema de lubricación propuesto se basa en la disposición de un recipiente propio 2 para la contención de aceite que forma parte integrante del cárter 1 del motor, en el cual funciona una bomba rotativa 4 que impele el aceite, obligándole a recorrer unos conductos desde los cuales

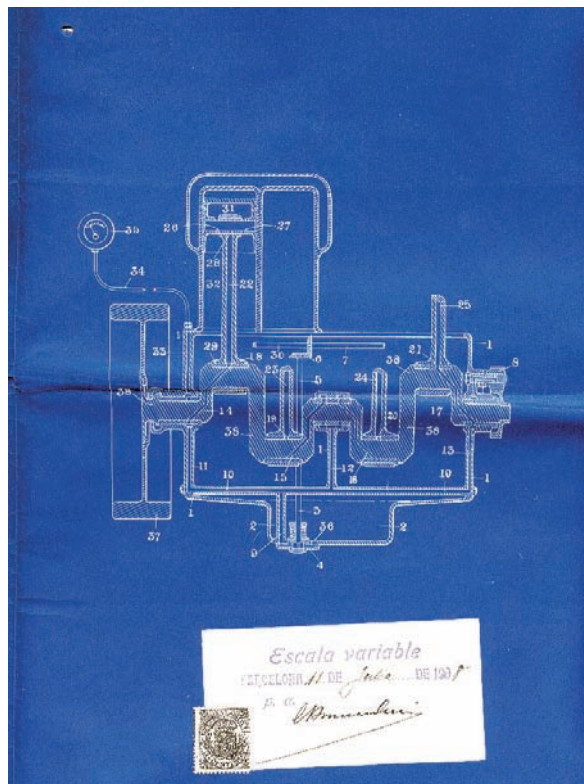


Figura 66.—Dibujo de la patente ES 43 672, presentada por Birkigt en 1908 (OEPM, Madrid)

pasa a otros practicados en el eje cigüeñal, cuyas embocaduras se ponen periódicamente en frente de otros conductos practicados en el interior de las bielas, por donde va a parar el aceite hasta llegar al acoplamiento biela-pistón.

En comunicación con la bomba 4 se halla el tubo de ascensión del aceite 9 que a su vez está en comunicación con el tubo 10 y éste lo está con los conductos 11, 12 y 13. El conducto 12 va a para al cojinete intermedio del cigüeñal 38, mientras que 11 y 13 van a alimentar respectivamente al primero y al último de los cojinetes extremos. El cigüeñal 38 lleva practicados unos conductos 14, 15, 16 y 17 de manera que por cada giro del cigüeñal un extremo de estos conductos se pone en contacto con la desembocadura de los tubos 11, 12 y 13; los otros extremos de los tubos 14, 15, 16 y 17 van a dar sobre los cojinetes de las cabezas de las bielas. A su vez, estos cojinetes llevan otros orificios 18, 19, 20 y 21 que permiten la comunicación entre los mencionados tubos 14, 15, 16 y 17 y otros conductos 22, 23, 24 y 25 practicados en el interior y a lo largo de las bielas del motor, desembocando estos últimos en los cojinetes de los pies de las bielas, que para conseguir este efecto llevan un orificio 28. La tubería de lubricación 10 comunica con un conducto 33 y éste a su vez con otro 34, que conduce a un manómetro 35 para conocer la presión suministrada por la bomba 4 en cada momento; una válvula limitadora 36 impide que la presión sobrepase un valor determinado.

Cabe pensar que esta invención de Birkigt gozó de éxito comercial, pues la patente caducó el 1 de enero de 1919 tras satisfacer las anualidades correspondientes durante diez años. La puesta en práctica está acreditada el 20 de septiembre de 1911 por Rosendo Moncunill Bancells, Ingeniero Industrial por la Escuela de Barcelona, rama Mecánica y promoción de 1904 [Colegio y Asociación «Julio Soler» de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 288].

Otra invención de Birkigt es la que recoge la patente ES 51 858, solicitada el 1 de diciembre de 1911, que sin embargo queda algo alejada de las máquinas térmicas, como se observa por su título *Perfeccionamientos en aparatos para hinchar neumáticos en automóviles y artefactos análogos*. A pesar de que esta invención no está relacionada con motores térmicos, en la figura 67 se adjunta el dibujo de esta invención, dada la relevancia de la figura de Birkigt. Esta invención tiene su puesta en práctica certificada el 19 de enero de 1915 por el Ingeniero Industrial Tomás Flaquer Barraquer, de la promoción de 1904, rama Mecánica, de la Escuela de Barcelona [Colegio y Asociación «Julio Soler» de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 288].

La invención describe una bomba a para inflar los neumáticos de un vehículo, que consta de un pistón b acoplado a una biela c y ésta a su vez a un cigüeñal h, de manera que la bomba pueda accionarse mediante el movimiento de la caja de cambios d del vehículo a través del movimiento que su eje g transmitiría al piñón f y éste engranaría con el piñón e de la bomba. En esta patente Birkigt figura como residente en París.

En la patente de introducción ES 55 538 *Perfeccionamientos introducidos en el engrasado de los motores, especialmente de los de automóvil, así como sus anexos*, presentada el 3 de mayo de 1913, se vuelve a plantear una invención relacionada con la lubricación de los motores. La figura 68 muestra los dibujos de esta invención.

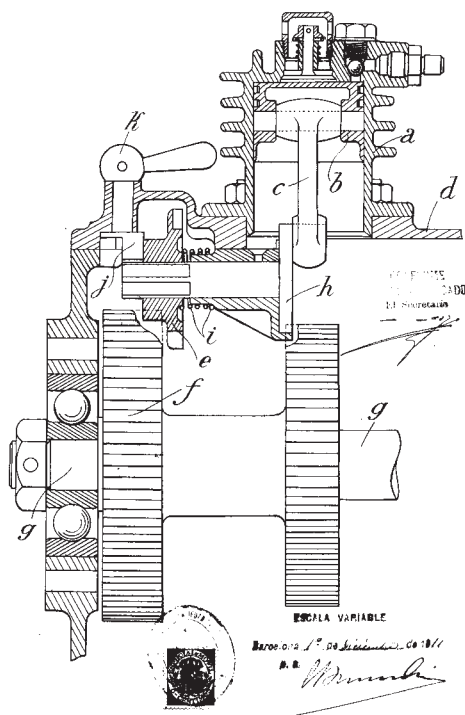


Figura 67.—Dibujo de la patente ES 51 858 solicitada el 1 de diciembre de 1911 (OEPM, Madrid)

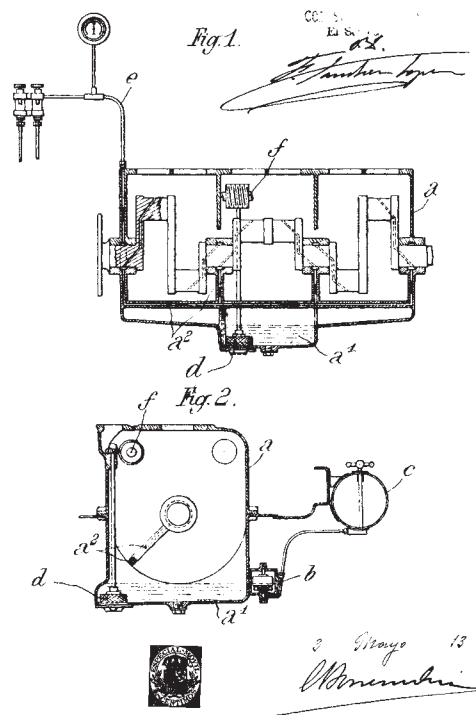


Figura 68.—Dibujos de la patente ES 55 538 presentada el 3 de mayo de 1913 (OEPM, Madrid)

Como se indicó en el epígrafe 3.6.2 (véase la nota 33), debe recordarse que las patentes de introducción eran una figura de Propiedad Industrial recogida en la legislación de la época, según la cual terceras personas podían solicitar en España patentes desarrolladas previamente en otros países sin ser ellos los inventores o titulares de la patente original. Por ello cabe pensar que Birkigt no fue realmente quien desarrolló esta forma de engrase, sino que lo *importó* de otra patente solicitada previamente en algún otro país. La invención propone un sistema de lubricación del motor que permita engrasar otros dispositivos del vehículo, como la caja de cambios. En la figura 68 se observa un motor de seis cilindros en línea en el que su cárter presenta un nivel de aceite *b*; un depósito *c* lleva el lubricante de reserva necesario para hacer el engrase, de manera que el nivel de aceite en el cárter sea constante. En el texto se sigue explicando la nueva invención:

«... Gracias a ello, siendo el nivel del lubricante siempre el mismo, en todas las circunstancias, en dicho cárter, el chapoteo de las bielas, suponiendo que se haya recurrido a él, se hace siempre de un modo uniforme y además se establece por una parte la posibilidad de instalar dicho depósito *c* de modo más apropiado que el habitualmente adoptado, lateralmente al bastidor, por ejemplo, de manera

que sea más fácilmente accesible, y por otra parte el empleo, en todos los casos, del baño de lubricante contenido en el propio cárter para la alimentación de una bomba de engrasado tal, por ejemplo, como la que se ve en d; estando esta bomba destinada a trabajar siempre con la misma carga...»

Además en la figura 68 se aprecia la existencia de la bomba d en el fondo del cárter que se accionaba mediante el árbol de levas f, una cubeta a¹ donde se recogía el lubricante, los conductos a² que transmitían el aceite a distintos órganos y el tubo e que lo conducía a órganos auxiliares como el manómetro. Llama la atención que en los dibujos de esta patente pueden observarse los conductos de distribución del lubricante que fueron descritos en la patente ES 43 672, anteriormente citada. En cierta manera esta invención podría considerarse muy próxima a un engrase por cárter seco, si no fuese por la existencia de la cubeta a¹ donde se recoge parte del lubricante. De esta patente se pagaron tres anualidades y no está certificada su puesta en práctica, por lo que caducó el 1 de enero de 1917.

A partir de esta patente, en la documentación custodiada por la OEPM consta que Birkigt residía en Levallois-Perret, Francia. Sin embargo, ésta no fue la única patente de introducción solicitada por Birkigt; también lo fue la patente ES 55 541 *Perfeccionamientos introducidos en los carburadores para motores de explosión y por lo tanto a los motores mismos*, solicitada el 3 de mayo de 1913. La figura 69 muestra algunos de sus

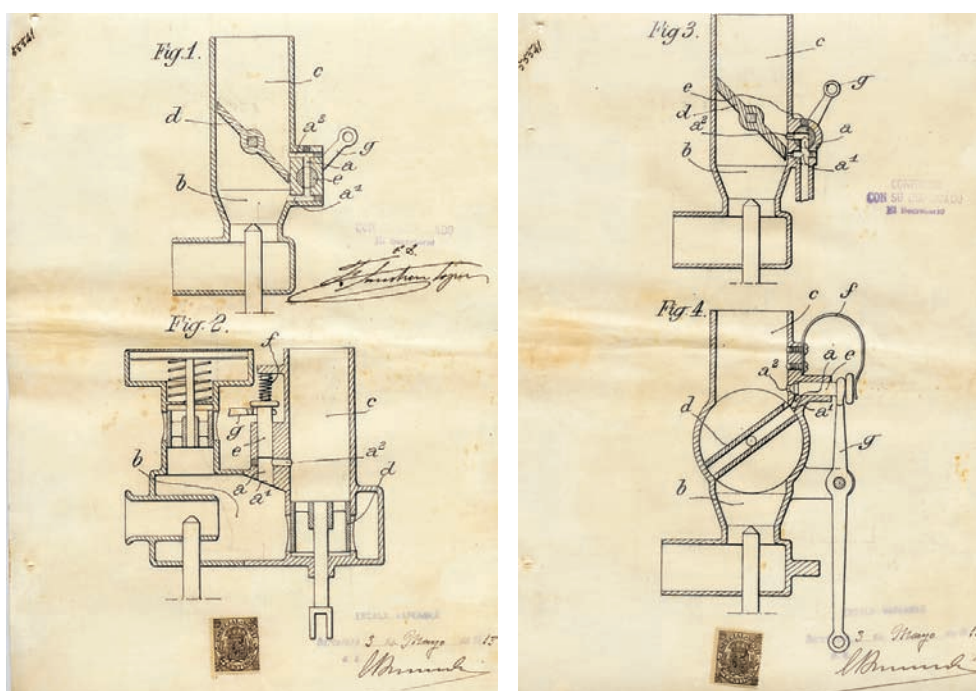


Figura 69.—Diversas formas de realización de la patente de Birkigt ES 55 541 de 1913 (OEPM, Madrid)

dibujos en los que se presentan diversos modos de realización de la invención. Birkigt propone en esta patente una manera de facilitar el arranque de los motores ya que al estar éstos parados la mariposa d del carburador se encuentra cerrada. En la invención se establece un sistema de comunicación a ambos lados b y c de la mariposa d , en forma de tres conductos a^1 , e y a^2 . El conducto e es móvil, y al actuar el dispositivo g se consigue poner a e en movimiento, de manera que e establece comunicación entre los conductos a^1 , y a^2 , realizándose así un *by pass* a la mariposa d . Se abonaron tres anualidades de esta patente, y su puesta en práctica no está certificada, por lo que caducó el 1 de enero de 1917.

Otra invención de Birkigt, *Perfeccionamientos en los silenciosos para motores de explosión*, se describe en la patente ES 57 020 solicitada el 5 de diciembre de 1913. El objeto de la invención descrita en este documento es un silencioso para motores de explosión, con menor volumen, construcción más sencilla y económica y menor peso que los conocidos hasta esa fecha. La figura 70 muestra los dibujos de esta patente. El cuerpo de dicho silencioso se construye con un tubo a de sección adecuada al que se dispone de dos tapas b y b^1 que se acoplan respectivamente sobre el tubo de escape del motor c y sobre un tubo c^1 que descarga a la atmósfera. A continuación se fijan a dicho cuerpo unos discos de plancha d^1 y d^2 que se cortan y estampan de modo que, por una parte, presentan por su periferia un reborde e tal que pueda encajar exactamente sobre el tubo a y fijarse a él, por ejemplo, por roblonado. Por otro lado, presenta una serie de piezas f^1 y f^2 que forman saliente por la otra cara, en una configuración parecida a los álabes de una turbina, y con los bordes dirigidos radialmente de forma que los *álaves* de los discos d^1 estén puestos en sentido opuesto a los álabes de los discos d^2 . Los discos d^1 y d^2 se montan a lo largo del tubo a de forma alternativa tal y como puede verse en el dibujo 1 de la figura 70, y en las extremidades de dicho tubo se ubican las tapas b y b^1 .

La puesta en práctica de la patente ES 57 020 está acreditada el 15 de mayo de 1917 y aunque sólo se abonaron siete anualidades, la caducidad no se produjo hasta el 13 de junio de 1936. Esta tardanza en la caducidad se puede justificar por el mismo comentario que se hizo sobre la caducidad de la patente ES 56 174, en la epígrafe 3.6.3, es decir, debido al retraso que introdujo la Primera Guerra Mundial en la resolución de los actos administrativos por parte del entonces Registro de la Propiedad Industrial.

La última patente española de Birkigt que se analiza en estas páginas es la ES 57 085, *Perfeccionamientos introducidos en los sistemas de distribución por válvulas mandadas*, solicitada el 11 de diciembre de 1913. Esta invención propone una forma más sencilla de construcción de la distribución de un motor de explosión. La figura 71 ilustra los dibujos de esta patente, donde puede apreciarse un motor de cuatro cilindros en línea con todo el mecanismo de la distribución ubicado en la culata. En la figura se aprecian las válvulas de admisión a^1 y escape a^2 que se encuentran dispuestas simétricamente con relación al plano diametral longitudinal 3-3 que atraviesa el bloque motor.

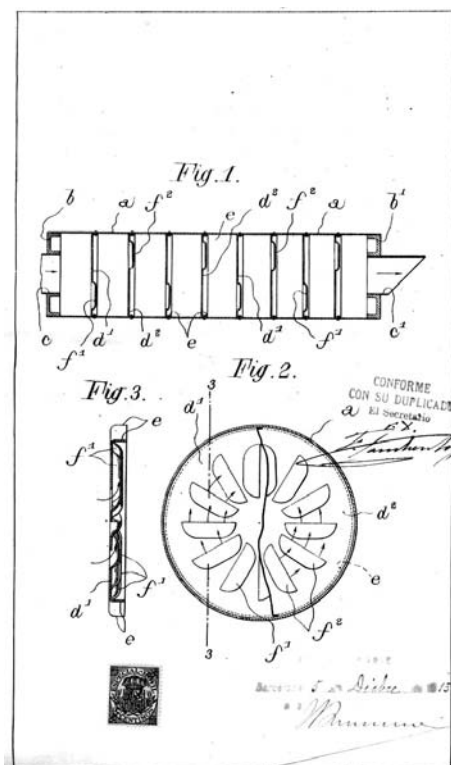


Figura 70.—Dibujos de la patente de Birkigt ES 57 020 solicitada en 1913 (OEPM, Madrid)

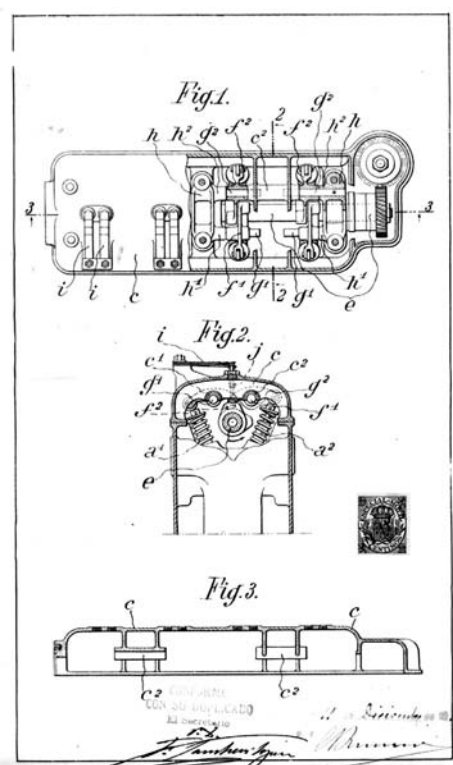


Figura 71.—Dibujos de la patente ES 57 085, presentada por Birkigt el 11 de diciembre de 1913 (OEPM, Madrid)

El árbol de levas e se monta sobre sus soportes h de manera que su eje geométrico se encuentra en el mencionado plano. Dicho soporte h presenta una serie de prolongaciones h^1 , h^2 sobre la que se montan los ejes de balancines g^1 , g^2 . Los balancines f^1 , f^2 se insertan sobre sus ejes g^1 , g^2 de manera que el árbol de levas en su movimiento hace girar a los balancines sobre sus ejes. La tapa de balancines, por otro lado, se apoya en sus extremos c^1 , c^2 sobre las zonas libres de los ejes g^1 , g^2 , abrazándolos como si fuese un cojinete superior e impidiendo así que se levanten o flecten por acción de las levas. Birkigt expone que esta construcción permite un fácil acceso al mecanismo de distribución con lo que así se facilitan las operaciones de mantenimiento. Sin embargo, considerando la vida que tuvo la patente, cabe pensar que este dispositivo no tuvo éxito comercial. La invención no tiene acreditada la puesta en práctica y fueron abonadas dos anualidades, por lo que la patente caducó el 1 de enero de 1916.

La importancia que tuvo la *Hispano-Suiza* no queda limitada a los primeros años del siglo xx, pues el renombre de esta marca llega en el recuerdo hasta nuestros días. Probablemente esta empresa pueda considerarse como el más alto exponente de la in-

dustria española relacionada con la fabricación de vehículos durante el primer tercio del siglo xx. En buena parte el legado de esta emblemática compañía es obra del ingeniero Marc Birkigt, que falleció el 15 de marzo de 1953 en Versoix (Suiza), tras recibir múltiples distinciones y homenajes, como el Doctorado Honoris Causa por la École Polytechnique Fédérale de Zurich.

3.8. Los primeros motores de combustión interna sobrealimentados

3.8.1. Antecedentes

A partir de la década de 1980 empezaron a popularizarse los automóviles con motores sobrealimentados, que se hicieron más conocidos por la expresión «turbo». El éxito de estas mecánicas radica en que se produce una compresión previa del aire de admisión, aumentando su densidad, y consiguiendo más potencia del motor. De una forma matemática, se puede escribir que la potencia efectiva N_e de un motor viene expresada por [Muñoz Torralbo y otros (1989), p. 321]:

$$N_e = \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \rho_a \cdot V_T \cdot F \cdot H_C \cdot \frac{n}{2}$$

donde η_v es el rendimiento volumétrico, η_i el rendimiento indicado, η_m el rendimiento mecánico, ρ_a la densidad del aire, V_T la cilindrada total, F el dosado, H_C el poder calorífico del combustible y n el régimen de giro.

Para aumentar la potencia se puede actuar en cada uno de los términos de la ecuación anterior, si bien es más factible hacerlo sobre algunos de estos términos que sobre otros. Es decir, si se aumenta la densidad del aire (comprimiéndolo), se conseguirá una mayor potencia del motor. En este epígrafe se realiza un breve estudio de las patentes que se presentaron en España proponiendo como solución el aumento de la densidad del aire, para lo cual hay que proceder a su compresión previa.

En otros documentos de esta época se han encontrado algunos ejemplos que muestran patentes en las que se produce una compresión previa del aire que va a ser mezclado, como en la patente de Otto ES 7 246 [no estudiada en este trabajo, sino en otro de Amengual (2004 b)] o la patente de Altham ES 19 186 (epígrafe 3.6.3). Sin embargo, los datos que se tienen sobre estos ingenios, como la breve duración de su patente y la carencia de su puesta en práctica, permiten ser escépticos en cuanto a su posible funcionamiento real.

Otra relación podría encontrarse con la patente ES 26 718, *Un procedimiento de trabajo para máquinas de fuerza de combustión*, solicitada el 17 de octubre de 1900 por la sociedad alemana *Allgemeine Gesellschaft für Dieselmotoren AG*. En esta invención, que describe un motor tipo Diesel, la compresión previa del aire no la realiza el émbolo,

sino que es una bomba auxiliar la encargada de realizar este trabajo, como puede apreciarse en la figura 72.

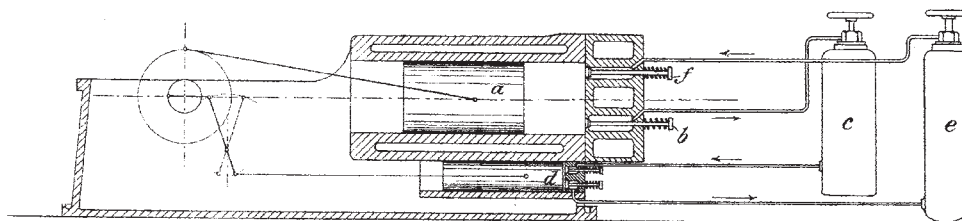


Figura 72.—Dibujo de la patente ES 26 718, solicitada el 17 de octubre de 1900 (OEPM, Madrid)

Según se ve en el dibujo, la bomba *d* comprime el aire que se almacena en los depósitos *c* y *e*, de donde pasa al cilindro *a* para mezclarse con el combustible. Esta invención tiene certificada su puesta en práctica el 11 de enero de 1904, y caducó el 10 de diciembre de 1906 tras abonar cinco anualidades. En cierta manera este dispositivo se asemeja al propuesto por el propio Diesel en su patente española ES 19 821, vista en el epígrafe 3.5.5. Sin embargo, en ningún caso estos dispositivos pueden considerarse precursores de los motores sobrealimentados.

3.8.2. Las patentes de Arnold Zoller

No obstante, en el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas se conservan tres patentes presentadas en los primeros años de la década de 1910 que describen verdaderos motores de combustión interna sobrealimentados. Dos de estas patentes fueron presentadas por la misma persona, y la tercera, dada la escasa información que proporciona, puede considerarse poco relevante. A continuación se presentan estos documentos.

La patente ES 49 638, *Un motor de dos tiempos y de doble efecto sin prensa-estopas, con distribución de émbolo, aplicable particularmente á los fines de la aviación*, fue presentada el 13 de enero de 1911 por Arnold Zoller, ingeniero suizo que trabajó en Berlín con la empresa Auto Union AG, que fue el germen de Audi. En la documentación asociada a la patente ES 49 638 se indica que Zoller residía en Turín, Italia. Otro dato relevante es que se reivindica la prioridad de la patente presentada en Italia el 14 de enero de 1910 con el número Gen. 107.356. En el texto de Day (1980), p. 180, se menciona la existencia de compresores Zoller, que se emplearon en destacados vehículos como DKW y BMW.

Zoller expone en esta patente que, para realizar un barrido económico en los motores de dos tiempos de la época, era necesario emplear una cantidad de aire muy superior al volumen de los cilindros. Ese aire convenientemente comprimido, penetra en los

cilindros motores y por motivo de su expansión provoca la expulsión completa de los gases de combustión que hay en los cilindros. Zoller propone además el empleo de un turbocompresor para comprimir el aire o la mezcla combustible, configuración que según él presenta numerosas ventajas, tal y como puede leerse en este documento:

«... Se observa además, que en los motores de combustión de dos tiempos alimentados con bencina o sus análogos, y servidos por un turbo-compresor, como antes se ha indicado, es muy ventajoso disponer el carburador delante del turbo-compresor. Esta disposición garantiza la obtención de una mezcla explosiva muy económica, debido a la extrema subdivisión del combustible líquido, gracias al aumento de la temperatura debida a la compresión y a la acción de pulverización ejercida por las aletas del turbo-compresor sobre el mismo combustible...»

La idea de esta invención era eliminar la bomba de barrido vista en los primeros motores de dos tiempos y sustituir esta bomba por un turbocompresor; además, con el turbocompresor se obtenían las ventajas anteriormente mencionadas. La figura 73 muestra los dibujos de esta patente donde puede apreciarse que el aire penetra en el carburador mediante la toma 14 y va a mezclarse en el conducto 15 con el combustible que sale por el surtidor 16. Esta mezcla aspirada por los álabes del turbocompresor se comprime y es enviada a través de los conductos 19 a los cilindros 4', 4 y 4'' dispuestos radialmente. La mezcla atraviesa las lumbreras 12, 13 que están reguladas por el pistón I; después de la compresión, combustión y expansión, sale de los cilindros alternativamente por las lumbreras de escape 10 y 11 reguladas por los émbolos II y III.

Esta patente caducó rápidamente, pues sólo fue abonada una anualidad y no está acreditada la puesta en práctica, por lo que caducó el 1 de enero de 1913. Estos datos hacen sospechar que no se produjo la viabilidad comercial de la invención. En cualquier caso, probablemente éste sea uno de los primeros motores sobrealimentados documentados.

Lo que sí es seguro es que Zoller presentó su patente en otros países, como Francia; ello puede comprobarse consultando el texto de Ventou-Duclaux (1912), en el que se recogen los principios de los motores de dos tiempos. Al final del libro aparece un listado de patentes francesas relativas a diversas invenciones relacionadas con motores de dos tiempos; en la página 125 de dicho texto aparece citada la patente francesa FR 424 835 solicitada por Zoller el 13 de enero de 1911 (es decir, el mismo día que fue presentada la patente española ES 49 638) y cuyo título coincide plenamente con la mencionada patente española. Además, en las páginas 104 y 105 del libro de Ventou-Duclaux, se dedican dos párrafos a describir brevemente la patente francesa de Zoller. Ventou-Duclaux expone en dichas páginas:

«El motor Zoller (patente número 424835 de 13 de enero de 1911) es un verdadero turbo-compresor que comprime el aire o la mezcla gaseosa empleada para la evacuación de los gases quemados. El empleo de un turbo-compresor elimina el inconveniente de la bomba de pistón que se encarga de proporcionar una presión constante cualquiera que sea la velocidad del cigüeñal.»

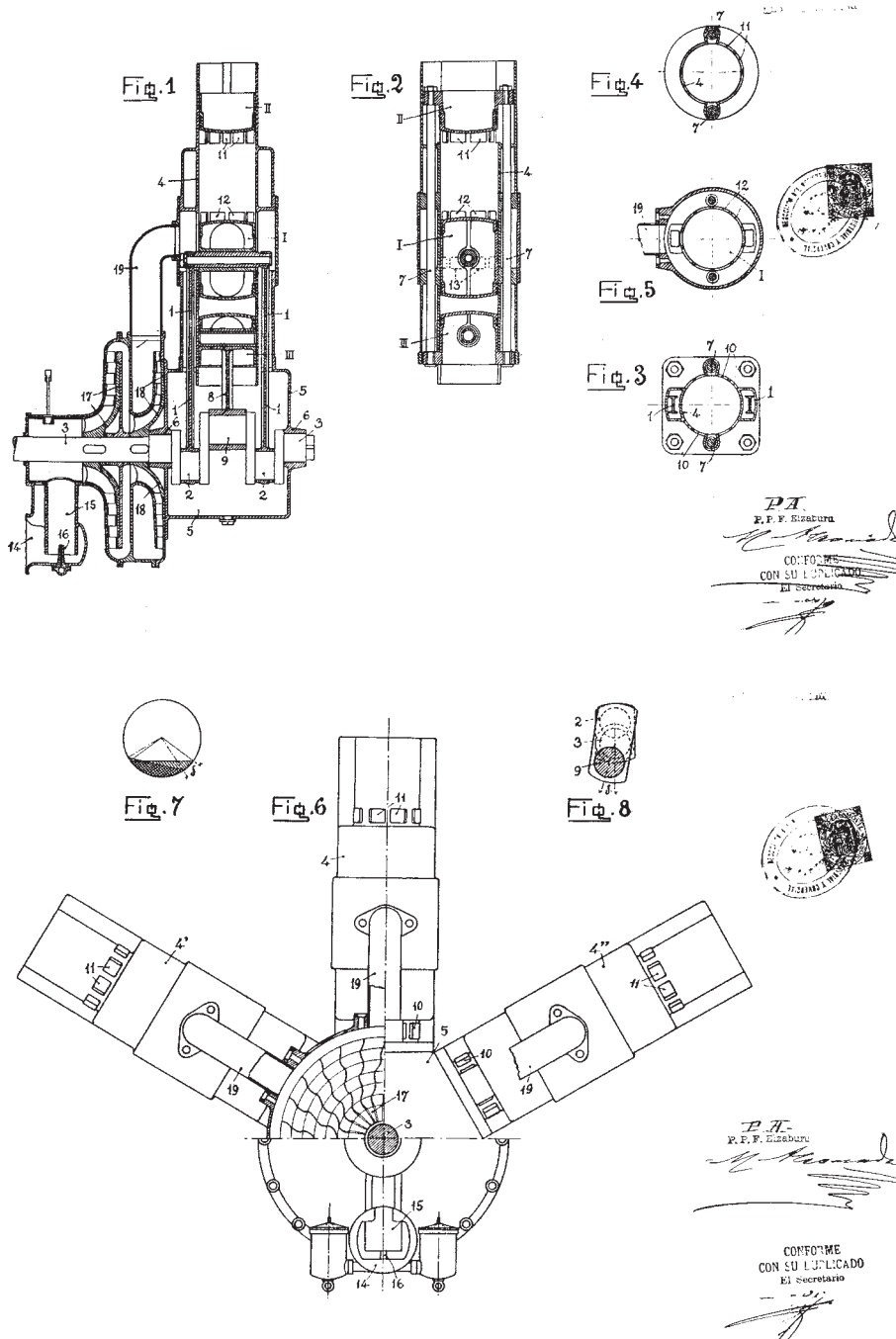


Figura 73.—Dibujos del motor sobrealimentado de Zoller, patente ES 49 638 de 1911 (OEPM, Madrid)

«Con el turbo-compresor la presión final del aire de barrido aumenta al mismo tiempo que la velocidad angular que se comunica al cigüeñal. A velocidades elevadas, la presión del aire es mayor y el barrido se efectúa más rápidamente. El Sr. Zoller estima que es preferible situar el turbo-compresor entre el carburador y el motor, porque así se obtiene una mezcla gaseosa más homogénea debido al mezclado y a la elevación de temperatura que súbitamente se produce.»

Se comprueba así que estas características son las mismas que las descritas para el caso de la patente española ES 49 638 anteriormente descrita. Por ello puede afirmarse que, hasta la fecha, este motor de Zoller es uno de los primeros motores sobrealimentados que se encuentra documentado, aunque no se tenga constancia real sobre su funcionamiento.

La actividad de Zoller como inventor tiene continuidad en la patente española ES 54 569 *Un motor de combustión interna de dos tiempos, con compresor rotativo para el aire o mezcla de barrido*, solicitada el 28 de diciembre de 1912, es decir, casi dos años después que la anterior.

En esta invención Zoller explica que el objeto de la invención es la aplicación en motores de dos tiempos de un compresor rotativo para el aire o la mezcla de barrido en vez de la bomba de émbolo. Las figuras 74 a 76 muestran los diversos dibujos de esta patente de Zoller. En ellas puede apreciarse el bloque motor 1 junto los conductos de admisión 7 y escape 8. El conducto 7 puede comunicar con el carburador o con la atmósfera; en este caso sí existe una bomba de combustible que inyecte el combustible directamente a los cilindros.

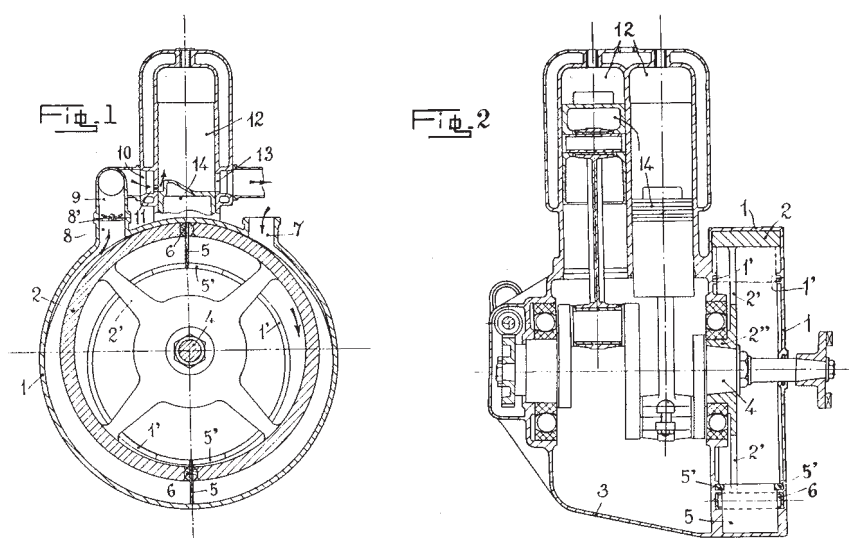


Figura 74.—Dibujos de la patente de Zoller ES 54 569 solicitada en 1912 (OEPM, Madrid)

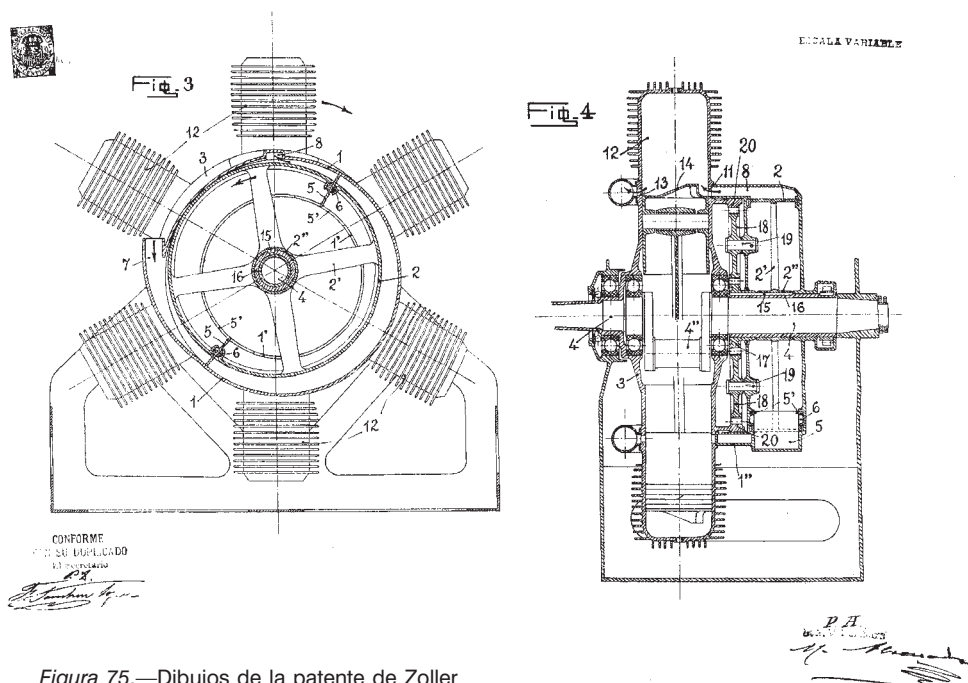


Figura 75.—Dibujos de la patente de Zoller
ES 54 569 solicitada en 1912 (OEPM, Madrid)

Cuando la corona 2 es accionada por el cigüeñal del motor, arrastra en su movimiento los álabes 5, debido a la excentricidad de la corona, actúan como si fuesen émbolos aspirando el aire desde el conducto 7 hacia el 8 para de ahí enviar el fluido a los cilindros del motor. La compresión experimentada por el fluido cuando un ábabe (por ejemplo el 5x) pasa sucesivamente por las posiciones I, II, III, ... puede indicarse por las curvas I, II, III, ... que aparecen en el diagrama polar 6, figura 76.

La anterior evolución de la presión también puede verse en el diagrama numerado como 7 en la figura 76. Si cuando el ábabe 5x se halla en la posición III se produce la apertura de la lumbrera de admisión 11 por el descenso del pistón 14 en uno de los cilindros 12, el aire o la mezcla de barrido comprimidos por el compresor penetra en el cilindro correspondiente y se efectúa el barrido. Por ello, la curva que indica el grado de compresión del fluido de barrido, en lugar de seguir subiendo (III, III', ...) —dibujo 7 de la figura 76— desciende siguiendo la curva III, IV, V, ... en correspondencia con las posiciones III, IV, V, ... del ábabe 5x.

El diagrama 8 de la figura 76 representa la evolución de la presión en un motor de dos tiempos entre el escape y la admisión. La curva de presiones, comprendida entre las ordenadas x e y, durante la fase de descarga es semejante a la curva de descarga del compresor comprendida entre las ordenadas III, V del diagrama 7. Escogiendo convenientemente el calado del compresor con relación al cigüeñal se puede hacer la regulación de manera que el diagrama del compresor se superponga al del motor

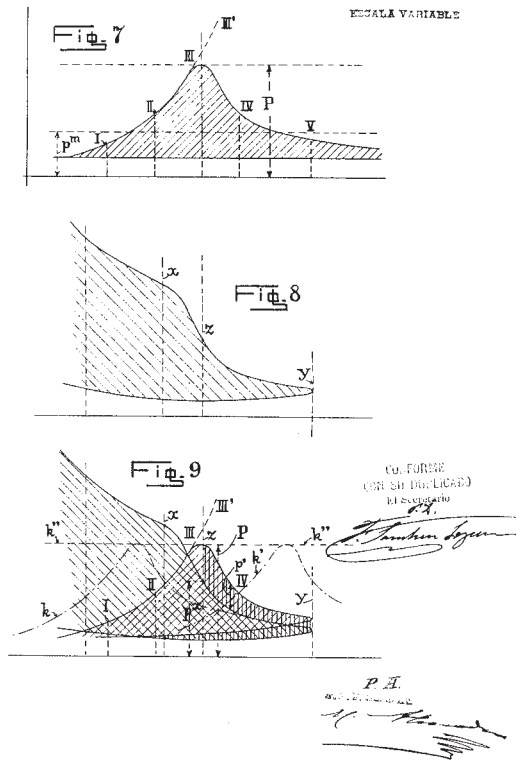
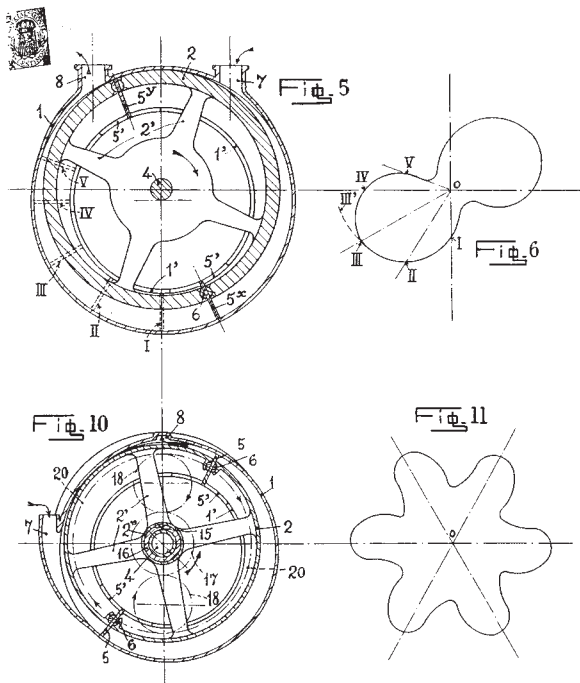


Figura 76.—Dibujos de la patente de Zoller ES 54 569 solicitada en 1912 (OEPM, Madrid)



como puede apreciarse en el diagrama 9. Es decir, en el momento de apertura de la lumbrera de admisión 11 con la consiguiente admisión en el cilindro, el valor de la presión del aire barrido en el compresor p , es superior a la presión en el interior del cilindro p^x . A continuación la presión descenderá tanto en el cilindro como en el compresor siguiendo las curvas indicadas, aunque la presión en el compresor permanecerá superior a la que hay en el cilindro en una cantidad casi constante p' . Es por ello que el barrido comenzará tan pronto como se produzca la apertura de la lumbrera de admisión de cada cilindro y continuará provocando regularmente la expulsión de los productos de combustión.

Desgraciadamente, y como en la patente anterior de Zoller, sólo se pagó una anualidad y la puesta en práctica no está certificada, por lo que la patente caducó el 1 de enero de 1914. No obstante, considerando los razonamientos técnicos dados en la descripción, parece que la configuración descrita en esta patente posee unos sólidos fundamentos técnicos.

En el mencionado libro de Ventou-Duclaux (1912), pp. 101-104, se plantea la problemática del barrido en los motores de dos tiempos de la época, mostrándose varias patentes francesas que proponen en algunos casos el empleo de ventiladores para facilitar la renovación de la carga. Por ello, se concluye que este problema debió ser de bastante actualidad a principios de la década de 1910.

La última patente que describe un motor sobrealimentado es la ES 53 966 *Una disposición perfeccionada para aplicar los turbo-compresores o ventiladores de alta presión á la producción del aire comprimido que se necesita para el funcionamiento de los motores de explosión o de combustión interna*, solicitada el 30 de septiembre de 1912 por la empresa francesa *Société Anonyme des Etablissements Delaunay Belleville*. Por desgracia, la descripción realizada en este documento es muy exigua, y en ella sólo se indica de forma muy somera que la disposición de turbocompresores en motores de dos tiempos facilita el proceso de barrido. El documento carece de dibujos ilustrativos, por lo que su contribución técnica es muy limitada. Sólo fue abonada una anualidad de esta patente y su puesta en práctica no está acreditada, por lo que caducó el 1 de enero de 1914.

El intento de desarrollar de motores sobrealimentados debió ser bastante común en los primeros años de la década de 1910. Incluso Marc Birkigt solicitó alguna patente, como la francesa FR 455 998, en la que proponía un motor de estas características, donde la compresión era realizada por un compresor de dos cilindros en línea acoplados con el cigüeñal, tal y como puede apreciarse en la figura 77. Sin embargo, y según comenta Polo (1994), pp. 428-432, estos motores fueron abandonados ya que el acoplamiento del compresor provocaba roturas del cigüeñal. No se tiene constancia que esta invención, patentada en Francia y que gozaba de una prioridad belga de fecha 26 de marzo de 1912, fuese solicitada en España.

Con esta revisión de las patentes que describen los que posiblemente sean los primeros motores sobrealimentados documentados, finaliza este estudio realizado sobre las patentes españolas relativas a motores de combustión interna alternativos.

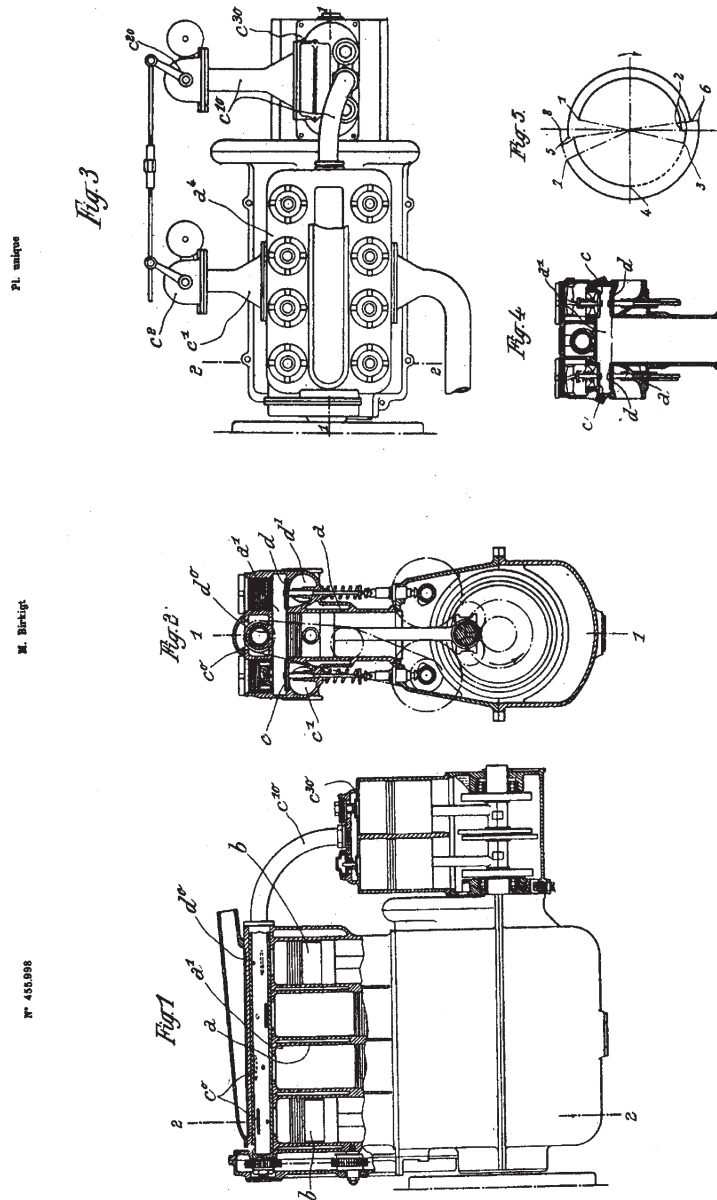


Figura 77.—Dibujos del motor sobrealimentado de Birkigt de 1912
Fuente: patente francesa FR 455 998, solicitada el 26 de marzo de 1913. INPI, París.

4. EL ARRANQUE DE LAS TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS

A lo largo de los capítulos 2 y 3 se han visto las invenciones patentadas más importantes sobre máquinas de vapor alternativas y motores de combustión interna alternativos respectivamente. Con el presente capítulo finaliza este análisis técnico haciendo una revisión general de los tiempos primitivos de las turbomáquinas térmicas, cuyo desarrollo inicial estuvo caracterizado básicamente por la aparición de las primeras turbinas de vapor.

El capítulo empieza con una breve revisión de los primeros intentos por conseguir una turbomáquina térmica, algo que estaba más relacionado con el deseo que con la realidad como puede comprobarse en la patente británica de Barber de 1791 o en diversos privilegios españoles de mediados del siglo XIX. Tras ello se analizan las primeras turbinas de vapor construidas y llevadas a la práctica por Parsons, De Laval, Rateau y Curtis, entre otros, estudiando tanto los cambios radicales como los avances técnicos menores relacionados con esta línea tecnológica.

El capítulo finaliza con una breve introducción a las primeras propuestas sobre turbinas de gas, que no fueron un desarrollo real hasta casi mediados del siglo XX, cuando la Aerodinámica y la Metalurgia avanzaron lo suficiente como ciencias y se pudieron solventar algunos problemas fundamentales en los turbocompresores y en los materiales. No obstante hubo diversos intentos por conseguir máquinas de estas características.

4.1. Las infructuosas tentativas iniciales

Sin considerar las eolípilas egipcias o el dispositivo de Branca, mencionados a principios del capítulo 2, un primer antecedente de las actuales turbomáquinas térmicas se encuentra en la patente británica GB 1 833 A. D. 1791 de John Barber. Algunos autores, como Cummins (1989), pp. 52-54, han visto en este dispositivo un precursor de las actuales turbinas de gas; sin embargo, a la vista de los conocimientos actuales, cabe plantear dudas razonables sobre el funcionamiento de este dispositivo. La figura 78 ilustra el dibujo de esta invención que aparece en la mencionada patente.

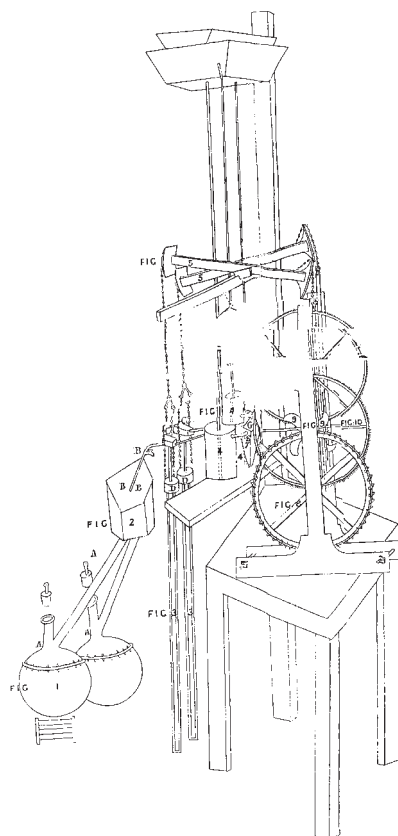


Figura 78.—Dibujo de la máquina de Barber, patente GB 1 833 A. D. 1791 (TPOUK, Newport)

La máquina descrita empleaba como combustible un gas obtenido por la combustión de carbón, madera o aceite, que se hacía en dos calderas para que una siempre estuviese operativa (como en la máquina de Savery). Los gases procedentes de esta combustión se mezclaban en una cámara de combustión junto con aire atmosférico comprimido mediante un *compresor alternativo*; en esta cámara de combustión se producía la inflamación de la mezcla gracias a una llama. En ese momento se producía la expansión de los gases, que servían para mover un volante en forma turbina, y de ahí podía obtenerse energía mecánica.

Barber también describe en su patente la posibilidad de inyectar vapor de agua en la cámara de combustión para aumentar la velocidad y el gasto másico de los gases de escape; con ello también pretendía reducir la temperatura de combustión en el interior de la cámara, para evitar que sus paredes y los conductos pudieran llegar a fundirse. Este hecho muestra una de las limitaciones prácticas de esta invención, y es que ni la Metalurgia ni la Termodinámica estaban lo suficientemente desarrolladas en esa época para dar respuestas a los problemas prácticos que se planteaban con esta má-

quina. Aun así, debe destacarse el carácter innovador del pensamiento de John Barber, que prácticamente se adelantó en un siglo y medio a la concepción presente de las turbinas de gas.

Cuando Barber presentó su solicitud de patente en el Reino Unido, en España todavía no se había instaurado un proceso reglado de protección de las invenciones, y éstas sólo podían protegerse si el Rey otorgaba el correspondiente privilegio. Sin embargo, una vez establecida la primera legislación española sobre Propiedad Industrial en 1826, se encuentran solicitudes de patentes (mejor dicho, de privilegios reales) sobre dispositivos que podrían considerarse, de algún modo, antecedentes de las primeras turbomáquinas, si bien la realidad es que estos ingenios se encontraban muy próximos a la máquina que Giovanni Branca propuso en 1629 y de la que se hizo mención en el epígrafe 2.1.1.

Una de estas propuestas está descrita en el privilegio real ES 1 467 PR solicitado el 3 de agosto de 1856 por Charles Gray, mecánico británico residente en Cartagena, y del que se hizo referencia al principio del epígrafe 2.2.4. En este privilegio se describe una caldera, regulada mediante una serie de conductos y válvulas, que generaba vapor para ser enviado a una rueda de turbina, cuyo movimiento se transformaba en energía mecánica. Llama la atención que el solicitante planteaba la idea de que el vapor, una vez expandido y tras mover la turbina, se recogiese condensado y se enviase nuevamente a la caldera con la ayuda de una bomba; sin embargo, la información proporcionada es muy vaga y el privilegio caducó rápidamente sin llegar a ponerse en práctica, lo que hace pensar que no tuvo vida comercial alguna.

Otra invención muy parecida a la anterior es la descrita por Escolástico García en su privilegio real ES 1 966 PR, solicitado el 27 de octubre de 1859. García, que residía en Madrid, se identificaba como Químico, aunque no se sabe si tenía titulación alguna. En su privilegio describió un dispositivo conceptualmente igual al de Gray, si bien en este caso no quedaba recogida la opción de condensación del vapor expandido y su reutilización. El privilegio caducó el 1 de marzo de 1861 sin que su puesta en práctica esté acreditada, lo que parece indicar el mismo éxito que en el caso anterior.

La idea que subyacía en estas últimas invenciones era conseguir energía mecánica de forma similar a la que se obtenía con los saltos hidráulicos, pero empleado vapor en vez de una caída de agua. Debieron pasar varios años hasta que a un joven ingeniero británico, de nombre Charles Algernon Parsons, se le ocurrió cómo obtener energía mecánica útil de la expansión del vapor.

4.2. Charles A. Parsons y las primeras turbinas de reacción

Charles Algernon Parsons nació en Londres el 13 de junio de 1854; fue el último de seis hermanos y su padre fue Presidente de *The Royal Society*, lo que puede explicar el interés del joven Charles hacia la ciencia y la técnica, dado el ambiente en el que creció. En 1877 se graduó en ingeniería mecánica en el St. John's College de la Universi-

dad de Cambridge; falleció en Kingston, Jamaica, el 11 de febrero de 1931. Uno de los problemas que más le interesó fue el de la recuperación de la energía cinética de los fluidos gaseosos, por lo que intentó desarrollar una turbina basándose en la idea de los saltos de presión de las turbinas hidráulicas. En 1884 propuso una turbina de vapor en la que se fraccionaba la caída de presión, realizándose una expansión de forma continua en una serie de *coronas* fijas y otras móviles dispuestas alternativamente; la figura 79 muestra algunos dibujos de la patente británica de Parsons.

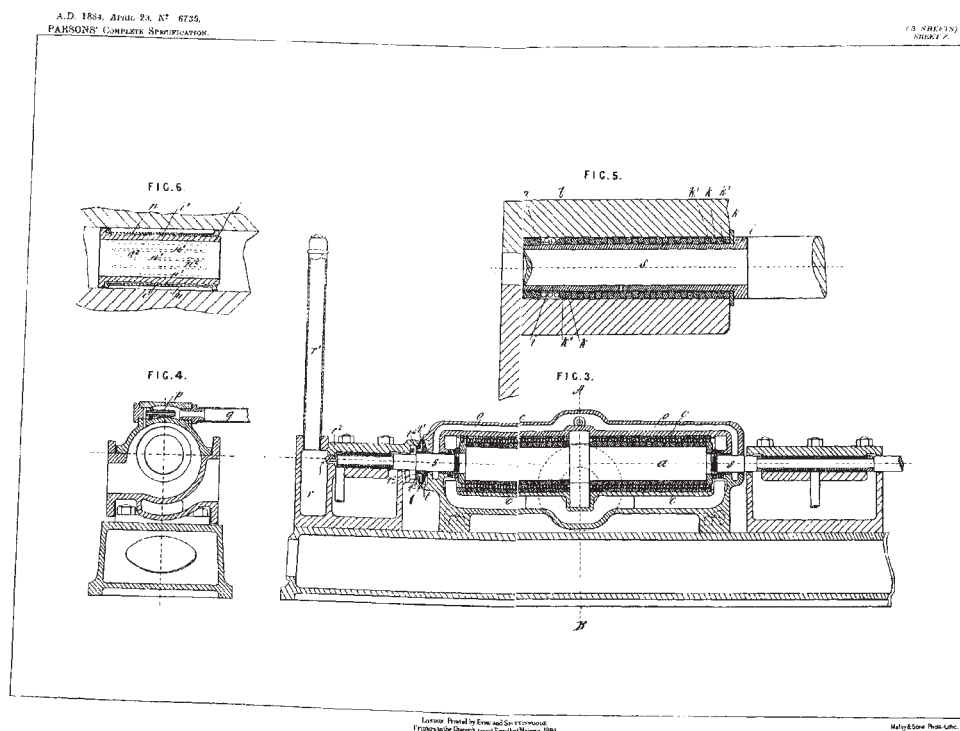


Figura 79.—Vista seccionada de la turbina de Parsons en su patente británica de 1884 (TPOUK, Newport)

Esta máquina de Parsons puede considerarse, hasta la fecha, como la primera turbina de reacción descrita en un documento público. La invención fue registrada en Reino Unido con las patentes GB 6 734 A. D. 1884 y GB 6 735 A. D. 1884, siendo la primera de ellas referente al generador eléctrico accionado por la turbina, mientras que la segunda se refería a la máquina térmica en sí; no obstante, en el primero de esos documentos también se describen elementos de dicha turbina. En la obra de Daumas *et al.* (1978), pp. 89-91, puede encontrarse más información sobre esta máquina. En ese texto se especifica que los álabes del rotor se ubicaban sobre la periferia de un disco forjado en acero. La admisión de vapor se hacía por el centro de la turbina para equili-

brar la máquina, que tenía quince etapas; el régimen de giro se estableció en 18.000 rpm y carecía de condensador. También se indica que los primeros datos técnicos sobre esta turbina no se hicieron públicos hasta 1888: la máquina consumía 23,4 kg de vapor por caballo y hora de funcionamiento.

En el Archivo Histórico de la OEPM hay pruebas del talento creador del ingeniero británico. En el periodo objeto de este estudio, Parsons registró en España cerca de cincuenta invenciones, la mayoría de las cuales estaban relacionadas con desarrollos o perfeccionamientos en las turbinas de vapor; a continuación se hace referencia a algunas de sus invenciones registradas en España.

La primera patente relativa a turbomáquinas térmicas presentada por Parsons en España (ES 8 898 en noviembre de 1888), fue *Mejoras en el procedimiento de aplicación de la presión de un fluido elástico de motores rotatorios de todas clases tales como bombas, generadores eléctricos y demás análogos*. Como puede apreciarse en la figura 80, la patente describe una turbina con tres escalonamientos **bb**, **b¹b¹**, **b²b²**, de manera que el vapor que había evolucionado inicialmente por **bb** pasaba después a la siguiente etapa **b¹b¹** y de ésta pasaba a su vez a la última **b²b²**. Todo hace pensar que esta invención correspondía a un desarrollo posterior a la primera máquina de Parsons, pero que se registró en España como su primera patente habida cuenta de los cuatro años transcurridos desde que solicitó las patentes británicas GB 6 734 A. D. 1884 y GB 6 735 A. D. 1884. La patente ES 8 898 fue cedida en 1890 a Abel Henry y

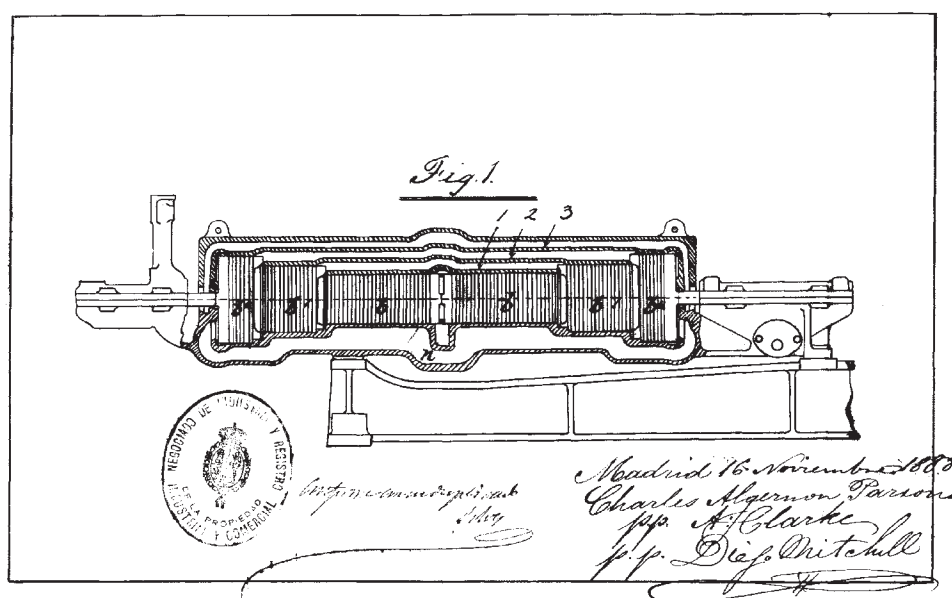


Figura 80.—Uno de los dibujos de la patente de Parsons ES 8 898, solicitada en 1888 (OEPM, Madrid)

John B. Fourneaux y caducó el 20 de agosto de 1891 tras satisfacer tres anualidades y sin acreditar la puesta en práctica.

La siguiente patente de Parsons presentada en España, la ES 8 901, fue solicitada el 16 de noviembre de 1888, simultáneamente con la anterior; el contenido de este documento se corresponde con las dos patentes británicas previamente citadas. Recuérdese que según el texto de Dumas *et al.* (1978), como se ha indicado, fue en el año 1888 cuando se hicieron públicos los resultados de su turbina de 1884. Resulta llamativo el considerable lapso de tiempo existente entre los depósitos de las patentes en ambos países, lo que no resulta fácil de entender; también es llamativo que en España se presentase una sola patente si se trataba de dos invenciones (la máquina eléctrica y la térmica), lo que puede entenderse como una estrategia para pagar menos tasas. En las figuras 81 y 82 pueden verse algunos de los dibujos de esta patente.

En dichas figuras puede observarse cómo sobre el eje s de la turbina había montados una serie de álabes b , b^1 , b^2 pertenecientes al rotor y otros álabes f , f^1 , f^2 del estator que se encontraban dentro de la carcasa c . Los álabes del estator f , f^1 , f^2 estaban inclinados en direcciones opuestas a los álabes del rotor b , b^1 , b^2 . Aunque la configuración descrita en esta patente establecía que los álabes eran rectos, también afirmaba que podían emplearse álabes con otras geometrías. El vapor entraba en la

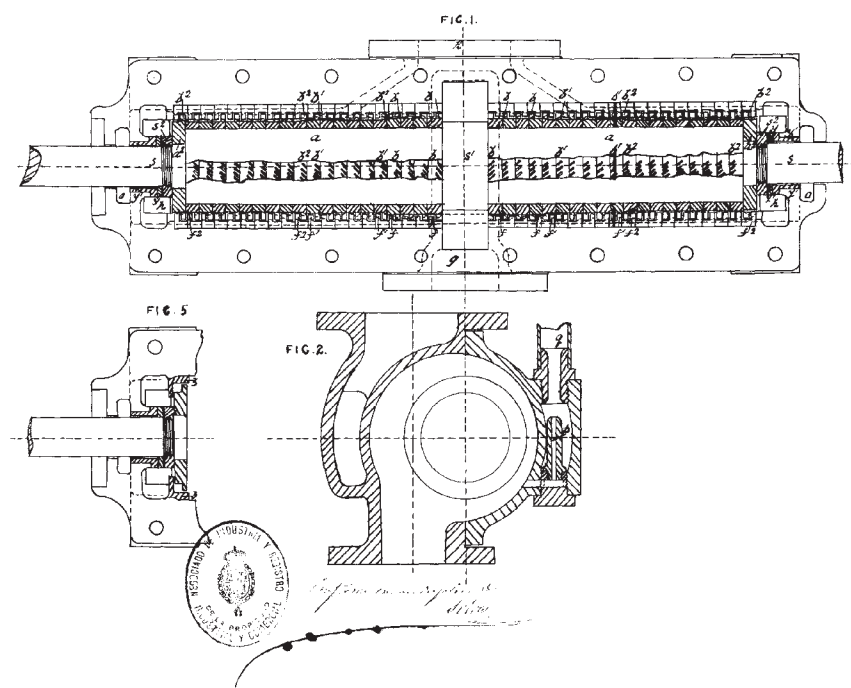


Figura 81.—Algunos dibujos de la patente ES 8 901 de Parsons, solicitada en 1888 (OEPM, Madrid)

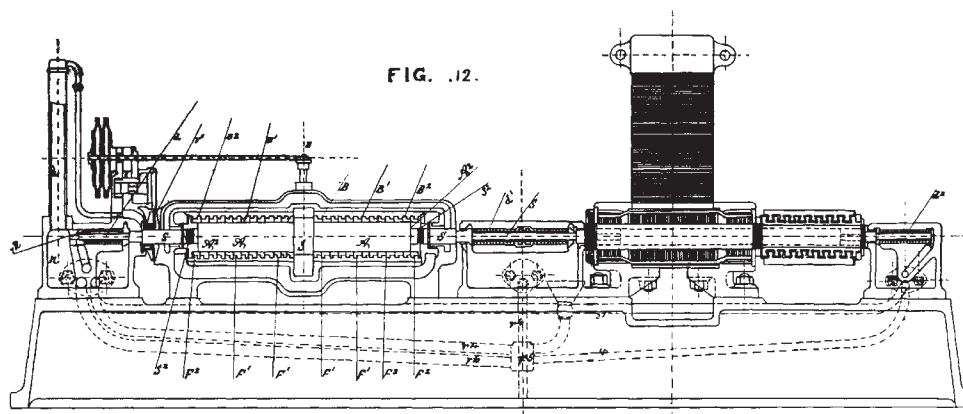


Figura 82.—Dibujo de la patente de Parsons ES 8 901, presentada en 1888, donde se aprecia el generador eléctrico (derecha) movido por la turbina de vapor (izquierda) (OEPM, Madrid)

turbina mediante el conducto central **g** y se dirigía hacia cada uno de los extremos de la turbina moviendo a su paso los álabes del rotor **b**, **b**¹, **b**², y sufriendo un cambio de dirección cuando eran guiados por los álabes del estator **f**, **f**¹, **f**² hasta llegar a los conductos de agotamiento **h** **h**. Parsons indica que los álabes del rotor **b**, **b**¹, **b**² eran relativamente delgados, pero según se iba avanzando en las últimas etapas aumentaban en profundidad por series, siendo **b**¹ más profundo que **b** y **b**² más profundo que **b**¹ (sic). Del mismo modo, hacía otras consideraciones sobre la geometría de la cascada:

«También se verá con referencia al dibujo que donde el vapor entra, las paletas están colocadas a un ángulo mayor de donde sale. De ahí que a medida que disminuye la presión del vapor, encuentra series de paletas de un área mayor y mayor viaje, estando calculado el aumento de tal modo que la velocidad del vapor sea adecuada al juego de paletas por entre las cuales ha de pasar. Por este medio se regulan las graduaciones de presión. Debe entenderse que al correr el vapor hacia los extremos respectivos del motor, su acción sobre las paletas **b**, **b**¹, **b**² tendrá por resultado el comunicar un movimiento rotatorio rápido al árbol **s**.»

A pesar de estas indicaciones, el tamaño de los dibujos originales impide ver con claridad las consideraciones geométricas planteadas. Probablemente la referencia dada respecto al sobredimensionamiento de los álabes de las últimas etapas fuese debida a los problemas de expansión que se producía cuando el vapor entraba en zona bifásica que, como se sabe, son básicamente dos: el menor rendimiento debido a la disminución del trabajo específico de la masa de vapor, y la erosión de los álabes por las gotas de agua que se van condensando. Para más información sobre estos efectos puede consultarse el texto de Muñoz Torralbo *et al.* (2001), pp. 211-213, y el de Kostyuk & Frolov (1988), pp. 105-107.

Como se ha dicho, este documento no sólo describe la turbomáquina térmica desarrollada por Parsons, sino que en él también se dan detalladas referencias sobre el

generador eléctrico movido por aquélla, tal y como se comprueba en la figura 82. Este hecho viene a mostrar la existencia, una vez más, de documentos con falta de unidad de invención, pues (al menos desde una perspectiva de la Propiedad Industrial de principios del siglo XXI) en la misma patente no pueden describirse dos invenciones como las que aparecen en la patente ES 8 901, ya que en principio una máquina eléctrica y una turbomáquina térmica no integran una invención con un único concepto inventivo general. La patente ES 8 901 caducó el 9 de octubre de 1891, tras pagar tres anualidades y sin acreditar su puesta en práctica; esto hace pensar que su vida comercial en España, si existió, fue efímera.

Ya se ha comentado que Parsons presentó numerosas patentes en el periodo objeto de este estudio, por lo que hacer un detallado análisis de las mismas es un trabajo que queda fuera de este ámbito; sin embargo, se han querido destacar otras invenciones presentadas por el ingeniero británico que sean muestra de su capacidad de innovación. Una de estas patentes es la ES 22 488, presentada el 11 de abril de 1898 y titulada *Mejoras en turbinas de vapor para la marina*. Debe recordarse que Parsons desarrolló en 1894 la primera propulsión naval mediante turbina de vapor a bordo del buque *Turbinia*³⁴; esta planta propulsora consistía en una turbina con un solo eje, que a 2.400 rpm desarrollaba 960 HP. Sin embargo se produjeron problemas en las primeras pruebas, ya que debido al régimen de giro de las hélices (unas 18.000 rpm) se producía el fenómeno de cavitación, lo que hacía que las velocidades del buque fuesen inferiores a 20 nudos. Este problema se solventó operando más turbinas (tres) trabajando a menores regímenes de giro, y más hélices (tres por eje); de esta manera se consiguieron velocidades próximas a los 35 nudos, alrededor de un 10% más que la velocidad máxima alcanzada por los buques de la época.

El objetivo de la invención descrita en la patente ES 22 488 era proporcionar economía en el consumo de vapor en turbinas a igualdad de potencia y régimen de giro. Para ello lo que proponía Parsons era un sistema de turbinas que accionaban varios ejes del buque (tres o cuatro); estas turbinas estaban acopladas entre ellas mediante conductos y válvulas, tal y como se aprecia en la figura 83, de manera que era posible que funcionasen en serie o en paralelo, según las necesidades de funcionamiento. Cuando trabajaban en serie, el vapor expandido en una de ellas se iba transmitiendo a otra de menor presión, y así sucesivamente, como si se tratase de «escalonamientos de turbinas», de manera que el vapor, tras expandirse en la última turbina, se conducía al condensador. En paralelo cada grupo operaba de una forma independiente.

En la configuración de la figura 83 se aprecian ocho turbinas A, A¹, B, B¹, C, C¹, D y D¹ montadas sobre ejes de dos en dos, de manera que A y A¹ actúan sobre el eje 1, B y B¹ sobre el eje 2, C y C¹ sobre el eje 3 y D y D¹ sobre el eje 4. Esta disposición permitía las siguientes posibilidades de funcionamiento: operando en serie, el vapor proce-

³⁴ En la página web de *The American Society of Mechanical Engineers* (según su URL del mes de agosto de 2004 <http://www.asme.org/history/brochures/h073.pdf>) puede encontrarse un documento sobre la historia de este buque.

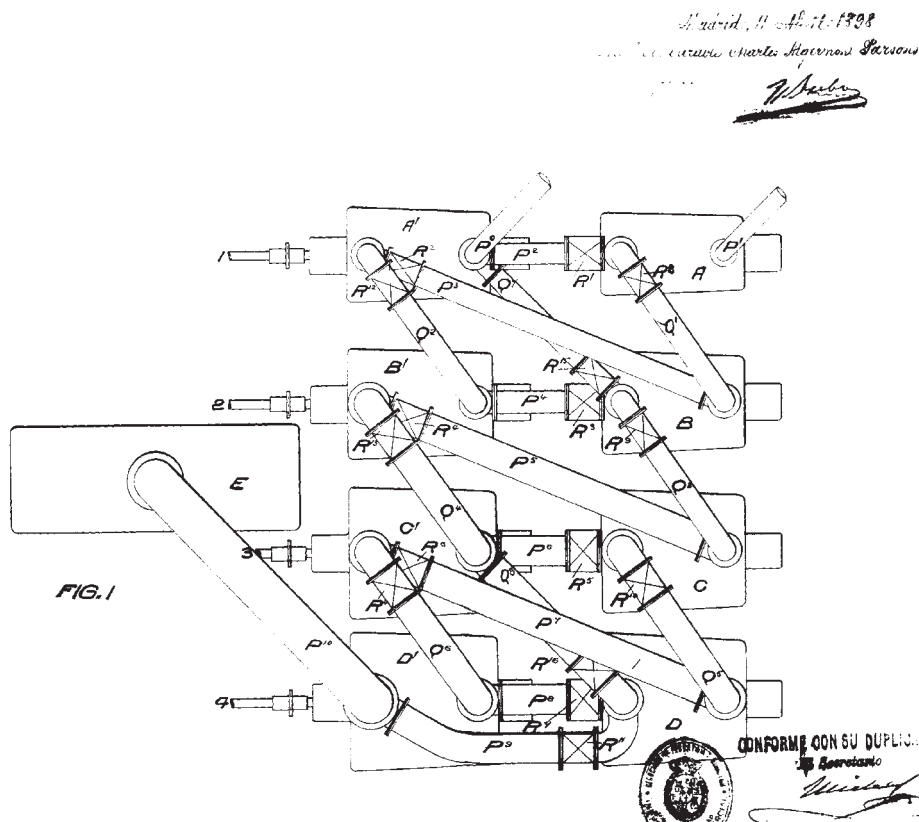


Figura 83.—Dibujo de la patente de Parsons ES 22 488, del año 1898 (OEPM, Madrid)

dente de la caldera pasaría de forma continua por los grupos de turbina A, A', B, B', C, C', D y D' para después ir al condensador. Trabajando en paralelo el vapor se fraccionaba para entrar independientemente en cada una de las turbinas A, A', B, B', C, C', y D, D', y después de cada expansión parcial el vapor se encaminaba al condensador. Entre estas dos formas había numerosas posibilidades de operación, que Parsons detalla en la patente; para ello se hacía que el vapor pasase por los distintos tubos P, Q que se aprecian en la figura 83, mediante las diversas válvulas R.

La patente ES 22 488 caducó por fenecimiento el 1 de enero de 1919, y su puesta en práctica fue certificada el 9 de mayo de 1900, lo que hace pensar que esta invención debió gozar de éxito comercial.

Otro documento que se quiere citar para mostrar el trabajo de este ingeniero británico es su patente ES 57 680, *Perfeccionamientos en la utilización del vapor en las turbinas y demás motores a vapor*, presentada el 9 de marzo de 1914. Con esta invención Parsons pretendía solventar los problemas de corrosión que el vapor ejerce sobre los

diversos componentes de las turbinas de vapor, especialmente en las instalaciones de turbinas marinas. Parsons indica que dicha corrosión se produce casi por completo por la sal, principalmente en forma de cloruros de sodio y magnesio, que arrastra consigo el vapor procedente de las calderas. La corrosión tiene su origen en una acción química causada por las sales, entre el acero y el hierro fundido del rotor y la envolvente y el latón o cobre de los álabes y *listones compensadores* (sic). Esta corrosión está prácticamente circunscrita a los álabes de las primeras etapas, que son las que establecen un primer contacto con el vapor.

Para solventar esta situación, propuso el empleo de un filtro por el que pasaría el vapor antes de ser admitido en la turbina (o en otro motor), de modo que el vapor estuviese en contacto con metales de actividad análoga a la de los elementos de la turbina, de manera que la actividad corrosiva se realizara en dicho filtro. Un dibujo de este filtro puede verse en la figura 84.

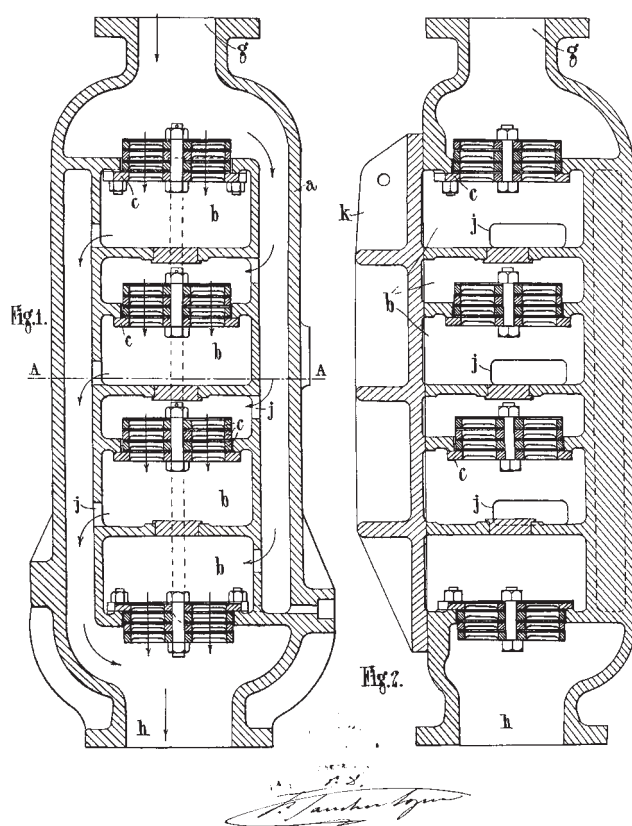


Figura 84.—Filtros anticorrosión descritos en la patente de Parsons ES 57 680, año 1914 (OEPM, Madrid)

En dicha figura se aprecia una forma de realización práctica de la invención preconizada, donde un filtro *a* se coloca en el conducto por el cual entra el vapor a la turbina. El filtro consiste en un número de compartimentos *b* por los cuales circula el vapor. Éste entra por *g* y sale por *h* según el trayecto indicado por las flechas, estando practicados en los diferentes compartimentos unos orificios *j* para el paso del vapor. En cada compartimento había dispuestas unas paredes perforadas *c* sobre las cuales iban montadas unas planchas de latón *d* y de acero *e*, alternativamente, que también estaban perforadas. La superficie de acción de estas planchas perforadas estaba regulada por una o más planchas de encauzamiento, estando dispuesta en el costado del filtro *a* una tapa amovible *k*. Al pasar el vapor por cada uno de los compartimentos del filtro se ponía en contacto con planchas alternas hechas del mismo metal que los elementos de la turbina. Con ello se conseguía que la acción corrosiva del vapor sobre dichos metales tuviese lugar en el filtro, quedando neutralizadas las sales que producían la corrosión y que arrastraba consigo el vapor antes de que llegasen a los elementos que integraban la turbina. De esta manera el vapor resultaba químicamente inerte sobre los órganos de la turbina.

Esta patente caducó el 1 de enero de 1925 tras abonar diez anualidades y su puesta en práctica está certificada el 10 de mayo de 1917, por lo que es susceptible pensar que la invención gozó de cierto reconocimiento comercial.

La obra de Parsons como ingeniero es muy vasta; en el texto de Parsons *et al.* (1986) se puede encontrar más información sobre las primeras invenciones del ilustre ingeniero británico. No obstante, más adelante se comprobará que su ámbito de innovación no quedó reducido a las turbinas de reacción.

4.3. Las turbinas de acción de Gustaf De Laval

En el epígrafe anterior se ha hecho una revisión de las primeras turbinas de reacción desarrolladas por el británico Parsons, aunque Kostyuk & Frolov (1988), p. 9, apuntan que el ingeniero sueco Gustaf De Laval desarrolló en 1883 una turbina de acción en la que la expansión del vapor se realizaba en una única etapa. Lamentablemente en el Archivo Histórico de la OEPM no se ha encontrado esta invención de De Laval, por lo que la referencia de Kostyuk & Frolov no puede ser ilustrada con la correspondiente patente española.

Carl Gustaf Patrik De Laval nació en Orsa, Dalarna (Suecia) en 1845, en el seno de una familia descendiente de franceses que se instalaron en Suecia durante el siglo xvii. Estudió en el Instituto Técnico de Estocolmo y en la Universidad de Uppsala (Suecia), donde se graduó como ingeniero; falleció en 1913. La importancia de De Laval trasciende a su invención de 1883, pues la turbina de acción puede ser comparada en cierto modo, y salvando las diferencias técnicas, a la propuesta de Branca de 1629 o, hidráulicamente, a la turbina Pelton. Años más tarde, en 1888, De Laval desarrolló una turbina de acción similar a la de 1883, donde la turbina era alimentada por una tobera

convergente-divergente que permitía optimizar las condiciones de salida del vapor. Esta invención tampoco fue registrada en España, pero sí ha quedado constancia de ella a través de la patente belga BE 83 196 presentada el 29 de septiembre de 1888, la patente británica GB 7 143 A. D. 1889 solicitada el 29 de abril de 1889, o la patente de los Estados Unidos US 522 066 presentada el 1 de mayo de 1889. En lo que a este estudio se refiere, se hará mención al documento norteamericano, ya que la información que se da en él es mucho más detallada de la que aparece, por ejemplo, en el documento británico. La figura 85 muestra el dibujo de la patente británica de De Laval, si bien los dibujos son los mismos que los del documento estadounidense.

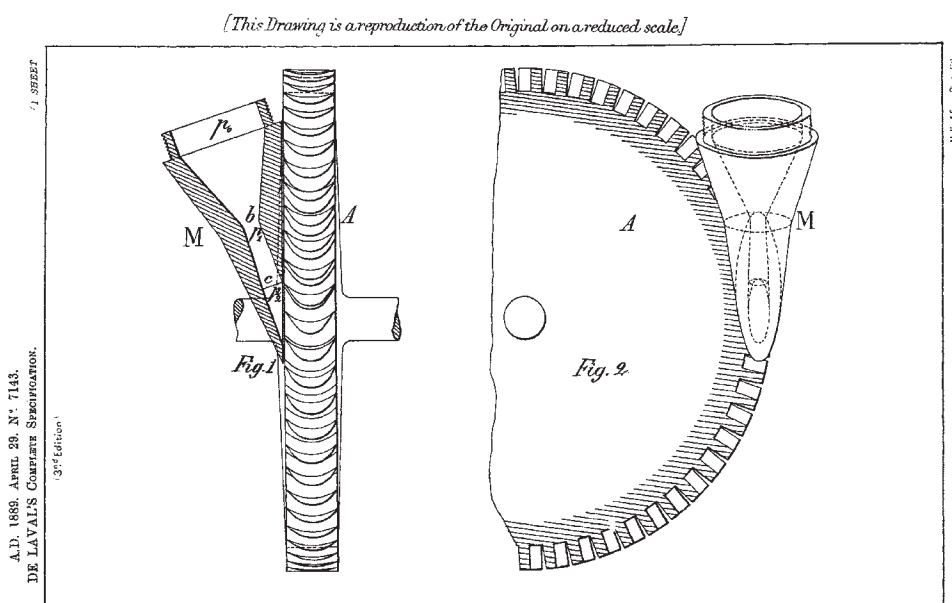


Figura 85.—Dibujos de la turbina de De Laval según aparecen en su patente británica de 1889 (TPOUK, Newport)

Resulta sorprendente que la publicación de la patente US 522 066 esté fechada el 26 de junio de 1894, es decir, algo más de cinco años después de su presentación. Este hecho puede ser muestra del numeroso trabajo existente entonces en la Oficina de Patentes de los Estados Unidos, lo que podía generar atrasos en la publicación de las patentes, como de hecho ocurre actualmente en buena parte de las diversas oficinas nacionales de patentes; otra hipótesis es que el retraso hubiera estado motivado por algún litigio. En la figura 85 se aprecia la disposición de la invención de De Laval, donde una turbina A consta de una serie de álabes sobre los que actúa el vapor procedente de la tobera M.

En dicha figura pueden observarse las distintas secciones de la tobera de descarga del vapor, más ancha en las proximidades de la descarga c a los álabes, que en la gar-

ganta b . De Laval justifica la existencia de la sección b , que ha sido calculada para proporcionar el volumen de vapor necesario para obtener las prestaciones de diseño de la turbina. También indica en el documento americano que estudios realizados por él y otros investigadores demuestran que la máxima expansión posible del vapor circulando por un conducto cilíndrico o convergente corresponde al 57,7% de su presión inicial, de manera que casi la mitad de la presión suministrada al vapor no se convierte en velocidad, resultando unas toberas de muy bajo rendimiento. De Laval indica en su patente de 1889 que es posible expandir el vapor hasta presión atmosférica e incluso alcanzar valores inferiores mediante una tobera divergente, lo que permite así convertir la energía del vapor en energía cinética. Así, De Laval establece que cuando el vapor entra a la tobera M lo hace con una presión P_0 y al llegar a la garganta b tiene una presión P_1 que como máximo es:

$$P_1 = 0,577 \cdot P_0$$

En la parte divergente, aguas abajo de la garganta, la presión se reduce debido a la expansión del vapor, y la velocidad de la corriente aumenta de tal manera que cuando llega al punto de descarga, la presión P_2 se acerca a la atmosférica o a la presión de descarga establecida, de manera que prácticamente toda la presión del vapor se convierte en velocidad:

«En otras palabras, el 57,7% de la presión inicial, que es la que tiene la corriente de vapor en la garganta o punto más estrecho de la tobera, se convierte en velocidad por expansión en la tobera divergente.»

Con esta invención De Laval hace una aportación fundamental para la Mecánica de Fluidos en el estudio de movimientos de fluidos en conductos. Llama la atención una diferencia existente entre el documento estadounidense y el británico, pues en éste se hace referencia a que la expansión realizada en el conducto divergente es isentrópica, hecho del que no se hace ninguna mención en el documento norteamericano; así cuando De Laval habla de la sección divergente de su tobera establece que:

«La tasa de crecimiento de la sección está relacionada con la proporción y distancia entre la sección menor y la mayor, de manera que en el tramo existente entre dichas secciones se produce la expansión isentrópica de una corriente de vapor.»

Este hecho muestra que De Laval había desarrollado su invención con un detallado conocimiento de la problemática física asociada a la evolución de fluidos en conductos y hace pensar que conocía perfectamente las características de su tobera, como la posibilidad de cambio de régimen subsónico a supersónico, o la casuística del bloqueo en la garganta. Vuelve a resultar llamativa la diferencia entre documentos europeos y americanos, lo que hace reforzar la hipótesis de la influencia institucional para una misma invención patentada en diversas naciones. En este caso la patente británica ofrece una información muy exigua, especialmente si se compara con su hermana estadounidense; esta situación hace recordar la dada con las patentes de Otto y Diesel.

Dejando a un lado los documentos extranjeros y volviendo al estudio de las patentes españolas, hay que destacar que De Laval fue un inventor muy fecundo, pues sólo en España solicitó cerca de veinte invenciones, y algunas de ellas no tenían relación con las máquinas térmicas, como la ES 16 121 presentada el 2 de agosto de 1894, *Un aparato para ordeñar ajustándose automáticamente a las mamas*.

La primera patente solicitada por De Laval en España y relacionada con sus turbinas fue la ES 13 592, presentada el 2 de agosto de 1892 y titulada *Instalación de paletas en las turbinas de vapor o de gas*. El objetivo de la invención era obtener álabes resistentes para poder transmitir más potencia a la turbina, y para ello propone que los álabes, en vez de formar un cuerpo con el rotor, puedan fijarse a él de un modo apropiado.

La figura 86 muestra los dibujos correspondientes a esta invención, donde se aprecia que el cuerpo propiamente dicho de la turbina está formado por dos piezas *A* y *B* unidas entre sí mediante un eje *D*, de manera que unas tuercas *C*, *E* fijen el eje a las dos piezas. La cara interna de cada pieza *A*, *B* está vacía en su zona periférica, de manera que al juntar ambas se genera una entalladura donde va alojado el álabe de modo que su raíz presenta una forma *F'* adecuada para acoplarse a dicha entalladura. Para prevenir el desplazamiento radial de los álabes se tallan en las piezas *A* y *B* unas mues-

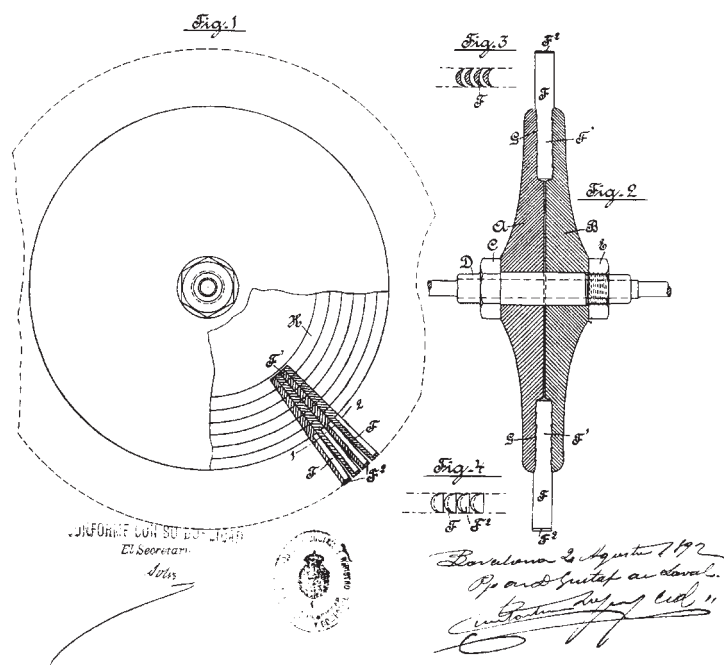


Figura 86.—Dibujos de la patente De Laval ES 13 592, solicitada en 1892, (OEPM, Madrid)

cas G y unas ranuras concéntricas H. Probablemente plantear en 1892 unos álabes con su raíz estriada debió suponer un cambio radical en el estado de la técnica de la época, aunque hoy pueda pasar casi inadvertido por ser algo cotidiano. El certificado de puesta en práctica de esta patente fue expedido el 18 de octubre de 1894, y caducó el 1 de enero de 1907 tras satisfacer catorce anualidades, por lo que cabe imaginar que gozó de una vida comercial considerable.

Otra invención que De Laval registró en España fue la ES 46 527, presentada el 18 de octubre de 1909 y titulada *Un sistema de turbo-motor reversible*. En este caso De Laval presentó la patente conjuntamente con el ciudadano sueco Ernst Elis Fridolf Fagerström. El objetivo de esta invención era una turbina del tipo De Laval de disco único y marcha reversible; este tipo de máquinas tenía su aplicación claramente en la propulsión naval. Quizás en este hecho pueda verse la intención que tenía De Laval por participar en la industria de la propulsión naval, en la que Parsons llevaba claramente la delantera desde 1894. La figura 87 muestra los dibujos de esta invención.

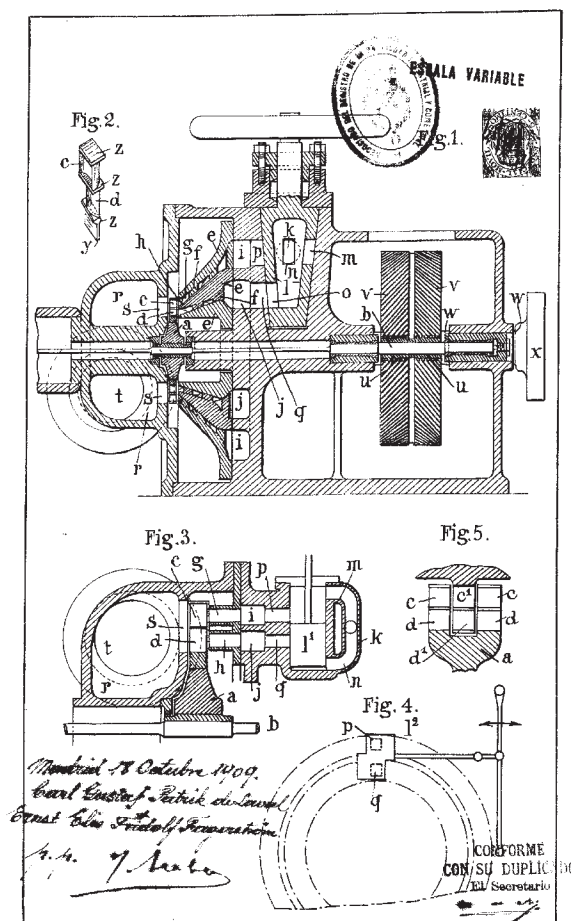


Figura 87.—Dibujos de la patente de De Laval ES 46 527, solicitada en 1909 (OEPM, Madrid)

Observando la figura 87 se aprecia que el rotor a está montado sobre el eje b con una doble corona de álabes c y d dirigidos en sentido inverso. El vapor es admitido por unos distribuidores concéntricos cónicos e provistos de unos conductos helicoidales f dentro de los cuales se expande, llegando a los álabes con la dirección conveniente por las toberas g, h. Los mencionados distribuidores comunican con dos cámaras auxiliares separadas i, j pudiendo admitirse fluido en cualquiera de ellas procedente del conducto k por medio de la válvula l.

El vapor, después de actuar sobre el rotor, escapa a la cámara r por los orificios s, llegando al condensador mediante los conductos t. Sobre el eje b hay dos piñones de dientes helicoidales u u que engranan con las ruedas v v montadas en un eje auxiliar w. Un disco de acoplamiento x permite transmitir directamente la energía desarrollada por la turbina sin otro elemento de transmisión intermedio.

La patente ES 46 527 caducó el 14 de agosto de 1912 tras satisfacer sólo una anualidad y sin tener acreditada su puesta en práctica, lo que hace pensar que la invención no tuvo ningún impacto comercial. Además de las citadas, De Laval solicitó en España otras patentes relacionadas con sus turbinas; de una manera mucho más breve se dan detalles sobre algunas de ellas:

— Patente ES 16 757, *Modificaciones en los aparatos para regular los motores*, solicitada el 21 de diciembre de 1894. En este documento se describe un regulador para la alimentación del vapor de una turbina, tarado mediante un muelle y un dispositivo hidráulico, según el cual la admisión del vapor se regulaba en función de la fuerza que proporcionaba el muelle y la presión existente en el circuito hidráulico. Caducó el 24 de abril de 1902 tras satisfacer siete anualidades y su puesta en práctica está acreditada el 22 de febrero de 1897; ello hace suponer que la invención pudo tener una determinada vida útil

— Patente ES 17 972, titulada *Perfeccionamientos en los generadores de vapor*, y solicitada el 17 de septiembre de 1895. Describe un generador con un tubo vaporizador continuo, de forma helicoidal para optimizar la producción del vapor. La puesta en práctica está certificada el 2 de noviembre de 1897, y la patente caducó el 13 de febrero de 1900 tras abonar cuatro anualidades.

Hasta aquí llega la revisión hecha a las turbinas de acción del ingeniero De Laval. No obstante, además de estos desarrollos, hubo otras propuestas sobre turbinas de acción, como las que hizo el propio Parsons, *padre* de las turbinas de reacción. En su patente ES 31 577, presentada el 18 de abril de 1903, propuso una turbina de acción *de las del tipo Branca o De Laval, en las que la expansión del vapor desde la presión inicial a la final se realiza en una sola fase* (sic). La propuesta que hace en esta turbina de acción es que el vapor que va a incidir sobre el rotor lo haga procedente de otro rotor (primario), que gira en sentido opuesto al rotor inicial (secundario), lo que hace que aumente la velocidad relativa entre vapor y álabes. Según Parsons con ello se consiguen reducir las velocidades angulares y periféricas del rotor, con lo que se disminuyen las tensiones en el material del que está construido el rotor y las pérdidas por roza-

miento debidas a la elevada velocidad del rotor en el seno del vapor. También establece que para iguales regímenes de giro con una turbina de acción convencional, la suya tiene un diámetro la mitad de pequeño y la fuerza absorbida debida al rozamiento es sólo de 1/32 de la empleada en estas máquinas. El funcionamiento de la turbina puede deducirse fácilmente del estudio de la figura 88.

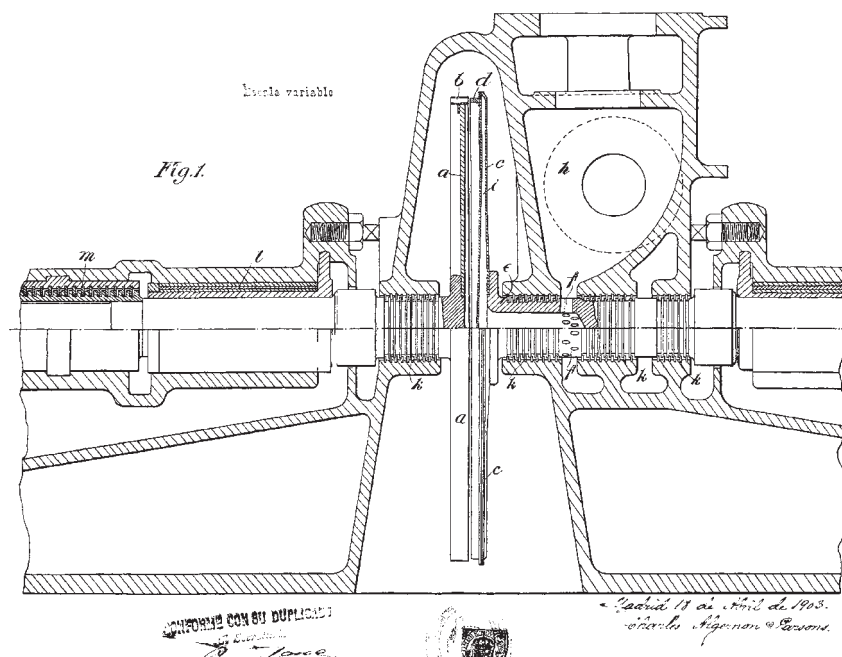


Figura 88.—Esquema de la turbina de acción de Parsons descrita en la patente ES 31 577 presentada en 1903 (OEPM, Madrid)

El vapor, procedente de la cámara *h*, va pasando por una serie de perforaciones *f* realizadas en el eje *e* de la máquina hasta llegar a un rotor primario *c*, de donde se expande sobre otro rotor secundario *a* mediante los difusores *d*. El rotor secundario *a* tiene unos álabes *b* de forma *tales como los que se usan en las turbinas Pelton o en las del tipo De Laval* (sic), de modo que el vapor procedente de *d*, tras chocar con ellos y transmitirles su energía, pasa directamente al escape; los sentidos de giro de los rotores *a* y *c* son opuestos. El ajuste en los extremos del eje se realiza mediante unos cojinetes ajustables *m*; unos empaquetados *k* cierran herméticamente el paso del vapor y contrarrestan la presión en el extremo del eje debida a la reacción del vapor o al choque contra los álabes.

Esta patente caducó 15 octubre de 1912 tras satisfacer ocho anualidades; la puesta en práctica está certificada en los talleres de D. José Ramos, en la calle Ayala, 37, de Madrid.

4.4. Las turbinas de Rateau y Curtis

En los epígrafes anteriores se han visto algunas de las turbinas de reacción y acción de Parsons y De Laval, como representantes de las principales *escuelas* de este tipo de máquinas. Sin embargo, a finales del siglo XIX y principios del XX se produjeron otros avances al aparecer nuevas propuestas. Una de ellas fue un tipo de turbina que combinaba características de las anteriores de Parsons y De Laval. El ingeniero francés Auguste Rateau fue quien hizo los primeros desarrollos sobre este tipo de máquinas, también llamadas *multicelulares de acción*, ya que si bien son turbinas de acción, están compuestas de varias etapas con caídas de presión en cada una de ellas, como en las turbinas de reacción.

Auguste Camille Edmond Rateau nació en Royan (Francia) el 13 de octubre de 1863. Estudió ingeniería en la *École Polytechnique* y en la *École des Mines* de París, obteniendo en ambas las mejores calificaciones de su promoción; buena parte de su vida profesional estuvo dedicada a la docencia universitaria. Falleció el 13 de enero de 1930. Entre 1897 y 1901 desarrolló las primeras ideas sobre una turbina multicelular de acción; inicialmente Rateau construyó una turbina de acción del tipo De Laval con unos álabes con forma similar a las palas de las turbinas Pelton. Como Parsons, Rateau propuso realizar la expansión en varias etapas, pero a diferencia de las turbinas de aquél, éste sugirió que cada etapa estuviese separada de sus vecinas mediante diafragmas.

Las ideas de Rateau se plasmaron rápidamente en patentes; en España Rateau presentó cerca de veinte en el periodo objeto de este estudio. La mayoría de estas invenciones estaban relacionadas con sus turbinas de vapor, pero también hay desarrollos de turbocompresores, como se verá a lo largo de este capítulo. La primera patente de Rateau en España fue la ES 27 986, *Nuevo sistema de turbina multicelular para vapor o para gas basada sobre el principio de la acción*, solicitada el 12 de junio de 1901. Además del propio Rateau, aparece como solicitante la empresa *Société Sautter Harlé et Cie*.

La figura 89 muestra uno de los dibujos de esta invención, en la que se aprecia el nuevo montaje de los diversos elementos de la turbina.

En esta patente, Rateau indica algunos problemas que, desde su perspectiva, tenían las patentes de reacción de Parsons. Se enumeran cuatro motivos: 1) Para una misma caída de presión, la turbina de reacción gira más rápido que la de acción. 2) La diferencia de presión existente en los álabes de las turbinas de reacción genera un empuje sobre el eje de la turbina. 3) Estas diferencias de presión en las caras de los álabes de las turbinas de reacción generan fugas de vapor entre el rotor y el estator, que deben ser minimizadas. 4) La inyección del vapor en las turbinas de reacción debe hacerse sobre todo su perímetro.

La figura 89 representa un corte vertical de la máquina. Cada diafragma 13-14 está embutido en una envoltura cilíndrica 18 de la turbina. 21 representa el eje,

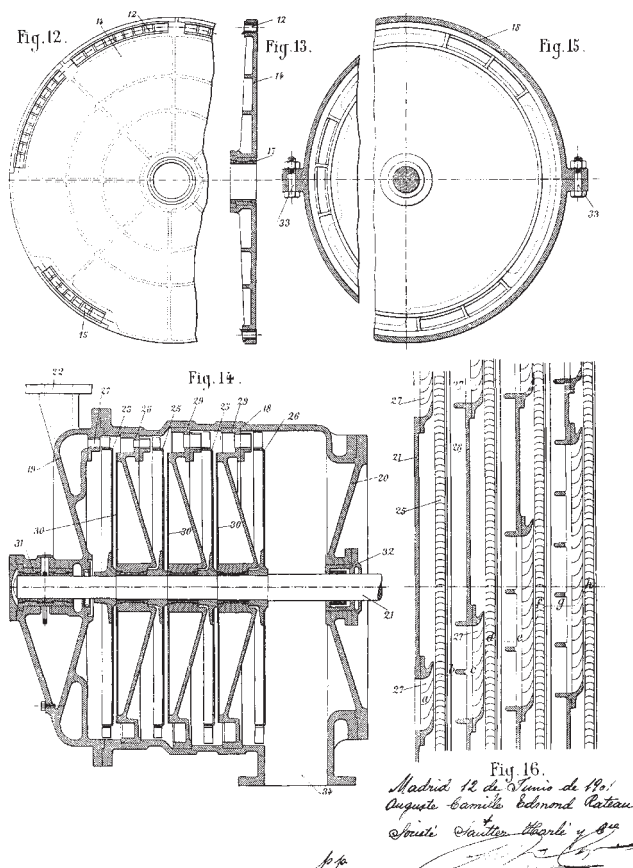


Figura 89.—Dibujo de la patente de Rateau ES 27 986, solicitada el 12 de junio de 1901 (OEPM, Madrid)

22 es la admisión del vapor, 23 y 24 son las primeras etapas del rotor, cuyos álabes son de menor altura, y 25, 26 son las etapas siguientes; el número de etapas es proporcional a la potencia de la máquina. 27 es el primer distribuidor que está fijo en el fondo delantero 19 de la turbina, y 28 es el segundo distribuidor de forma cónica. La periferia del disco que forman distribuidor y diafragma está embutida en la envoltura de la turbina. Las referencias 30 son chapas remachadas sobre la parte trasera de los diafragmas, de modo que se les dé una superficie lisa que disminuya el rozamiento del vapor.

Rateau indica que la construcción multicelular de la turbina reduce al mínimo las fugas de vapor, ya que éste se escapa por una serie de chorros en cada distribuidor, encontrándose cada rotor encerrado entre diafragmas; el vapor que se escapa de un distribuidor y penetra en la cámara de un rotor se aprovecha completamente. En la figura 89 también se puede apreciar que los distribuidores estaban dispuestos forman-

do como una hélice en el espacio según se ve a lo largo de la línea a b c d e f g h, que representa la trayectoria media del vapor una vez que entra por a.

Esta disposición desencajada de los distribuidores tiene por objeto utilizar la velocidad del vapor al salir del rotor. En el documento también se hace referencia al empleo de estas turbinas para la producción de energía eléctrica, indicando que es posible obtener con estas máquinas potencias de entre 4.000 y 5.000 CV para un régimen de giro de 1.500 rpm. Esta patente caducó el 28 de marzo de 1916 tras satisfacer once anualidades y su puesta en práctica está certificada el 14 de julio de 1903 por el Ingeniero Industrial Quintín Fernández Morales, de la 10.^a Promoción (1865), Rama Mecánica, del Real Instituto Industrial [Colegio y Asociación «Julio Soler» de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001), p. 282]. En este punto no se hace referencia a ninguna otra invención de este ingeniero francés; sin embargo, como se verá en próximas páginas, Rateau presentó otras patentes en España.

Otra invención *radical* sobre turbinas de vapor fue la desarrollada en 1896 por el estadounidense Charles Gordon Curtis (1860-1953), si bien la patente de este ingenio no fue registrada en España. Desde un punto de vista mecánico, esta turbina es mucho más sencilla que las de Parsons o Rateau, pero también proporcionaba un rendimiento menor. A diferencia de las mencionadas turbinas, en las que se produce una fuerte caída de presión en cada etapa, en la turbina Curtis se produce una disminución en la velocidad del vapor según se produce su evolución. *The American Society of Mechanical Engineers* tiene en su página web³⁵ un folleto donde se describen las primeras realizaciones de esta turbina Curtis. Sin embargo, y como se verá posteriormente, ésta no fue la única aportación de Curtis a las turbomáquinas térmicas.

La turbina de vapor Curtis se encuentra descrita en las patentes estadounidenses US 566 968 y US 566 969 del año 1896. La figura 90 muestra uno de los dibujos de esta turbina, donde puede apreciarse un conducto K por el que circula vapor procedente de una caldera y que desemboca en una tobera L.

Aunque Curtis no lo menciona explícitamente, dicha tobera puede ser del tipo De Laval, pues en el texto se indica que existen varias opciones de tobera, siendo la divergente una de ellas. Una vez que el vapor se ha expandido en la tobera L, pasa por una primera etapa de turbina que acciona un eje A. Esta etapa tiene una primera sección de álabes móviles c, una segunda de álabes fijos e y una tercera de álabes móviles d.

El vapor, después de pasar por el rotor d, atravesaba un conducto M que terminaba en una tobera de expansión similar a la tobera L. A continuación se producía una nueva expansión en una segunda etapa, también acoplada al eje A, que repetía la misma estructura de un rotor c, un estator e y un nuevo rotor d. El conducto de escape P podía acoplarse a un condensador o estar abierto a la atmósfera.

³⁵ Véase <http://www.asme.org/history/brochures/h144.pdf> según su URL del mes de agosto de 2004. También puede encontrarse información de la turbina Curtis en el texto de Daumas *et al.* (1978), pp. 95-96.

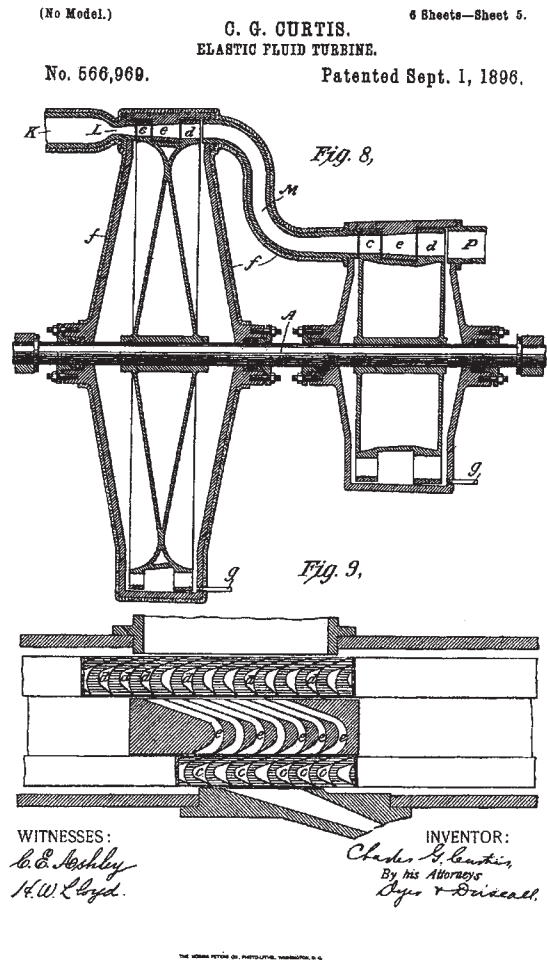


Figura 90.—Dibujo de la patente americana de la turbina Curtis, de 1896 (USPTO, Washington)

Debe destacarse la detallada información que proporciona Curtis en sus patentes americanas, en las que no sólo explica los elementos que integran su turbina, sino que también da referencias exhaustivas sobre parámetros termodinámicos, como las presiones a lo largo de diferentes puntos de la turbomáquina.

Otra clase de turbina de vapor que tampoco se patentó en España fue la sueca Ljungström desarrollada a partir de 1907. Se trataba de una turbina radial de reacción en el que el vapor evolucionaba en coronas concéntricas de álabes. En la obra de Daurmas *et al.* (1978), p. 96, puede encontrarse más información sobre estas turbinas.

Con este estudio finaliza lo que podría considerarse la revisión de las invenciones radicales más importantes relacionadas con las turbinas de vapor, lo que viene a confirmar, para el caso de estas turbomáquinas, la hipótesis planteada al final del capítulo 1 sobre invenciones principales o radicales e invenciones menores o incrementales.

Así, puede comprobarse que muchas de las invenciones *radicales* relativas a turbinas de vapor se protegen en España; en algunos casos esas patentes no fueron presentadas en el momento inicial de su desarrollo (como la primera turbina de Parsons), o poco después se realizó el registro de algunos perfeccionamientos en dichas invenciones (patentes de De Laval). También llaman la atención los casos en que la caducidad se produce a los pocos años de su solicitud; este hecho puede interpretarse desde una doble perspectiva: en los casos en que la patente no caduque a los pocos años, cabe entender que la invención tuvo impacto comercial y por tanto la patente tiene una validez *per se*. Los casos en que la patente caducó al poco tiempo de su solicitud, pueden interpretarse como un fracaso comercial o como una estrategia para impedir la protección por parte de terceros competidores: si la patente se solicita, y luego caduca rápidamente, se está abriendo la invención al mercado, con lo cual nadie podría impedir la explotación comercial de su desarrollo al solicitante poco convencido por proteger en España.

4.5. Invenciones *incrementales* relevantes sobre turbinas de vapor

En los epígrafes anteriores se han visto algunas de las invenciones *radicales* más relevantes relativas a turbinas de vapor y que corresponden a las turbinas de Parsons, De Laval o Rateau; pero también hay numerosas invenciones *incrementales* que las desarrollaron y perfeccionaron. En 1914, fecha en que finaliza este estudio, las turbinas de vapor apenas llevaban treinta años de funcionamiento, por lo que las mejoras hechas desde entonces han sido numerosísimas, sobre todo si se comparan con las realizadas durante el periodo de análisis. A continuación se presentan algunos ejemplos de las invenciones *incrementales* que completaron el desarrollo de las turbinas de vapor, como mejoras en elementos tales como álabes o cierres laberínticos, por citar algunos de ellos.

Ya se ha visto que los primeros desarrollos de las turbinas de vapor surgieron en Europa; no obstante, también se produjeron otros avances al otro lado del Atlántico. Uno de los que contribuyeron al desarrollo de las turbomáquinas fue George Westinghouse que nació el 6 de octubre de 1846 en Nueva York. Su padre, procedente de una familia de agricultores, tenía grandes habilidades mecánicas por lo que en 1856 creó la empresa *G. Westinghouse & Company*, dedicada a la fabricación de útiles agrícolas. En 1868 el joven Westinghouse se mudó a Pittsburgh, Pennsylvania, donde fundó la *Westinghouse Air Brake Company*, dedicada inicialmente a la fabricación de frenos ferroviarios; la empresa se diversificó y entró en el mundo de la producción de energía eléctrica, por lo que se asoció con ilustres ingenieros, como Nikola Tesla, y realizaron numerosos desarrollos en este terreno. Falleció en Nueva York el 12 de marzo de 1914.

Westinghouse solicitó numerosas patentes en España durante el periodo objeto de este estudio, cerca de ciento veinticinco, si bien las primeras de ellas estaban relacionadas con sistemas de frenado para ferrocarril; en el texto de Cayón *et al.*

(1998), aparecen algunas de estas patentes ferroviarias. Westinghouse también presentó otras patentes relacionadas con máquinas eléctricas y turbinas de vapor. A continuación se destacan algunas de estas últimas dada la importancia que tuvo la empresa de Westinghouse en el desarrollo de dichas turbomáquinas a lo largo del siglo xx.

La patente ES 30 778, *Mejoras en turbinas accionadas por fluidos bajo presión*, fue presentada el 2 de diciembre de 1902. En el documento se indica que se pretende construir una turbina compacta y duradera, que *utilice en primer término la energía cinética que imprime la velocidad del fluido propulsor debido a la expansión del chorro por medio de un número relativamente reducido de juegos o series de distribuidores y coronas de álabes* (sic). La figura 91 muestra algunos de los dibujos más representativos de esta invención; en ella puede apreciarse la cámara de admisión 6 con la que comunica el orificio de entrada 5; aquella comprende dos partes anulares separadas por un nervio de refuerzo 7 provisto de orificios 8 por los cuales puede pasar libremente el vapor entre ambas partes.

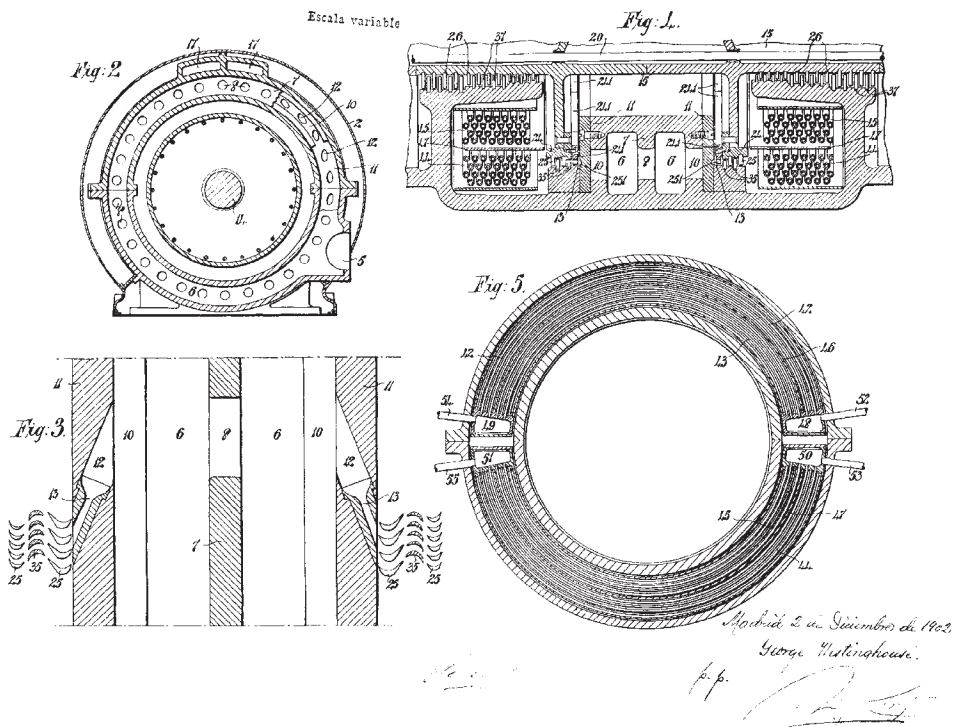


Figura 91.—Algunos dibujos de la patente de Westinghouse ES 30 778, de finales de 1902 (OEPM, Madrid)

Sobre el eje de la turbina va rígidamente montado un tambor 15, compuesto por cuatro partes unidas entre sí por tornillos 20. Este tambor soporta los álabes móviles de la turbina, que van dispuestos en juegos de tres a cada lado de la línea central. Partiendo de la cámara de admisión de vapor 6, la primera etapa de álabes móviles 25 va montada en una anilla 24 sujeta al tambor. La segunda etapa de álabes 26 va montada en la parte cilíndrica principal del tambor 15, y la tercera etapa de álabes va montada sobre un aro que forma parte del tambor; los álabes de cada etapa varían progresivamente en longitud. Además de los álabes móviles existen una serie de álabes fijos 35, 37 y 39 (éstos no aparecen en la figura 91) que sirven de guía para el vapor.

Westinghouse propone aumentar el rendimiento de la máquina recalentando el vapor durante su avance por la turbina, para lo que se colocan una serie de tubos 42, 43 y 44 que alimentan y evacúan el vapor a través de los conductos 52, 53, 54 y 55. Sin embargo, ésta no era la primera vez que se proponía en una patente el recalentamiento del vapor, pues una disposición de este tipo fue planteada en la patente española ES 29 793 presentada el 7 de mayo de 1902 [Amengual (2004 b), pp. 303-305]. El funcionamiento de la turbina de Westinghouse es el siguiente: el vapor entra en la cámara 6 por el orificio de admisión 5 a la presión de la caldera de alimentación; pasa por los orificios 10, los conductos 12 y las boquillas 13 donde se expande lo suficiente para incidir sobre la primera etapa de álabes 25, después pasa por los álabes 35 del estator para ir a otro escalón de álabes 25. Desde aquí el vapor pasa a los tubos 42, 44 para ser recalentado y a continuación evoluciona en las otras etapas de álabes fijos y móviles ya citados. La puesta en práctica de la invención está certificada el 13 de febrero de 1906; la patente caducó, después de satisfacer doce anualidades, el 1 de enero de 1915.

Otra patente de Westinghouse es la ES 31 136, *Mejoras en turbinas accionadas por fluidos bajo presión*, certificado de adición de la anterior que fue presentada el 3 de febrero de 1903, dos meses después que su parte principal. La figura 92 ilustra los dibujos de esta invención. En ella se aprecia la caja de la turbina 1 en la que va montada su eje y sobre él va sujeto el tambor 2 que tiene una corona de álabes 3 que van adaptados para que cooperen con unos álabes guía 4. El tubo de admisión de vapor 5 comunica con un canal 6 en cuya parte interna hay un aro 7 fijado a la caja, teniendo este aro una serie de depresiones 8 que van a parar en unas bocas 9.

Una vez que el vapor ha pasado la primera serie de álabes móviles 12, atraviesa unos canales 16, 17. La energía cinética del vapor se utiliza en la siguiente etapa del rotor 19, para pasar luego por el estator 4 y a continuación un nuevo rotor 3, produciéndose un aumento gradual en el tamaño de los álabes. La puesta en práctica de la invención se acreditó el 16 de mayo de 1906, y su caducidad se produjo conjuntamente con su patente principal, el 1 de enero de 1915.

Como puede apreciarse estas mejoras de Westinghouse no suponen nuevos desarrollos *radicales* en las turbinas de vapor respecto los planteamientos que fueron

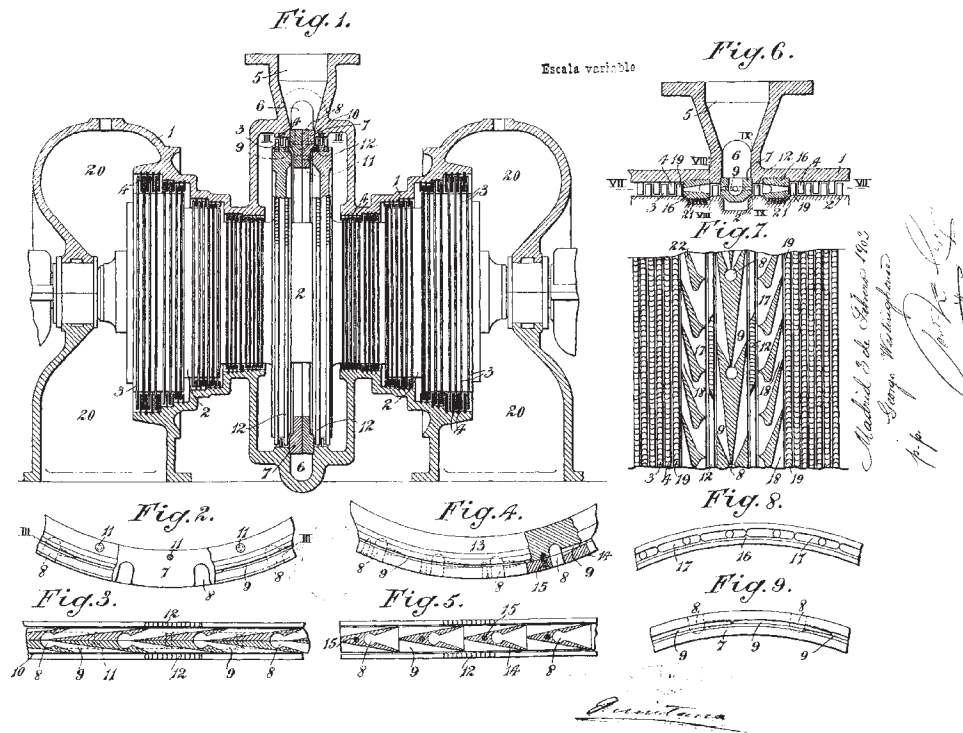
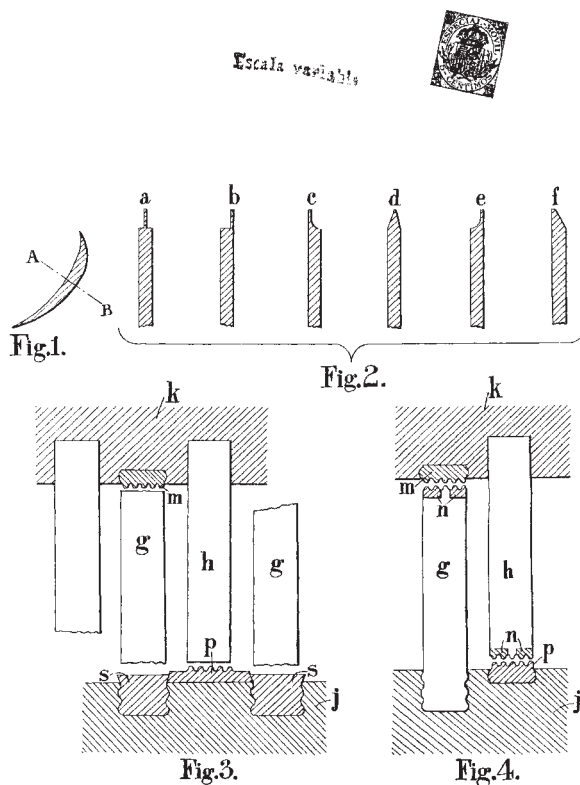


Figura 92.—Dibujos de la patente de Westinghouse ES 31 136, presentada el 3 de febrero de 1903. Es un certificado de adición de la patente ES 30 778 (OEPM, Madrid)

establecidos por Parsons, De Laval, Rateau o Curtis. Las mejoras que Westinghouse preconiza en sus patentes corresponden con invenciones *incrementales* que permiten perfeccionamientos en las grandes sendas tecnológicas de las turbinas de vapor.

En las páginas restantes de este epígrafe se muestran ejemplos destacables de otras invenciones incrementales relacionadas con las turbinas de vapor, algunas de ellas originales de destacadas personas o empresas relacionadas con estas máquinas térmicas. Ello permitirá comprobar la existencia de estas invenciones que fueron perfeccionando los paradigmas tecnológicos abiertos por sus respectivas invenciones radicales.

Además de las patentes ya vistas en el epígrafe 4.2, Parsons también registró invenciones *menores* en España, como la ES 39 219, *Mejoras en turbinas, compresores rotatorios, y sus análogos*, solicitada el 5 de octubre de 1906. La figura 93 muestra los dibujos de esta invención, que describe mejoras en los cierres de las turbinas de vapor; el objetivo que se buscaba era evitar el deterioro de los álabes por el contacto con el tambor de la turbina.



CONFORME
CON SU DUPLICADO
El Secretario

[Signature]

Madrid 5 Octubre 1906
Charles Algernon Parsons
[Signature]

Figura 93.—Dibujos de la patente de Parsons ES 39 219, solicitada el 5 de octubre de 1906 (OEPM, Madrid)

Los álabes del rotor **g** van sujetos al eje de la turbina **j** en cualquier forma conocida; los mismo sucede con los álabes de estator **h**, sujetos a la envolvente **k**. Frente a los álabes del rotor **g** hay provistos unos flejes dentados **m** hechos en latón y fijados a la envolvente; similarmente los álabes del estator **h** tienen otros flejes **p** fijos al eje de la turbina. Cuando los flejes se erosionan, pueden ser sustituidos fácilmente por otros, evitando desgastes en la envolvente o ejes. También se proponen diversas formas de álabes. La puesta en práctica está acreditada el 18 de abril de 1908 y la patente caducó el 1 de enero de 1919 tras abonar doce anualidades.

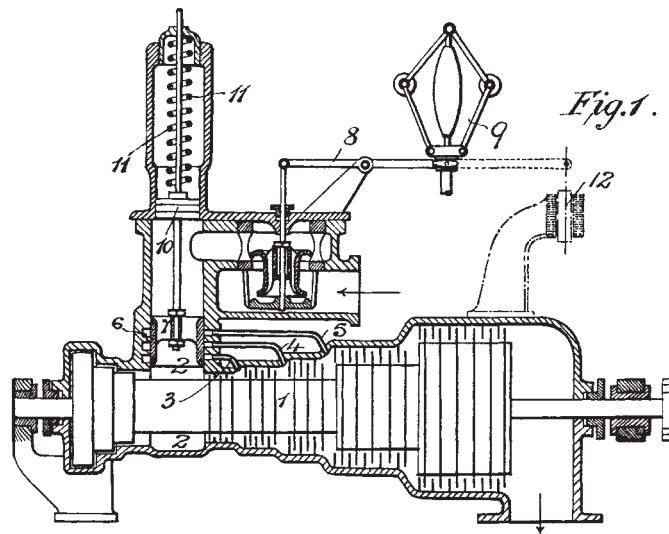
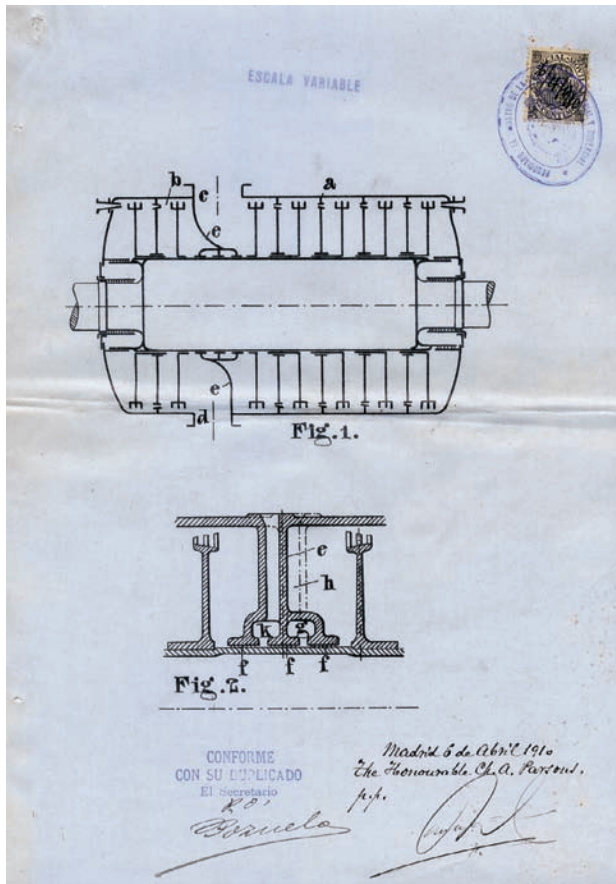
Otra patente de Parsons es la ES 47 734, *Mejoras en turbinas*, solicitada el 6 de abril de 1910. Ésta es un certificado de adición de otra patente de Parsons, la ES 33 447, por lo que la caducidad de ambas se produjo simultáneamente el 1 de enero de 1917. La invención plantea mejoras en los cierres de las turbinas para propulsión naval, y propone habilitar en el interior del empaquetado una o varias cámaras anulares, desde las cuales cualquier cantidad de vapor que pudiera escaparse por el cierre es llevada por unos conductos a una etapa de presión inferior, al condensador o a la atmósfera. La figura 94 muestra los dibujos que ilustran esta invención.

En la figura puede observarse la turbina de marcha hacia delante a y la turbina de contramarcha b; c es el escape de la primera turbina y d el de la segunda; f es el empaquetado entre la partición entre turbinas e y el eje; g y k son unas cámaras habilitadas en dicho empaquetado, que comunican por medio de los conductos h i bien sea a una etapa de presión inferior, al condensador o a la atmósfera. Parsons indica que si bien en los dibujos se representan turbinas de acción, la invención puede aplicarse también a turbinas de reacción o de acción y reacción combinadas. Esto muestra que Parsons no se limitó al desarrollo de las turbinas de reacción, como ya se ha visto desde estas páginas. La puesta en práctica de la invención se acreditó el 23 de abril de 1913.

La empresa germano-suiza *Brown, Boveri & Cie Aktiengesellschaft* también aportó numerosas invenciones en el desarrollo de las turbomáquinas. Charles Eugen Lancelot Brown, uno de sus fundadores, solicitó el 26 de septiembre de 1902 la patente ES 30 406, titulada *Mejoras en turbinas de gas y vapor de las del tipo o modelo de expansión múltiple*; uno de sus dibujos se puede apreciar en la figura 95.

No se conoce el motivo por el que Brown solicitó personalmente esta patente, cuando el resto de las patentes que se presentaron en este terreno están a nombre de su compañía. El objetivo de esta invención era encontrar una forma que permitiese regular las turbinas de vapor de expansión múltiple de manera que se pudiera mejorar su economía cuando funcionaban con cargas moderadas. El mismo Brown indica que Parsons, en su patente británica GB 11 223 A. D. 1897, ya se planteaba cómo optimizar el consumo de estas máquinas a bajas velocidades. Para solucionar esta cuestión, Brown propone el empleo de un regulador tal y como se aprecia en la figura 95, donde se colocan unos conductos de vapor desde la caja de vapor a puntos intermedios de la turbina, graduándose automáticamente los orificios de entrada a dichos conductos desde el regulador.

En la figura 95 puede apreciarse la turbina 1 con el conducto de admisión de vapor 2. Unas conducciones 3, 4, 5 llevan el vapor a puntos intermedios de la turbina, teniendo sus orificios de entrada 6 forma de aberturas anulares, regulados por la válvula 7. La válvula va unida a un pistón 10 gobernado por un muelle 11, que se mueve con arreglo a la presión que existe en la caja de distribución, graduada por un regulador 9 que acciona otra válvula por medio de la palanca 8. El certificado de puesta en práctica de esta invención se hizo el 7 de diciembre de 1905, y su caducidad se produjo el 4 de octubre de 1912 tras pagar nueve anualidades.



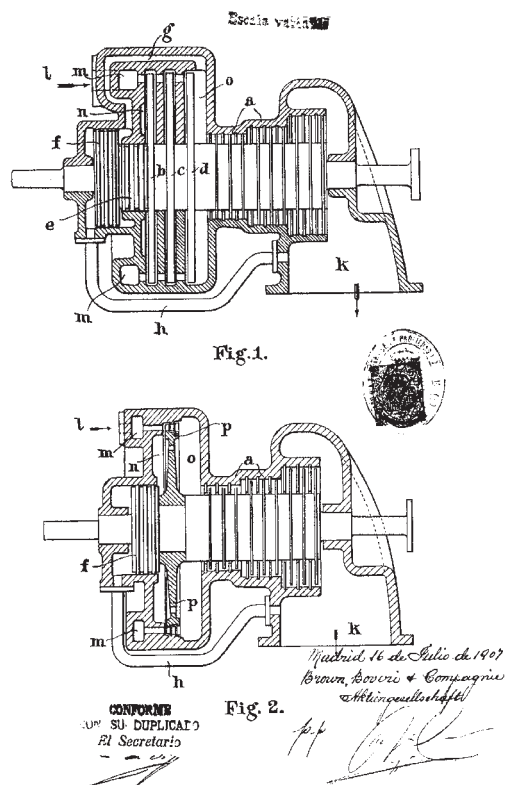


Figura 96.—Dibujos de la patente de Brown Boveri & Cie AG ES 41 200, de 1907 (OEPM, Madrid)

La patente ES 41 200, también de *Brown, Boveri & Cie Aktiengesellschaft*, y titulada *Un nuevo sistema de turbina de vapor con lados de impulso y lado de reacción combinados*, fue solicitada el 16 de julio de 1907. Esta invención propone una turbina mixta con etapas de acción y de reacción, tal y como se aprecia en la figura 96.

Esta turbina tiene un lado de acción (el de la izquierda de los dibujos de la figura 96) y otro de reacción (el de la derecha), representado por a. Las distintas etapas b, c, d que se aprecian en la configuración superior de la figura 96 corresponden a etapas de alta presión y son de acción, del tipo Rateau, mientras que las etapas a son de baja presión. El vapor después de evolucionar por b, c, d, pasa a las etapas de reacción a. En el dibujo inferior de la misma figura se tiene una turbina de acción p tipo Curtis para la etapa de alta presión; el vapor después de expandirse en la etapa p pasa a las de reacción a. En su texto, *Daumas et al.* (1978), p. 97, señalan que este tipo de turbinas fue muy habitual a principios del siglo xx. La puesta en práctica de esta invención está certificada el 15 de marzo de 1910, se abonaron trece anualidades y la patente caducó el 1 de enero de 1921.

Para finalizar la revisión hecha a las invenciones *incrementales* relacionadas con las turbinas de vapor que se patentaron en España, se propone la revisión de otras cuatro patentes solicitadas por dos ilustres ingenieros, Nikola Tesla y Viktor Kaplan.

Es conocida la faceta de Nikola Tesla como ingeniero eléctrico, donde desarrolló numerosas invenciones que registró como patentes, especialmente en los Estados Unidos; sin embargo, probablemente no sea tan conocida su faceta en otros terrenos de la ingeniería. Tesla nació en Smiljan, Croacia, el 9 de julio de 1856; estudió ingeniería en las Universidades de Graz (Austria) y Praga. En 1884 emigró a los Estados Unidos donde protegió sus invenciones y vendió sus derechos a Westinghouse, lo que le proporcionó numerosos ingresos. Falleció en Nueva York el 7 de enero de 1943.

La vertiente de ingeniero *mecánico* de Tesla se manifiesta con la patente española ES 49 122 solicitada el 21 de octubre de 1910 y titulada *Mejoras introducidas en los motores actuados por fluidos*³⁶. En esta patente Tesla describe una bomba o compresor y una turbina que pueden verse respectivamente en las figuras 97 y 98. Debe destacarse que esta patente española resulta de difícil comprensión, pues sus construcciones gramaticales son complejas y enrevesadas, probablemente debido a la mala traducción de algún documento extranjero. En cualquier caso, la invención de Tesla se basa en dos principios según menciona en su patente: *la adhesión y la viscosidad* (sic). Cabe suponer que el funcionamiento de estas máquinas estaba fundado en efectos relacionados con la capa límite (y la tensión superficial cuando se empleaban líquidos), pues el modo de funcionamiento de ambos mecanismos era básicamente el mismo: sobre un eje había dispuestos una serie de discos planos paralelos, muy estrechos, y muy próximos unos de otros, entre los que había un fluido. Si la máquina se comportaba como generadora, al proporcionar energía a su eje, los discos comenzaban a girar, el fluido quedaba confinado entre los discos y se producía un efecto de bombeo; si por el contrario la máquina se comportaba como motora, el fluido a alta presión se introducía por un extremo y evolucionaba entre los discos, generando su movimiento y proporcionando energía mecánica.

La bomba o compresor que se aprecia en la figura 97 consta de varios discos planos rígidos 1 de un diámetro apropiado atornillados a un eje 2 y sujetos al soporte 4 mediante una rosca 3; los discos 1 tienen entre sí una separación 5. Cada disco tiene unas aberturas centrales 6 entre las que se disponen unos brazos 7 preferentemente curvos para reducir la pérdida de fuerza debida al paso del fluido. El conjunto se monta en una caja 8 que descansa sobre una base 12; además hay unas prensaestopas 9, una entrada de fluido 10 y su salida 11. Según Tesla, el funcionamiento del compresor se debe fundamentalmente a la existencia de dos fuerzas,

«... una que actúa en sentido tangencial en dirección de la rotación, y la otra que actúa en sentido radial exterior...»

Los efectos combinados de estas fuerzas tangencial y centrífuga consiguen la propulsión del fluido que continuamente va creciendo y aumentando en velocidad con su marcha y paso en espiral hasta que alcanza la salida 11.

³⁶ Se puede encontrar más información sobre esta turbina de Tesla en la página web, correspondiente a la URL del mes de febrero de 2004, http://www.frank.germano.com/tesla_turbine.htm.

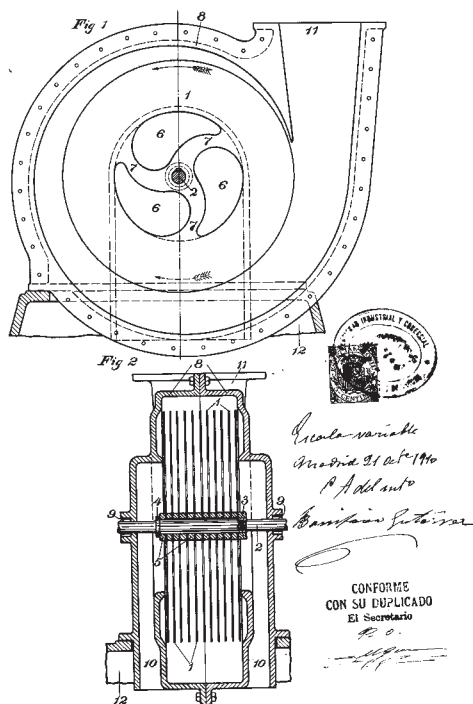


Figura 97.—Dibujos del compresor de Tesla descrito en la patente ES 49 122 (OEPM, Madrid)

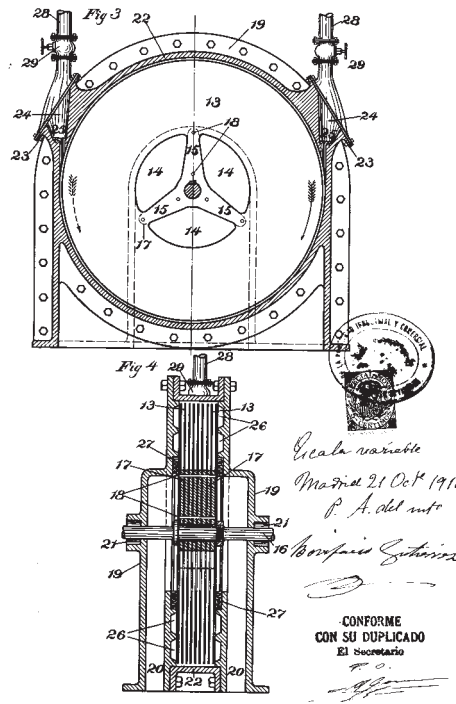


Figura 98.—Dibujos de la turbina de Tesla descrita en la patente ES 49 122 (OEPM, Madrid)

La figura 98 muestra la disposición de la turbina, conceptualmente similar a la configuración anterior; unos discos 13 tienen unos radios 15 con sus aberturas 14; atravesando los discos hay unos canales 18. El dispositivo se introduce en una caja 19 con su eje 16 y sus prensaestopas 21; el vapor o fluido a presión entra por los conductos 28, regulados por válvulas 29, a través de las ranuras 26.

Finalmente el fluido sale de la máquina por las aberturas centrales 14. La puesta en práctica de la invención en España no está acreditada³⁷ y la patente caducó el 1 de enero de 1914 tras abonar tres anualidades. Todo parece indicar que el éxito de Tesla como ingeniero quedó limitado a su faceta eléctrica, y que en el terreno energético no cosechó los triunfos que deseaba con estas máquinas.

A continuación se presentan algunas patentes del ingeniero austriaco Viktor Kaplan (1876-1934), padre de la turbina hidráulica que lleva su nombre. Kaplan registro varias de sus patentes en España, y aunque la aplicación práctica de sus invenciones esté relacionada con las máquinas hidráulicas, en sus patentes hace mención a su uso también

³⁷ A pesar de ello, en la mencionada página web http://www.frank.germano.com/tesla_turbine.htm se indica que estas máquinas sí fueron construidas en los Estados Unidos.

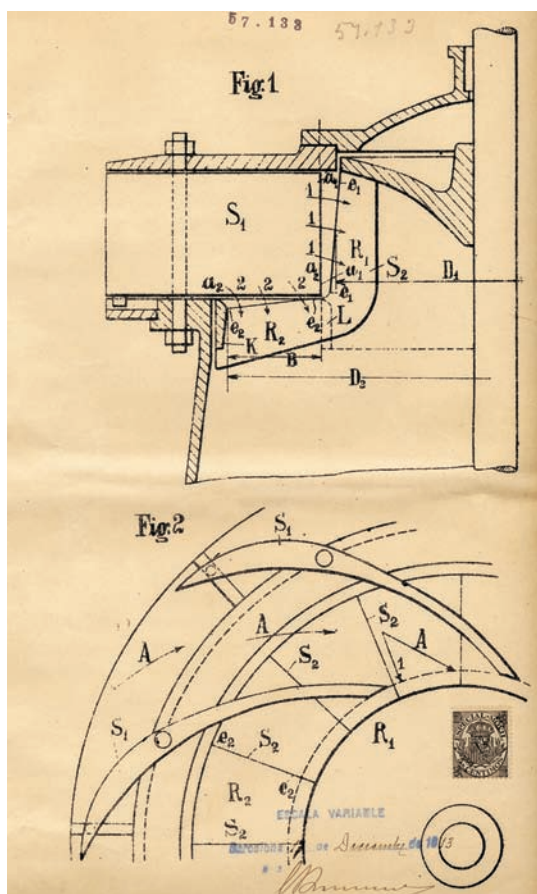


Figura 99.—Algunos dibujos de la patente de Kaplan ES 57 133 de 1913 (OEPM, Madrid)

en turbomáquinas térmicas (turbinas de vapor y gas), motivo por el que se ha decidido incluirlas en estas páginas. Una de estas patentes es la ES 57 133 *Una máquina rotativa (turbina de agua, de vapor ó de gas, ó bien bomba ó ventilador centrífugo)*, solicitada el 17 de diciembre de 1913. Algunos dibujos de esta invención se aprecian en la figura 99.

Kaplan comienza esta patente haciendo una revisión del estado de la técnica en turbinas hidráulicas, destacando las turbinas axiales (tipo Jonval o Girard) y las radiales (tipo Francis). El objeto de la invención consiste en una construcción especial de las partes fijas y móviles de las turbomáquinas. En la figura 99 se aprecia la proyección radial de la pala s_1 correspondiente a la rueda directriz y la pala s_2 a la rueda motriz. Kaplan indica que para el objeto de la invención es indiferente la geometría de las palas. La patente describe la existencia de unas cámaras R_1 R_2 de tal anchura radial que el paso del agente de trabajo tiene lugar *sin violencia* (sic) en la mayor parte de dichas cámaras. La puesta en práctica de esta invención se certificó el 22 de marzo de 1920, se abonaron once anualidades y la caducidad de la patente se produjo el 1 de enero de 1925.

Probablemente la invención más conocida de Kaplan sea la que se describe en su patente ES 58 793 *Regulación de las paletas giratorias para turbinas hidráulicas de vapor ó de gas y para bombas rotatorias ó turbo-compresores*, solicitada el 22 de julio de 1914. La patente indica que la regulación de las turbinas puede hacerse por estrangulación mediante válvulas o bien mediante paletas guías giratorias (paletas giratorias de Fink) que permiten reducir la anchura de paso interior entre dos paletas-guías próximas; sin embargo, este ultimo tipo de regulación es ineficiente al decrecer la fuerza de impulsión del agua.

Para remediar este inconveniente Kaplan propone dar a la rueda motriz de la turbina una forma tal que las paletas de las mismas puedan girar de tal modo que sus posiciones, y por consiguiente sus ángulos de entrada y de salida, puedan ser modificados según las necesidades. En la figura 100 se pueden ver los triángulos de velocidades y un esquema de la pala de la turbina Kaplan. En ella, 1 representa la entrada a la rueda motriz, c_1 es la velocidad absoluta de entrada del agua en la rueda motriz, u_1 su velocidad periférica y w_1 la velocidad relativa del agua, y las magnitudes c_2 , u_2 , y w_2 representan las mismas magnitudes a la salida del agua en el punto 2. Los parámetros δ y β representan respectivamente los ángulos de salida de las ruedas guía y motriz, y α es el ángulo de entrada en la rueda motriz.

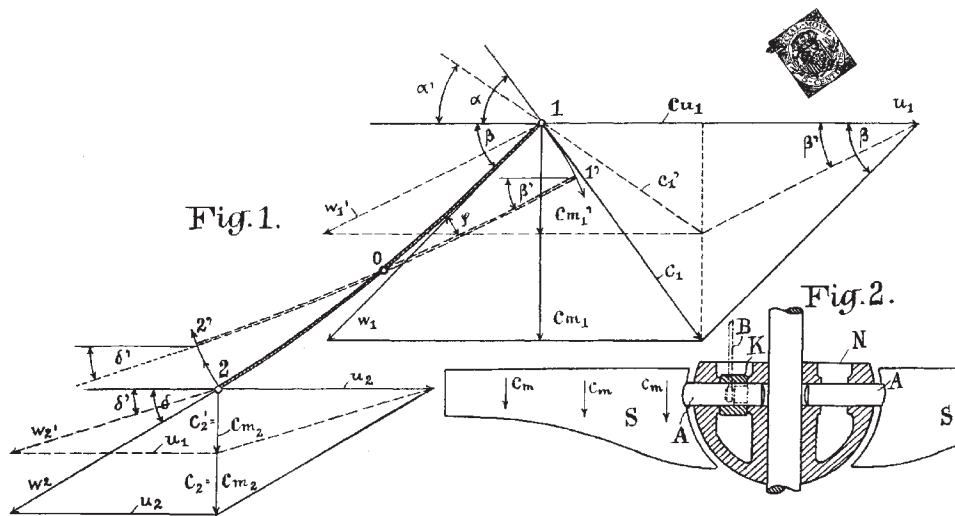


Figura 100.—Triángulos de velocidades descritos en la patente de Kaplan ES 58 793 de 1914 (OEPM, Madrid)

La puesta en práctica se certificó el 22 de marzo de 1920 y la patente caducó, tras abonar ocho anualidades, el 1 de enero de 1923. Como ya se ha indicado en los anteriores capítulos, esta práctica de incluir en una misma invención distintas tecnologías (como es el caso, donde una misma patente sorprendentemente puede servir tanto

para turbomáquinas hidráulicas como para térmicas) tiene como único objetivo obtener una protección lo más amplia posible. Es evidente que las aplicaciones de Kaplan para máquinas hidráulicas no tienen validez para las turbomáquinas térmicas, debido a las diferencias en el fluido de trabajo (incompresible y compresible) y a problemas de escala y semejanza entre ambos tipos de máquinas.

La última invención de Kaplan que se cita es la descrita en la patente ES 59 147 *Rueda corredera para máquinas giratorias y análogas con paletas en forma de alas*, solicitada el 10 de octubre de 1914 y cuyos dibujos se reproducen en la figura 101.

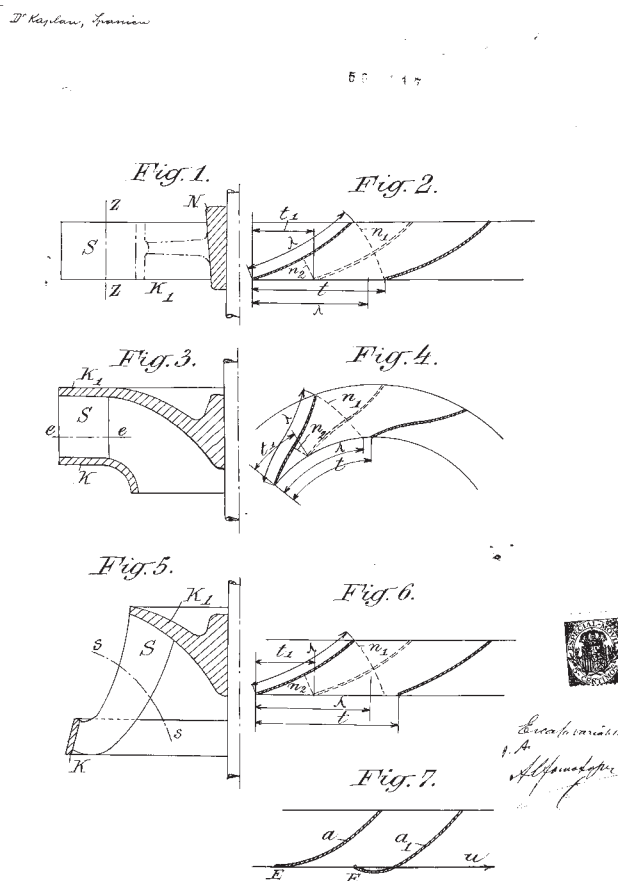


Figura 101.—Dibujos de la patente ES 59 147 de Kaplan de 1914 (OEPM, Madrid)

En dicha figura, los dibujos 1 y 3 representan ruedas móviles con paso radial de agua, y la figura 5 es la rueda de una turbina Francis. El objetivo de la invención es dar a las palas de las turbinas una forma tal que el fluido sea conducido principalmente

sólo a lo largo de una superficie de pala, pero no entre dos superficies contiguas; con ello se pretende reducir las pérdidas por rozamiento al haber así una menor superficie mojada. La puesta en práctica de la invención se acreditó el 22 de marzo de 1920 y caducó el 1 de enero de 1923 tras satisfacer ocho anualidades.

Si bien estas invenciones de Kaplan no pertenecen al campo de las turbinas de vapor y gas, su afinidad y la excelencia del trabajo de este destacado ingeniero austriaco han propiciado su inclusión en estas páginas.

4.6. Los orígenes de los turbocompresores y las turbinas de gas

La última evolución técnica en el campo de las máquinas térmicas que aquí se analiza es la relativa a las turbinas de gas. En cierto modo, la aparición de turbinas de gas una vez conocidas las turbinas de vapor era algo que podía esperarse, a la vista de la evolución experimentada por las máquinas alternativas de vapor, los motores de aire caliente y los motores de combustión interna. Empleando el símil evolutivo mencionado a lo largo de este trabajo, las turbinas de gas son a las turbinas de vapor, lo que los motores de combustión interna alternativos son a las máquinas de vapor alternativas.

Debido a que el estudio realizado finaliza en 1914, veinticinco años antes del funcionamiento de la primera turbina de gas industrial estacionaria productora de energía³⁸, la revisión que se hace en estas páginas es a la fuerza incompleta, ya que no se cubre todo el lapso existente hasta la aparición de la turbina de gas.

Como es sabido, la turbina de gas, considerada como motor térmico, está compuesta por dos máquinas térmicas: una máquina generadora, el turbocompresor, y una máquina motora, la turbina. Muchas de las primeras patentes que proponían las primitivas turbinas de gas contemplaban la existencia de estos elementos; sin embargo, su éxito no llegó hasta que se dieron los avances necesarios en la Aerodinámica y la Metalurgia. Es por ello por lo que a continuación se propone hacer una primera revisión sobre la evolución de los turbocompresores, para después ofrecer una pequeña muestra de patentes que proponían el desarrollo de turbinas de gas, entendidas como motor térmico.

Antes de comenzar dichas revisiones, cabe destacar la existencia de algunos documentos especialmente relevantes: las patentes estadounidenses de Brayton y Curtis. Como ya es sabido, Brayton propuso en su patente el ciclo termodinámico que siguen las actuales turbinas de gas, mientras que Curtis (al que ya se ha citado en el epígrafe 4.4) propuso una configuración mecánica para la turbina de gas. Dado que estas invenciones no fueron registradas en España, a continuación se hace una breve reseña de las mismas a la vista de los citados documentos americanos y alguno británico.

³⁸ En la página web de *The American Society of Mechanical Engineers* (según su URL del mes de agosto de 2004 <http://www.asme.org/history/brochures/h135.pdf>) puede encontrarse un folleto sobre esta instalación industrial.

El ciudadano estadounidense George Bailey Brayton presentó en 1872 la patente US 125 166 titulada *Perfeccionamientos en motores de gas*; también solicitó la invención en el Reino Unido, obteniendo la patente británica GB 432 A. D. 1872. La figura 102 muestra algunos dibujos de la invención de Brayton tal y como aparecen en la patente británica.

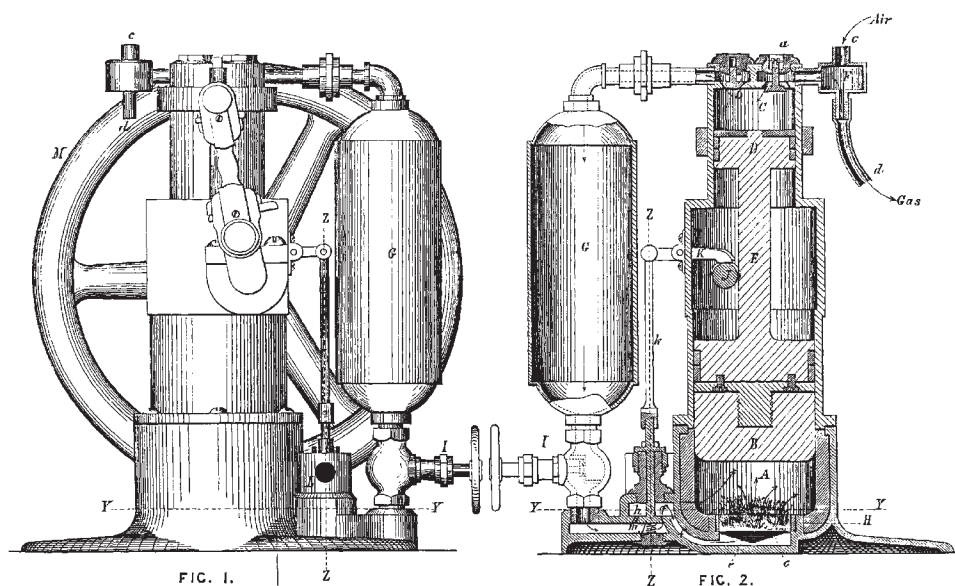


Figura 102.—Algunos dibujos de la patente británica de Brayton GB 432 A. D. 1872 (TPOUK, Newport)

En esta figura se aprecia un cilindro A en el que hay dos pistones B y D unidos por una biela E. Al mezclador F llega aire y combustible que se junta en una proporción doce a uno; esta mezcla es aspirada en la cámara C, donde se comprime y conduce al depósito G cuya capacidad es al menos doble que la del cilindro A y donde el gas se mantiene a una cierta presión constante. El gas almacenado en el depósito G se lleva al conducto f; para eso, la leva J ubicada en el interior del cilindro A acciona el balancín K que tira del vástago k y acciona la válvula h, lo que permite el paso del gas de G a f. La mezcla llega a la parte inferior del cilindro A donde tiene lugar la combustión; unos diafragmas e se ubican en la base del cilindro para impedir el retroceso de llama. La combustión del gas se realiza de manera que se produce una fuerza expansiva que mueve el pistón. Después el pistón hace la carrera descendente gracias al impulso del volante M, y a su vez se produce la apertura de la válvula de escape que evacua los gases quemados, con lo que se produce la repetición del ciclo.

En este punto es de destacar el hecho de la práctica coincidencia absoluta entre la patente americana y la británica; aunque existen algunas diferencias formales entre los

dos documentos, el contenido técnico de las dos patentes es idéntico. Este hecho resulta significativo, pues a lo largo de este trabajo se han visto notables diferencias entre las invenciones hechas por algunos europeos ilustres y sus patentes en Europa y en los Estados Unidos. Por ejemplo, recuérdense las patentes europeas de Otto y Diesel y las comparaciones hechas con sus hermanas americanas (epígrafes 3.2 y 3.5), donde se vio que los documentos americanos eran más detallados que las mismas patentes solicitadas en Europa. Sin embargo, en la patente de Brayton se observa el mismo contenido tanto para el documento americano como para el europeo, es decir, el solicitante americano redacta su patente con igual detalle para su mercado y para el europeo, mientras que los inventores europeos detallan más sus invenciones cuando las protegen en los Estados Unidos que cuando lo hacen en los países europeos.

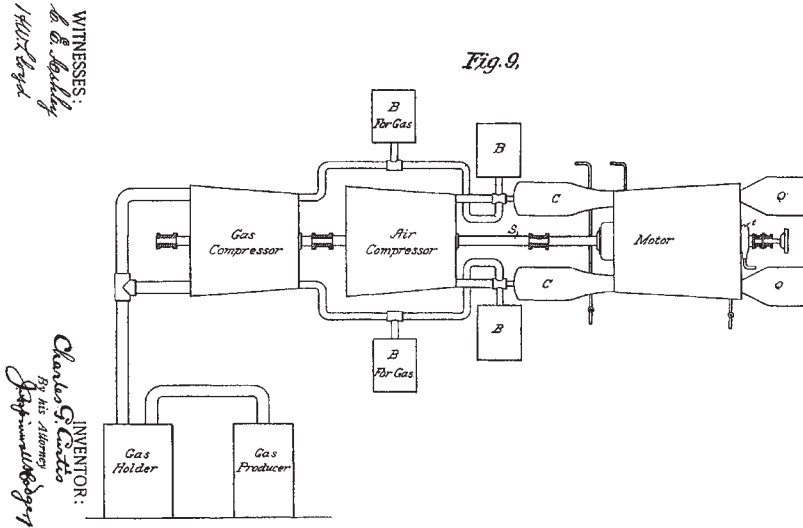
Aunque este hecho no sea concluyente, parece indicar que a finales del siglo XIX las patentes estadounidenses poseían un mayor contenido técnico que las respectivas europeas, quizás fruto del hecho que en los Estados Unidos el sistema de concesión de patentes era más exigente que en algunos países europeos, pues no en todas las naciones de Europa el sistema de concesión de patente era con examen, como ocurría en los Estados Unidos.

Si bien Brayton fue quien concibió termodinámicamente el ciclo de la turbina de gas, hubo numerosas propuestas para llevarlo a cabo, como la planteada por Curtis en su patente US 635 919; la figura 103 muestra algunos de los dibujos de esta patente. Esta patente de Curtis fue presentada el 24 de junio de 1895, aunque su publicación se produjo el 31 de octubre de 1899; Curtis hizo esta propuesta antes que su turbina de vapor, mencionada en el epígrafe 4.4. En el dibujo superior de la figura 103 se aprecia la configuración general de la máquina de Curtis, donde hay un compresor específico para el aire y otro para el combustible, llevándose éste a unos depósitos B. C es la cámara de combustión donde los gases, una vez quemados, se expanden en la turbina, tal y como puede apreciarse en el dibujo inferior de la figura 103. A pesar de esta propuesta, y de otras muchas que se hicieron en el mismo ámbito, todavía existía un problema fundamental, y éste era la compresión.

4.6.1. Los primeros turbocompresores

Como se verá en el apartado siguiente, a principios del siglo XX hubo numerosas propuestas para el desarrollo de las turbinas de gas; un elemento común a todas ellas era la compresión previa del aire antes de producirse la combustión de la mezcla gaseosa. Sin embargo el problema radicaba en cómo realizar dicha compresión. Hoy en día son conocidos los problemas vinculados con los turbocompresores, que fueron solucionados con el desarrollo de la Aerodinámica y la Metalurgia, según ya se ha apuntado. Los problemas aerodinámicos de los turbocompresores están relacionados con el desprendimiento rotativo y el límite de funcionamiento estable hasta la *línea de bombeo*. En los textos de Muñoz Torralbo *et al.* (2001), pp. 302-305, Dixon (1981), pp. 166-169 y Cohen *et al.* (1983), pp. 138-143, pueden encontrarse referencias sobre

No. 635,919.
 C. G. CURTIS.
 APPARATUS FOR GENERATING MECHANICAL POWER.
 (The Model.)
 Patented Oct. 31, 1899.
 (Application filed June 24, 1893.)
 8 Sheets—Sheet 5.



No. 635,919.
 C. G. CURTIS.
 APPARATUS FOR GENERATING MECHANICAL POWER.
 (The Model.)
 Patented Oct. 31, 1899.
 (Application filed June 24, 1893.)
 8 Sheets—Sheet 2.

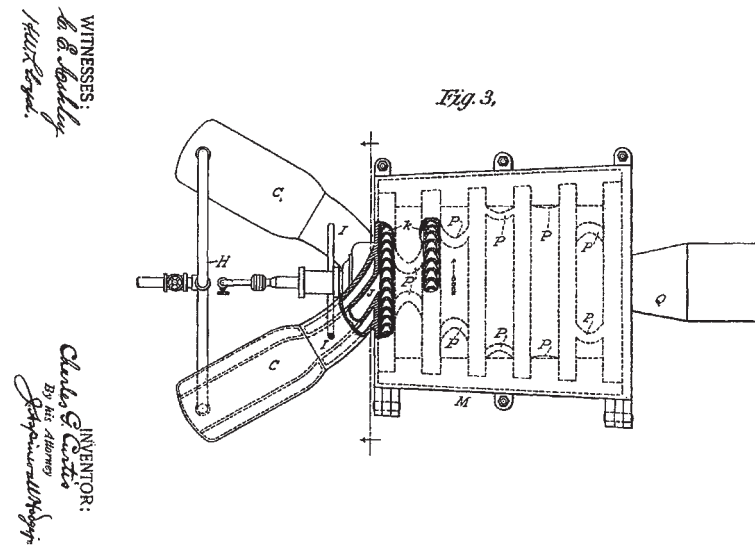


Figura 103.—Algunos dibujos de la turbina de gas de Curtis, según su patente solicitada en 1895 (USPTO, Washington)

estos problemas; para entender la dificultad de resolver estas cuestiones dentro del contexto histórico analizado, recuérdese que Ludwig Prandtl (1875-1953) desarrolló la teoría de la capa límite en 1904, gracias a la cual se produjo un avance en la Mecánica de Fluidos hasta entonces inimaginable. Además de estas cuestiones, los compresores debían estar contruidos con materiales que soportasen los esfuerzos mecánicos y

térmicos a los que debían estar sometidos, por lo que todavía debieron esperarse algunos años hasta que estas cuestiones pudieron ser solventadas.

Independiente de estos problemas, en España se presentaron algunas patentes relativas a turbocompresores que, por desconocimiento, permanecían ajenas a las dificultades citadas. Una de éstas es la ES 28 254, *Perfeccionamientos en compresores y bombas rotorias*, solicitada por Parsons el 24 de julio de 1901. En el documento se describe el objeto de la invención:

«Mi invento consiste en un compresor o bomba del tipo turbina que funciona por el movimiento de unas series o juegos de álabes o paletas móviles entre unas series de álabes fijas, estando las (sic) álabes móviles más separadas unas de otras que en mis turbinas de vapor y construidas con una superficie curva por el lado de succión, y una superficie plana o ligeramente cóncava por el lado de salida, y situada a un ángulo conveniente con el eje de rotación. Las paletas fijas pueden tener unas configuración similar e ir dispuestas en forma análoga en la caja que las encierra a un ángulo cualquiera, pero a veces deben ir colocadas esencialmente paralelas al eje de rotación.»

Como se comprueba, en el documento se hace mención a los álabes en género femenino (*las álabes*). La figura 104 muestra una forma de disposición de este turbocompresor. En ella puede apreciarse la carcasa a en cuyo interior hay una serie de álabes guía b situados a distancias fijas unos de otros, teniendo los álabes guía una sección

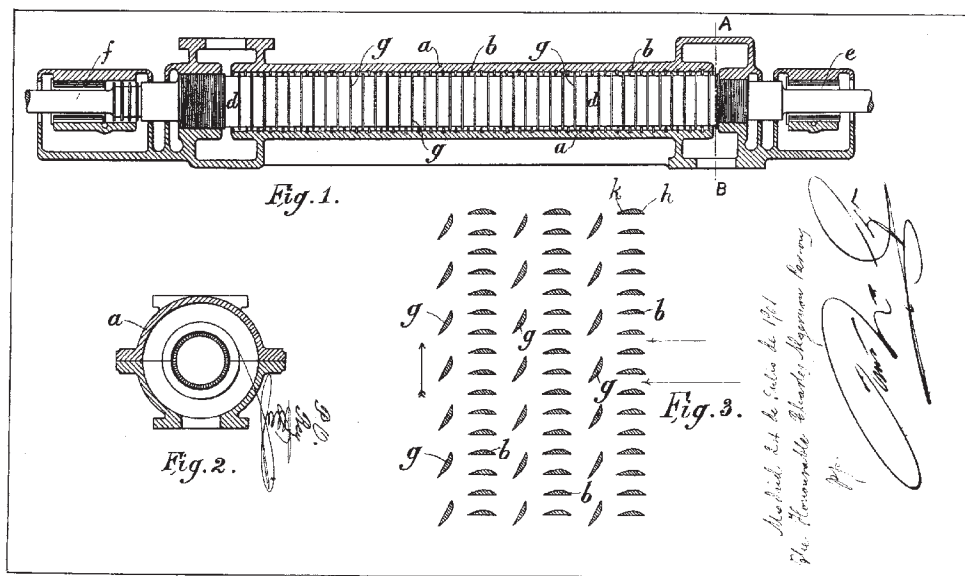


Figura 104.—Algunos dibujos del turbocompresor descrito en la patente ES 28 254, de 1901 (OEPM, Madrid)

preferentemente plano convexa, yendo su convexidad en disminución con más rapidez hacia el borde de *succión* (sic) h que hacia el borde de salida k.

El eje del turbocompresor d, que se apoya sobre los soportes e y f, incorpora los álabes móviles g que alternan entre las hileras de los álabes guía b. El eje d se pone en movimiento por la acción de una turbina de vapor u otro medio acoplado. Parsons también indica que para aumentar la eficacia de la compresión puede enfriarse el compresor mediante una camisa de agua, y estima que para unos álabes guía paralelos al eje del compresor y los álabes móviles formando 30°, el rendimiento del compresor sería del 60%. La puesta en práctica fue certificada el 14 de octubre de 1903 por el Ingeniero Industrial Quintín Fernández Morales. Se abonaron diez anualidades y la patente caducó el 12 de agosto de 1916.

Ésta no fue la única invención de Parsons sobre turbocompresores; la patente ES 36 583, *Perfeccionamientos en compresores, bombas y aparatos análogos del tipo turbina*, solicitada el 7 de agosto de 1905, describe otra configuración de estas máquinas, que puede observarse en la figura 105. En los dibujos se ven una serie de álabes guía a, de modo que el número de éstos no sea múltiplo de los álabes móviles b que haya. Los álabes guía a van sujetos a unas anillas metálicas c, alojadas en las ranuras d labradas a máquina en la envolvente cilíndrica e y sujetas por unos pernos de fijación k. Los álabes guía a presentan una curvatura de manera que cualquier tangente forma un ángulo de unos 45° con los radios. Esta curvatura se da hacia adentro, en el sentido de rotación representado por la flecha, con objeto de contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga. Parsons comprobó esta configuración en la práctica, obteniendo un rendimiento mayor que si la curvatura se hiciera hacia el exterior; además, conseguía que se atenuase el ruido y la vibración producida a mayores velocidades. La puesta en práctica está certificada el 4 de abril de 1908 y la patente caducó el 28 de octubre de 1912 tras abonar seis anualidades.

La *Société des Etablissements Postel-Vinay* presentó alguna patente relacionada con turbocompresores, como la ES 32 546, solicitada el 22 de septiembre de 1903 y que tiene por título *Un procedimiento para la compresión del aire ú otros fluidos elásticos, por medio de los aparatos que se describen*. En el documento se indica claramente cuál es el objeto de la invención:

«Hemos podido averiguar que al transmitir la velocidad al aire u otro fluido elástico, dicha velocidad se puede convertir en presión obligando al fluido a que pase por un conducto que tenga paredes que vayan en convergencia o disminución gradual, y que al estar dicho conducto convenientemente proporcionado pueda convertir toda o una gran parte de la velocidad en presión sin producir al paso del fluido mayor interceptación de la que resulta por la fricción o rozamiento en las paredes del referido conducto. También hemos averiguado que cuando una turbina o rueda giratoria que tiene una serie de álabes cuya abertura no es simétrica, parecidas a las de algunas formas de turbinas, resulta un dispositivo altamente eficaz y de gran rendimiento para transmitir velocidad a un fluido elástico dándosele

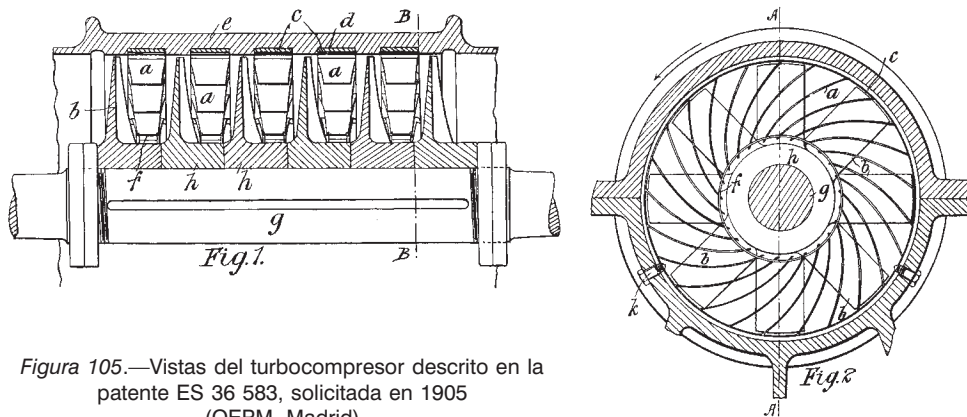


Figura 105.—Vistas del turbocompresor descrito en la patente ES 36 583, solicitada en 1905 (OEPM, Madrid)

entrada al fluido por uno de los lados de la turbina y descargándole por el otro lado a una velocidad mayor que la de los álabes.»

En definitiva, lo que se propone en esta patente es el empleo inverso de una turbina para que haga las funciones de turbocompresor. Para ello se le debe aplicar un trabajo al eje, por ejemplo, mediante una turbina de vapor; incluso en el documento se citan turbinas descritas en otras patentes de la empresa capaces de realizar este cometido (como los documentos ES 32 299, ES 32 301, ES 32 302 y ES 32 303). La figura 106 representa un dibujo con uno de los dispositivos descritos en esta patente.

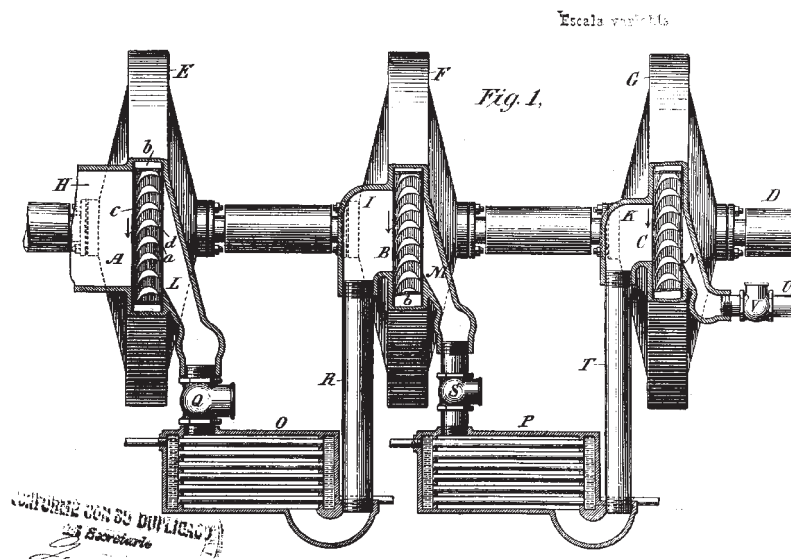


Figura 106.—Una forma de realización del turbocompresor descrito en la patente ES 32 546 (OEPM, Madrid)

En dicha figura A, B, C representan rotores, montados sobre el eje D, que tienen una serie de álabes a rodeados por un cierre b. Los álabes, que no presentan un perfil simétrico, tienen en c su borde de ataque y en d el de salida. Las coronas de álabes A, B, C tienen unas cubiertas E, F y G para garantizar la hermeticidad y evitar las fugas de fluido. La admisión del fluido a cada etapa se hace por los conductos H, I, K, y la descarga por L, M, N, realizando entre cada etapa de compresión una refrigeración del fluido a comprimir mediante los refrigeradores O, P. La patente caducó el 16 de agosto de 1906 tras abonar sólo dos anualidades y sin tener acreditada la puesta en práctica, lo que hace pensar que no se produjo su comercialización.

Para finalizar esta rápida revisión a los primeros *turbocompresores* registrados en España, a continuación se analizan dos de las propuestas realizadas por el ingeniero francés Auguste Rateau. La primera de ellas es la patente ES 40 613 solicitada el 27 de abril de 1907, titulada *Perfeccionamientos en compresores-ventiladores multicelulares*. La figura 107 muestra algunos dibujos de esta invención.

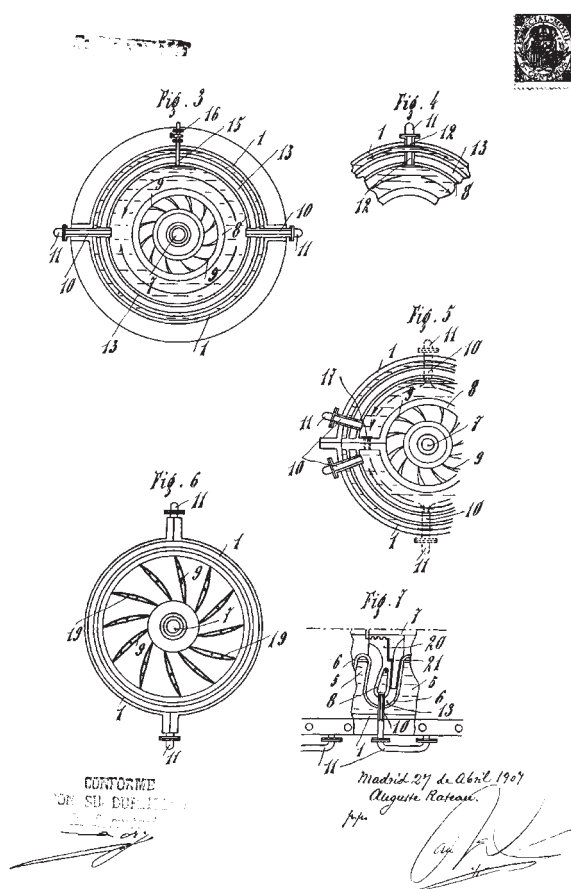


Figura 107.—Algunos dibujos del turbocompresor de la patente ES 40 613 (OEPM, Madrid)

En la patente se propone realizar una compresión lo más próxima a una evolución isoterma; para ello se plantea la instalación de unos diafragmas entre los conductos del compresor por los que circula agua, produciéndose así la refrigeración de la compresión. La puesta en práctica se certificó el 31 de mayo de 1910 y caducó el 1 de enero de 1919 tras satisfacer once anualidades.

El segundo turbocompresor propuesto por Rateau es el que se describe en la patente ES 40 926 solicitada el 7 de junio de 1907 y de título *Perfeccionamientos en los turboventiladores de alta presión*. Ésta es una patente de introducción, es decir, una patente ya solicitada en otro país y que se deseaba registrar en España; como se sabe, esta modalidad de Propiedad Industrial tenía una duración de cinco años, y la patente de Rateau caducó por fenecimiento, al llegar al final de su vida útil. La puesta en práctica se certificó el 9 de julio de 1910. La figura 108 representa algunos dibujos de esta patente.

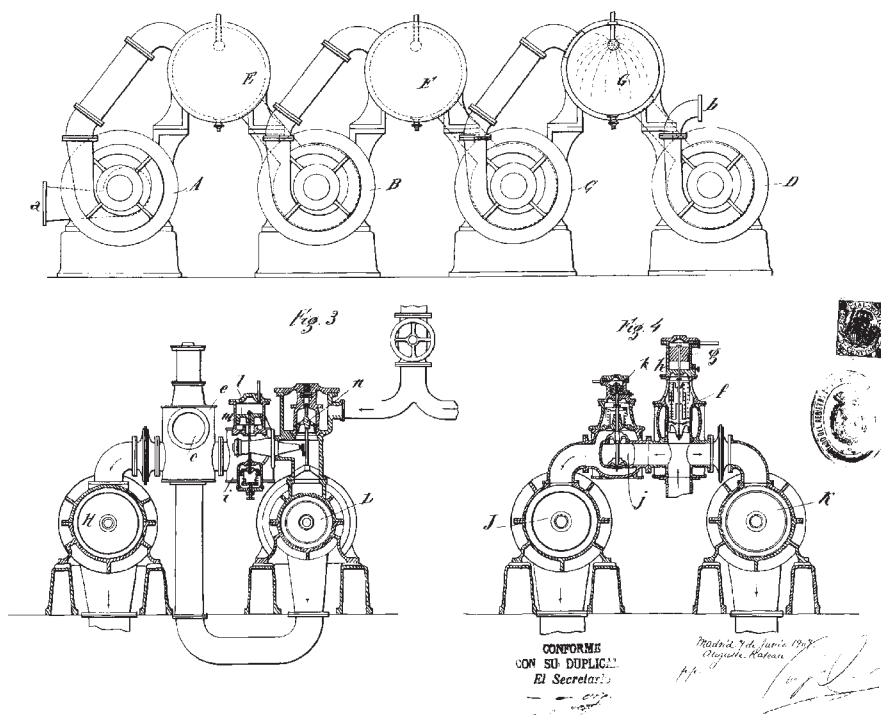


Figura 108.—Algunos dibujos de la patente ES 40 926, presentada en 1907 (OEPM, Madrid)

Esta invención describe un sistema de compresión parecido, en cierto modo, al descrito por la *Société des Etablissements Postel-Vinay* en su patente ES 32 546. El documento describe unos compresores A, B, C, D instalados en serie y accionados por

unas turbinas de vapor H, L, J, K. El aire o fluido comprimido que sale de una etapa de compresión se refrigera en uno de los refrigerantes E, F, G antes de entrar en la siguiente etapa del compresor; para ello se pone en contacto el fluido a comprimir con un chorro de agua fría finamente dividido para aumentar la superficie de contacto, tomándose las precauciones adecuadas para que el agua no sea arrastrada al interior de los compresores.

Así finaliza la revisión hecha a los primeros turbocompresores registrados en España; desde una perspectiva actual llama la atención el hecho de encontrar en varios de estos documentos la refrigeración del fluido entre las diversas etapas de compresión. Sin embargo, a pesar de estas acertadas propuestas termodinámicas, todavía estaba alejada la mayoría de edad de estas turbomáquinas.

4.6.2. *Las propuestas primitivas sobre turbinas de gas*

Las turbinas de gas tampoco alcanzaron su edad adulta en los primeros años del siglo XX; sin embargo, este criterio no es completamente compartido por toda la comunidad técnica. En la conferencia ASME/IGTI TURBOEXPO 2003, celebrada en Atlanta, Estados Unidos, los días 16 a 19 de junio de 2003, se presentó una ponencia (*Paper Number GT2003-38069*) por parte de Olav Bolland y Timot Veer de la *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet* (Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología). En esta ponencia se presentaba la turbina de gas del ingeniero noruego Ægidius Elling (1861-1949), desarrollada en 1903³⁹. Según estos autores, Elling empezó sus desarrollos para obtener una turbina de gas en 1884, hecho que —dicen— se consiguió el 27 de junio de 1903 al obtener más trabajo de expansión que de compresión y generar un trabajo neto de 8,2 kW. La figura de Elling no sólo ha sido reconocida por sus compatriotas de principios del siglo XXI; el Profesor Riti Singh, de la Universidad de Cranfield (Reino Unido), en un artículo del año 2001⁴⁰ también cita al ingeniero noruego como la persona que desarrolló la primera turbina de gas que proporcionó trabajo útil. Hay que citar que Elling solicitó una patente en España, si bien no tenía relación alguna con turbinas de gas (se trata de la patente ES 57 234, sobre un dispositivo para mejorar la suspensión en carruajes, presentada el 10 de enero de 1914).

Dejando a un lado la posibilidad que Elling obtuviera trabajo útil con su turbina, debe destacarse que hubo numerosos intentos por conseguir una máquina de este tipo. Probablemente una de las invenciones más conocidas relativas a turbinas de gas de este periodo sea la de los franceses René Armengaud y Charles Lemale. En su texto, Muñoz Torralbo *et al.* (2001), p. xv, indican que Armengaud y Lemale construyeron en 1906 una

³⁹ Un resumen de esta conferencia puede verse en la página web de la *Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet*, http://www.ept.ntnu.no/elling/Elling_presentation_ASME2003_Bolland.pdf según su URL del mes de febrero de 2004.

⁴⁰ Este artículo se puede encontrar en la página web de la Universidad de Cranfield, según su URL del mes de febrero de 2004, <http://www.cranfield.ac.uk/sme/imeche/imechelecture.pdf>.

turbina de gas con un compresor centrífugo de 25 escalonamientos diseñado por Ra-teau y construido por *Brown Boveri*. Este compresor, que absorbía 245 kW con una rela-ción de compresión 3:1 y un rendimiento del 70%, estaba accionado por una turbina Curtis de dos escalonamientos. El rendimiento global de la turbina no superó el 3,5% con una temperatura de entrada a la turbina de 560 °C. Desgraciadamente no ha queda-do registrado que ambos presentaran en España una patente sobre esta turbina de gas, aunque sí hay constancia de otras patentes solicitadas por Lemale.

Así, en 1903 presentó dos patentes relativas a lo que él llamó *Un turbo-motor de combustión interna*. Bajo este nombre se encuentra la patente ES 31 262, presentada el 28 de febrero de 1903. La figura 109 muestra los dibujos de esta invención.

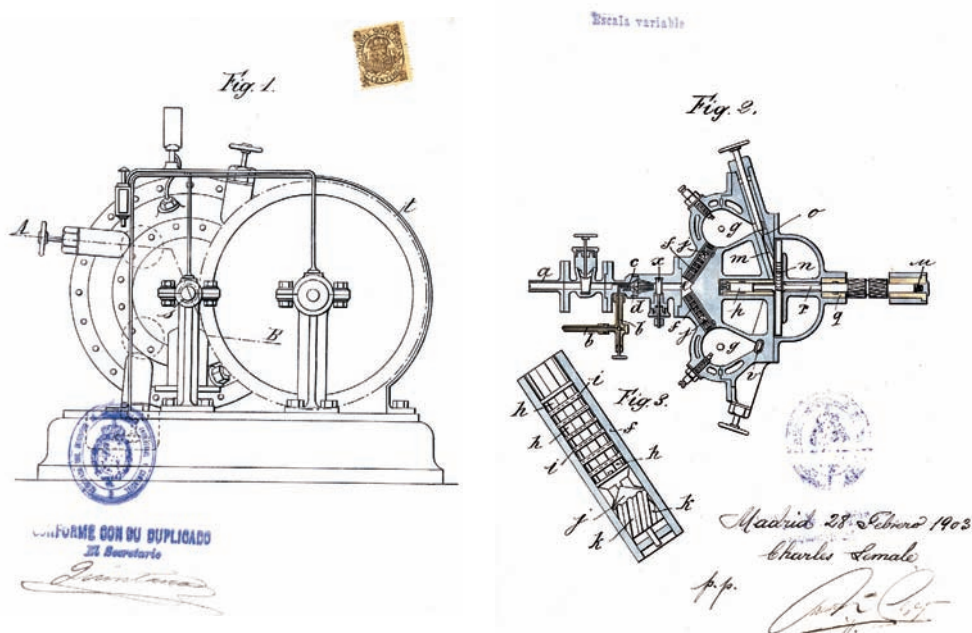


Figura 109.—Dibujos de la patente ES 31 262 de Charles Lemale, año 1903 (OEPM, Madrid)

Aire comprimido procedente de un depósito iba por el conducto a, mientras que el combustible bajo presión penetraba por el conducto b y se distribuía por una boca de salida c. El combustible líquido se pulverizaba al chocar sobre un cono d provisto de unos canales laterales por donde penetraba el aire, que arrastraba al combustible pulverizado mezclándose con él. Un regulador centrífugo graduaba la admisión de la mezcla estrechando el paso mediante un calibrador x. Al abandonar la cámara e la mezcla se repartía por varios conductos f que la guiaban hacia la cámara de combustión g. Estos conductos f servían para formar una mezcla muy ho-

mogénea y se componían de unos anillos agujereados h separados por unas telas metálicas i.

La mezcla, antes de llegar a la cámara de combustión g, tropezaba con un cono j que tenía unos canales laterales k, siendo dicho cono móvil y graduando la admisión por el movimiento de traslación que se generaba debido a las diferencias de presiones entre las cámaras de combustión y la presión de salida de la mezcla. El cono también podía adquirir un movimiento de rotación debido al movimiento de la mezcla a través de sus canales k; este movimiento giratorio favorecía la turbulencia de la mezcla y la ignición al contacto de los gases calientes presentes en las cámaras de combustión. Al llegar la mezcla a las cámaras de combustión g se inflamaba, escapándose los gases de combustión por las toberas m, en donde se dilataban y adquirían gran velocidad que se transmitía a los álabes de la turbina n, que iba calzada sobre un eje r y descansaba en dos cojinetes soportes p y q. La presión axial a la que estaba sometida la turbina n se compensaba mediante el rodamiento u, sostenido por un soporte especial. La configuración geométrica de las cámaras de combustión podía ser esférica u ovoide, siendo su número indeterminado. Existía un conducto que las unía entre sí para compensar las diferencias de presión existentes entre ellas, y había unas válvulas o que graduaban la salida de los gases de escape.

Lemale expone que el ciclo de esta turbina tiene cuatro fases, como si fuesen los cuatro tiempos del motor de combustión interna alternativo: 1) compresión previa del aire, 2) combustión a presión constante, 3) expansión completa de los gases, y 4) escape. También hace otro razonamiento termodinámico sobre el funcionamiento de su máquina, pues establece que la temperatura de los gases de escape es casi la misma que la de la mezcla explosiva antes de la combustión; de ahí Lemale infiere que «*todas las calorías que despide la combustión han sido transformadas en trabajo*» debido a que las pérdidas por las paredes son casi nulas porque «*hay fuga continua de los gases. La pared una vez caldeada, ya no vuelve a enfriarse más*». Existen algunos puntos que no quedan claros en esta descripción, como la forma en que se realiza la combustión; Lemale indica que la mezcla combustible se inflama al entrar en contacto con los gases calientes de la combustión, pero no se indica cómo se realiza inicialmente el proceso.

Lemale también propone el empleo de escalonamientos cuando la turbina esté sometida a elevadas presiones para poder aprovechar adecuadamente la expansión de los gases. La patente tiene certificada su puesta en práctica el 30 de mayo de 1906, en los Talleres de José Ramos, en la calle Ayala, 37, de Madrid. Se abonaron cinco anualidades, y la patente caducó el 8 de enero de 1910.

Unos meses después de presentar esta patente, el 7 de noviembre de 1903, Lemale propuso nuevos perfeccionamientos en su invención; para ello solicitó la patente ES 32 836. En ella, el ingeniero francés, expone cuáles son las mejoras de su invención:

- «1) En no efectuar la mezcla de aire y de combustible pulverizado más que en el momento mismo en que esta mezcla va a penetrar dentro de las cámaras de combustión y esto justo en la entrada de dichas cámaras.
- 2) En dar a las cámaras de combustión una forma tal que la pared interna abrace la vena gaseosa a medida que su volumen crece por consecuencia de la dilatación producida por la combustión.
- 3) En construir las cámaras de combustión con una materia refractaria muy resistente y que impida las pérdidas de calor.
- 4) En favorecer la continuidad del encendido de la mezcla gaseosa determinada por una chispa eléctrica, disponiendo dentro de dichas cámaras un hilo de platino mantenido al rojo por la combustión de dicha mezcla gaseosa.»

Los dibujos de esta patente no se encuentran en buen estado de conservación, lo que no ha permitido incluirlos en estas páginas; sin embargo, la configuración de la invención es muy parecida a la vista en la anterior patente española ES 31 262. La vida de esta patente fue mayor que la de su hermana, pues caducó tras haber sido abonadas doce anualidades y ponerse en práctica, el 3 de diciembre de 1906, en los mismos Talleres de la calle Ayala, 37, de Madrid.

A modo de curiosidad merece la pena citarse que en estas patentes de Lemale aparece un poder suyo para la tramitación en España de las mismas; pues bien, este poder está firmado ante el Gabinete del Ingeniero Consultor M. Armengaud, ubicado en el 23 Boulevard de Strasbourg de París (véase la figura 110). No se ha podido determinar si este ingeniero estaba relacionado con René Armengaud, con quien Lemale realizaría en 1906 otro prototipo de turbina de gas, aunque cabe sospechar la posibilidad de alguna relación familiar entre ambos.

Además de las citadas anteriormente, Lemale presentó otras patentes en España; cabe destacar la ES 54 178 presentada en noviembre de 1912 sobre un sistema de generación de vapor, aunque no se ha considerado objeto de este estudio.

Además de estas invenciones de Lemale, en España se presentaron otras patentes que pretendían emular el comportamiento de una turbina de gas. A continuación se hará una breve revisión de dos de las numerosas patentes que proponían desarrollar este tipo de ingenios, si bien en algunos casos estos documentos están muy alejados de la concepción actual que se tiene sobre las turbinas de gas. Pierre Rambal, residente en Zurich, solicitó el 27 de abril de 1905 la patente ES 36 025 *Una turbina de gas que funciona con vacío para gases de combustión de materias combustibles cualesquiera*. El documento comienza comentando la necesidad e importancia de los compresores en las turbinas de gas, diciendo que en muchos casos el compresor es una turbina invertida pudiendo emplearse cualquiera de las turbinas conocidas (Parsons, Rateau u otras). La figura 111 muestra los dibujos correspondientes a esta invención.

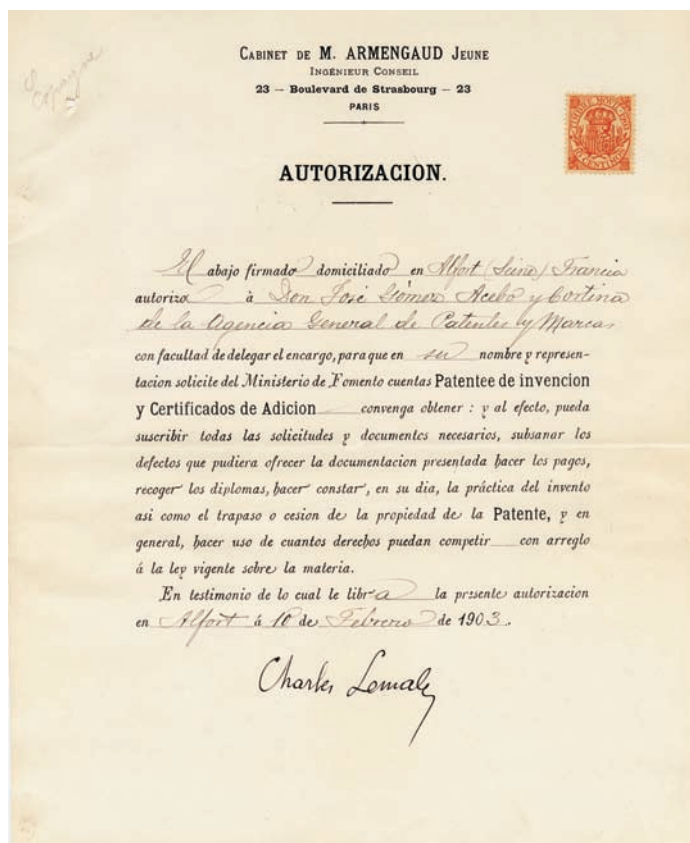


Figura 110.—Autorización de Lemale al agente español correspondiente a la patente española ES 31 262. Obsérvese el membrete del representante francés, apellidado Armengaud como su socio (OEPM, Madrid)

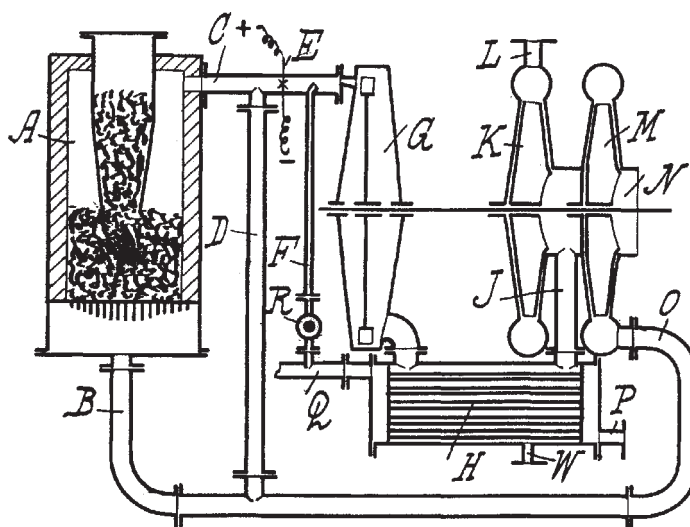


Figura 111.—Dibujos de la patente ES 36 025, solicitada el 27 de abril de 1905 (OEPM, Madrid)

El funcionamiento de la invención es el siguiente: al generador de gas A (que no indica cómo está constituido, pero cabe pensar que sea gas procedente de la combustión de carbón) entra aire a presión procedente del conducto B. La combustión puede hacerse, según el solicitante, bien a presión constante o a volumen constante, sin que el modo elegido sea relevante bajo el criterio de este documento. La ignición se realiza mediante una chispa eléctrica E, llegando el aire de combustión mediante el conducto D al tubo C, que hace de cámara de combustión, y conduce los gases producidos y calientes a la turbina G. Los gases que se expanden en la turbina lo hacen hasta una presión inferior a la atmosférica. A la salida de la turbina, los gases quemados se enfrían en el refrigerante H y pasan por el conducto J de donde son aspirados por el compresor K y comprimidos hasta la presión ambiente. Después, el compresor M aspira por el conducto N el aire atmosférico y lo comprime hasta la presión del generador al cual llega por el conducto O. Algunas de las propuestas realizadas en esta patente son llamativas, aunque no se entiende cómo se evitarían problemas como el retroceso de llama en la zona de combustión. La patente tiene acreditada su puesta en práctica el 10 de abril de 1908, en los talleres de D. José Ramos López, en la calle Ayala, 37, de Madrid. Caducó el 1 de enero de 1916 tras satisfacer diez anualidades.

La patente ES 36 098, solicitada el 20 de mayo de 1905 por Paul Klötzer, residente en Berlín, describe unas *Mejoras introducidas en las turbinas de explosión*, que se ilustran en la figura 112.

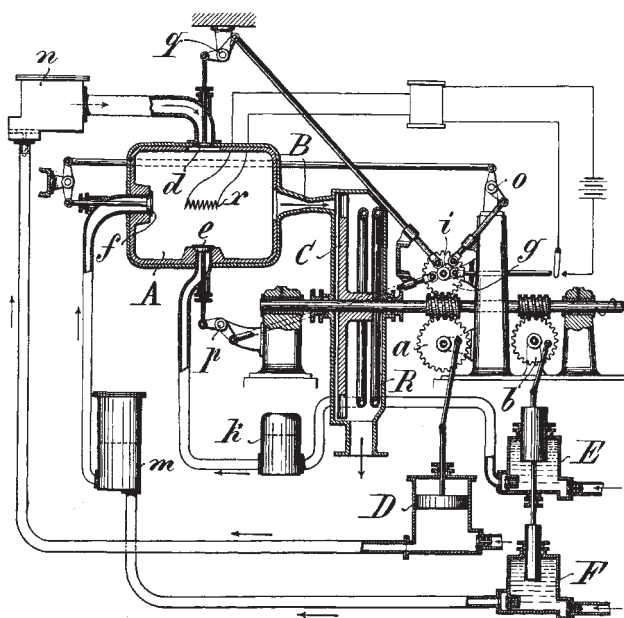


Figura 112.—Dibujo de la máquina descrita en la patente ES 36 098 (OEPM, Madrid)

*Madrid 20 de Mayo de 1905.
Paul Klötzer*

En la invención se describe que la compresión del aire se realiza mediante un compresor alternativo D, que lo conduce a la cámara de combustión A; además a esta cámara llega el combustible mediante la bomba E, así como vapor de agua a través del dispositivo E; la admisión de estos compuestos en la cámara A se hace a través de las válvulas d, e, f. En la cámara A se produce la combustión de la mezcla, expandiéndose los gases de escape por la tobera B hacia la turbina C. Llama la atención el empleo de compresores alternativos, propuesta diferente de las actuales turbinas de gas. La puesta en práctica está certificada el 26 de noviembre de 1907 en los talleres de D. José Ramos López, en la calle Ayala, 37, de Madrid. Caducó el 1 de enero de 1916 tras abonar diez anualidades.

Tuvieron que pasar más de veinte años desde que se hicieron estas propuestas hasta que en 1930 Frank Whittle, entonces un cadete de la Royal Air Force, presentase una patente en el Reino Unido sobre *Mejoras relativas a la propulsión de aeronaves y otros vehículos*. Ésta fue la primera patente de Whittle sobre un turborreactor y de ella se derivarían los primeros propulsores aeronáuticos a reacción. La figura 113 muestra los dibujos de esta invención, patente británica GB 347 206.

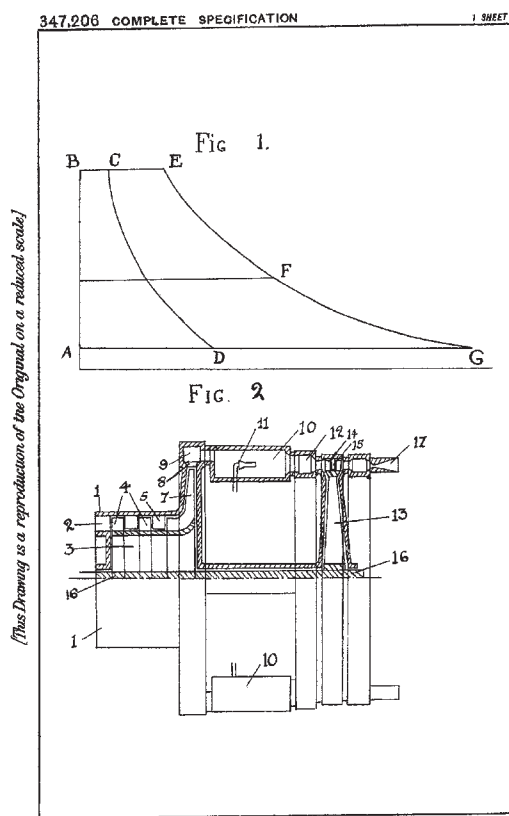


Figura 113.—Dibujos de la primera patente británica de Whittle, GB 347 206, de 1930 (TPOUK, Newport)

Si bien esta patente no fue presentada en España, y aunque quede fuera del periodo de estudio de este texto, se ha considerado útil hacer una breve referencia a ella dada la importancia que tuvo Whittle y esta invención en el desarrollo posterior de los aerorreactores. En esta figura se aprecia la evolución termodinámica del ciclo que propone Whittle, así como una forma de realización de su invención. La línea AG representa la presión atmosférica, DC es el proceso de compresión, CE es la combustión a presión constante, EF representa la porción de la expansión que se emplea para realizar el trabajo de compresión y FG es la expansión hasta la atmósfera que genera empuje por la reacción del fluido. También en dicha figura se aprecia un dibujo de la invención, donde 1 es el compresor con sus tomas de aire 2, 3 el rotor, de manera que el aire que es admitido va evolucionando por dicho compresor hasta llegar a los álabes 7 de otro compresor, centrífugo, desde donde pasa a unos difusores 8 que llevan el aire comprimido a la cámara de combustión 10. Ahí el aire se mezcla con el combustible que es introducido mediante los inyectores 11; los gases, una vez quemados, se expanden en una turbina 13 que, según indica Whittle, puede ser del tipo De Laval o Curtis.

En buena parte puede considerarse que esta patente de Whittle abre una nueva etapa en el desarrollo de las turbinas de gas; lamentablemente, el estudio de la evolución posterior de estas máquinas queda fuera del ámbito de investigación de este trabajo. En el documento de Meher-Homji (1998), puede obtenerse una mayor información sobre el desarrollo inicial del turborreactor de Whittle.

A lo largo de este capítulo se han visto las invenciones más destacables relativas a turbomáquinas térmicas, empezando con las turbinas de vapor. Cabe destacar que aquí también se da el esquema ya comentado en los anteriores capítulos sobre invenciones *radicales* e invenciones *incrementales*. Se ha podido comprobar que se repite la casuística de unas pocas invenciones que establecen el campo técnico (turbinas de Parsons, De Laval, Rateau, Curtis) y muchas invenciones menores que las desarrollan y perfeccionan. No es posible establecer lo mismo para las turbinas de gas, ya que en el periodo analizado no se desarrollaron las grandes invenciones *radicales* que la definieron (como la patente británica de Whittle), aunque todo hace pensar que este esquema de invenciones *mayores* y *menores* también se repite en este caso. Lo mismo cabe expresar en lo que a los turbocompresores se refiere, ya que su perfeccionamiento estuvo vinculado al de la Aerodinámica y la Metalurgia, como en el caso de las turbinas de gas y los turborreactores. Si bien había un desarrollo teórico y práctico de estas turbomáquinas, su funcionamiento a elevados rendimientos no fue posible hasta que se dieron los avances científicos que permitieron solventar los problemas técnicos que aparecían en estas máquinas. Ello viene a corroborar la hipótesis de la convergencia tecnológica, en este caso de las turbinas de gas y los turbocompresores con las Ciencias de los Materiales y la Mecánica de Fluidos.

5. MÁQUINAS TÉRMICAS E HISTORIA ECONÓMICA

En los tres capítulos previos se ha hecho una revisión de las invenciones más relevantes que fueron patentadas en España durante el periodo 1826-1914 relativas a las tres grandes ramas de las máquinas térmicas: máquinas de vapor alternativas, motores de combustión interna alternativos y turbomáquinas térmicas. En dichos capítulos se ha hecho una revisión descriptiva de las patentes más relevantes, tanto sobre invenciones *radicales* como *incrementales*.

A lo largo de este capítulo se reflexiona sobre la evolución histórica de estas tecnologías y su relación con la economía española. Para ello se presentan inicialmente una serie de tablas en las que se resumen diversos parámetros relevantes: la distribución de invenciones por campos técnicos analizados, origen de los solicitantes y lugar de residencia, así como el número de patentes que llegaron al final de su vida útil. También se analiza la evolución de la potencia en las máquinas que supusieron invenciones radicales para cada rama de este sector técnico, de manera que quede ilustrado el aumento de potencia específica según el tipo de máquina térmica considerada.

Por último se intenta averiguar si el estudio llevado a cabo en esta investigación sirve para responder a algunas de las preguntas establecidas en el epígrafe 1.7, es decir, a ciertas cuestiones que la Historia Económica plantea en los análisis sobre procesos de innovación, cambio técnico y crecimiento económico.

5.1. Patentes relativas a máquinas térmicas

A lo largo de este epígrafe se sistematiza parte de la información estudiada durante la investigación que ha permitido localizar las invenciones descritas en las páginas anteriores. Se trata, en definitiva, de analizar en qué ramas tecnológicas se patentaba más y de dónde procedían los inventores, teniendo también en consideración la duración de las concesiones como indicador de impacto.

5.1.1. Análisis estadístico

Antes de iniciar el estudio específico referente a las máquinas térmicas, conviene ubicar dicho sector en el contexto nacional de la época. Tal y como se indicó en el epígrafe 1.6, durante el periodo objeto de estudio se presentaron en España unas 65.000 patentes, de las que 1.302 correspondían a máquinas térmicas, es decir, que un 2% del total de las patentes registradas estaban relacionadas con el sector analizado. En la obra de Sáiz (2002 a), se hace un estudio sobre la distribución de patentes en diversos sectores productivos durante el periodo 1759-1900. Sáiz muestra la relevancia de algunos campos tecnológicos estratégicos cuantificando las solicitudes de patentes presentadas, resultando que al sector siderometalúrgico le correspondía el 5,5%, al eléctrico el 4,1% y al ferroviario el 3,7%. Se aprecia que el porcentaje que representaban las patentes sobre máquinas térmicas (el 2%) era del mismo orden de magnitud que en los otros ámbitos mencionados, aunque el número de patentes en este sector era menor que en aquéllos. En cualquier caso debe recordarse que los periodos analizados no son exactamente los mismos.

El primer análisis que aquí se realiza procede de la información obtenida en la tabla 2, que ilustra el porcentaje y número de patentes que se protegieron en España en el periodo objeto de estudio en este trabajo, relacionado con cada una de las tres grandes líneas tecnológicas: 1) máquinas de vapor alternativas 2) motores de combustión interna alternativos, motores de aire caliente y compresores alternativos, y 3) turbomáquinas.

TABLA 2.—Porcentaje y número de patentes presentadas en España entre 1826 y 1914 sobre máquinas térmicas, según su especialidad

Tipo de máquina térmica	% sobre el total (número de patentes)
MV.	23,20 (302)
MAC, MCIA, CA.	55,99 (729)
TM.	20,81 (271)
Total	100,00 (1.302)

Para evitar la repetición de estos campos tecnológicos, en las tablas usadas a lo largo de este capítulo se emplean los siguientes acrónimos para hacer referencia a dichos campos y obviar así su denominación completa:

- CA: Compresores Alternativos
- MAC: Motores de Aire Caliente
- MCIA: Motores de Combustión Interna Alternativos
- MV: Máquinas de Vapor Alternativas
- TC: Turbocompresores
- TG: Turbinas de Gas
- TM: Turbomáquinas
- TV: Turbinas de Vapor

Según se desprende de esta tabla, la rama en que se solicitaron más patentes fue la de los motores de combustión interna alternativos, con más de la mitad de las solicitudes sobre el total de máquinas térmicas, mientras que las patentes de máquinas de vapor alternativas y turbomáquinas rondaban el 22% de las solicitudes cada una de ellas. Según estos datos, fue en los MCIA donde se concentraron los procesos de innovación. Hay que considerar que la industria de bienes de equipo se instaló en España durante el último tercio del siglo XIX, siendo *La Maquinista Terrestre y Marítima* quizás la empresa más representativa de este sector; en esa época en que comenzó la construcción nacional de máquinas de vapor alternativas, éstas ya estaban muy desarrolladas y probablemente la aportación tecnológica española a la innovación en este sector fue limitada. Sin embargo, la aparición de los MCIA coincidió con el desarrollo de la industria nacional de construcción mecánica, lo que pudo fomentar la concentración de esfuerzos e innovación en este sector en detrimento de las máquinas de vapor alternativas. En cuanto a las turbomáquinas, su menor presencia quizás pueda explicarse debido a que su importancia económica se produjo ya avanzado el siglo XX. La tabla 3 muestra la distribución de solicitudes por campos tecnológicos con un mayor grado de detalle.

TABLA 3.—Porcentaje y distribución de las patentes analizadas según su especialidad

Tipo de máquina térmica	% sobre el total (número de patentes)	
MV	23,20 (302)	
MCIA / MAC / CA	Ciclo Otto	3,15 (41)
	Ciclo Diesel	0,69 (9)
	Sin especificar	51,77 (674)
	CA	0,38 (5)
	Total MCIA / MAC / CA	55,99 (729)
TM	TV	18,43 (240)
	TG	1,54 (20)
	TC	0,84 (11)
	Total TM	20,81 (271)
Total	100,00 (1.302)	

Del análisis de esta tabla se ve que casi el 56% de las patentes correspondían a motores de aire caliente, motores de combustión interna alternativos y compresores alternativos; en la mayoría de ellos no se especificaba el tipo del motor objeto de la invención, sólo en 41 patentes (el 3,15% del total) se indicaba que la invención era sobre motores tipo *Otto*, y únicamente 9 de ellas (0,69% del total) correspondían a motores tipo *Diesel*. El 18% de las solicitudes se refieren a turbinas de vapor, y un escaso 1,5% tratan sobre turbinas de gas.

La tabla 4 muestra los países de residencia de los solicitantes de las patentes objeto de estudio, sin especificar el tipo de máquina térmica. Aunque no es posible asegurarlo en todos los casos, puede sospecharse que, en la mayoría de ellos, el país de re-

TABLA 4.—Países de residencia de los solicitantes de patentes de máquinas térmicas

País de residencia del solicitante	Patentes de máquinas térmicas solicitadas (%)
Alemania.	13,67
Argentina	0,31
Australia	0,31
Austria	0,61
Bélgica	2,15
Canadá.	0,46
España	15,82
Estados Unidos	9,91
Finlandia.	0,08
Francia	30,26
Holanda	1,15
Hungría.	0,08
Italia	1,77
Luxemburgo	0,15
Nueva Zelanda	0,31
Reino Unido	11,83
Rusia	0,77
Suecia	1,15
Suiza	2,30
Indeterminado	6,91
Total	100,00
Número de patentes.	1.302

sidencia coincidía con la nacionalidad del solicitante, aunque hay excepciones a esta hipótesis (como las patentes del suizo Zoller, vistas en el epígrafe 3.8.2, que residía en Turín cuando solicitó sus patentes en España). Esta imprecisión se debe a que, en la época de estudio y para la concesión de patentes, la Administración Española sólo pedía al solicitante que indicara su lugar de residencia, y no su nacionalidad.

Se comprueba que hay cinco grandes focos de procedencia tecnológica: el 30% de las patentes proceden de Francia, casi el 16% de España, alrededor del 14% de Alemania, un 12% del Reino Unido, y prácticamente el 10% de los Estados Unidos. Llama la atención que en un 7% de los casos no es posible determinar la procedencia de los solicitantes. El resto de las patentes fueron pedidas por solicitantes de catorce países distintos, la mayoría de ellos europeos.

Esta distribución de la procedencia de los solicitantes viene a coincidir con el planteamiento que hace Sáiz sobre el origen de la dependencia tecnología española. Según este autor, Sáiz (2002a), durante el periodo 1759-1900 casi el 58% de las patentes presentadas en España fueron solicitadas por extranjeros, y la mayor parte de estos solicitantes, casi un 20%, procedían de Francia. A la vista de la tabla 4 se observa que para el periodo 1826-1914 esta dependencia asciende a casi el 85% en el campo de las máquinas térmicas y los principales países de procedencia de esta tecnología eran los mismos que establece Sáiz: Francia, Alemania, Reino Unido, y los Estados Unidos.

La tabla 5 representa un análisis más detallado del contenido de la tabla 4, pues en ella se expone el país de residencia de los solicitantes de patentes españolas según las tres grandes trayectorias tecnológicas de máquinas térmicas: máquinas de vapor alternativas; motores de aire caliente, motores de combustión interna alternativos y compresores alternativos, y turbomáquinas.

TABLA 5.—Países de residencia de los solicitantes de patentes de máquinas térmicas, según sus tres grandes trayectorias tecnológicas

País de residencia del solicitante	Patentes sobre MV (%)	Patentes sobre MAC, MCIA, CA (%)	Patentes sobre TM (%)
Alemania	9,93	15,91	11,81
Argentina	0,66	0,27	—
Australia	0,99	—	0,37
Austria	1,32	0,14	1,11
Bélgica	2,99	2,61	—
Canadá	0,33	0,69	—
España	21,85	17,56	4,43
Estados Unidos	14,24	7,96	10,33
Finlandia	—	0,14	—
Francia	24,51	28,12	42,43
Holanda	1,66	1,23	0,37
Hungría	—	0,14	—
Italia	0,99	2,47	0,74
Luxemburgo	—	0,27	—
Nueva Zelanda	0,33	0,27	0,37
Reino Unido	8,61	11,66	15,86
Rusia	—	1,10	0,74
Suecia	0,99	0,69	2,58
Suiza	0,99	1,92	4,80
Indeterminado	9,61	6,86	4,06
Total	100,00	100,00	100,00
Número de patentes	302	729	271

Analizando la tabla 5 se observa que la dependencia tecnológica española del exterior es elevadísima, especialmente para el caso de las turbomáquinas (más del 95%). Las hipótesis establecidas por Sáiz (2002 a), en el sentido de que la mayoría de la tecnología patentada en España procede de otros países, se confirman para cada una de las tres grandes trayectorias tecnológicas, siendo Francia el país de residencia de la mayor parte de los solicitantes de patentes de máquinas térmicas: en el caso de las máquinas de vapor alternativas y los motores de combustión interna rondan el 25%, y para las turbomáquinas supera el 40%.

Como también apunta Sáiz (2002 a), debe destacarse que, sin embargo, en muchos casos dicha tecnología no era de procedencia francesa, sino que eran ciudadanos residentes en ese país los que patentaban en España dichas innovaciones que, a

su vez, provenían de otros países. Es decir, que en numerosas ocasiones el origen francés de las invenciones debe entenderse como un interés de empresarios e inventores franceses por invertir en España en diversos sectores de bienes de equipo, que resultan ser los más innovadores de la época de análisis. Esta hipótesis coincide con los resultados ofrecidos en el estudio de Tortella (2000).

La tabla 6 proporciona más información de uno de los sectores citados en la tabla 5, ya que en ella se desgrena la residencia de los solicitantes de patentes en el sector tecnológico de los motores de combustión interna alternativos, tanto en los casos en que no especificaban el tipo de ciclo seguido por el motor, o si éste evolucionaba según un ciclo Otto o un ciclo Diesel. La dependencia exterior en este sector era de más del 82%, y los países de origen de las invenciones eran los siguientes: Francia el 28% de las patentes, Alemania el 16%, Reino Unido sobre el 12% y Estados Unidos el 8%; en casi un 7% de los casos no es factible determinar la procedencia de los solicitantes. Resulta llamativo el elevado número de patentes en las que no se concreta el tipo de evolución seguida, y el escaso número de invenciones sobre motores Otto y Diesel. En el caso de patentes sobre estos tipos de motores, se observa que más de la mitad de los solicitantes de estas patentes residen en Alemania, país de origen de Otto y Diesel y donde se desarrolló más rápidamente esta tecnología. En cualquier caso se confirma la dependencia tecnológica en este sector.

TABLA 6.—Países de residencia de los solicitantes de patentes de motores de combustión interna alternativos, según el tipo de MCIA desarrollado

País de residencia del solicitante	Patentes sobre MCIA sin especificar el ciclo (%)	Patentes MCIA, ciclo Otto (%)	Patentes MCIA, ciclo Diesel (%)
Alemania	13,05	53,66	55,56
Argentina	0,30	—	—
Austria	0,15	—	—
Bélgica	2,67	2,44	—
Canadá	0,74	—	—
España	17,95	17,07	—
Estados Unidos	8,45	2,44	—
Finlandia	0,15	—	—
Francia	29,67	7,32	11,11
Holanda	1,19	—	—
Hungría	0,15	—	—
Italia	2,37	2,44	—
Luxemburgo	0,30	—	—
Nueva Zelanda	0,30	—	—
Reino Unido	12,02	2,44	33,33
Rusia	1,19	—	—
Suecia	0,74	—	—
Suiza	1,93	2,44	—
Indeterminado	6,68	9,76	—
Total	100,00	100,00	100,00
Número de patentes	674	41	9

En lo que se refiere al origen de los inventores que presentaron patentes sobre compresores alternativos, hay que destacar el reducido número de solicitudes presentadas. La mayoría de las patentes sobre compresores alternativos también describían la máquina como motor de combustión interna. Sólo se han encontrado cinco patentes que traten exclusivamente de compresores alternativos, y todas proceden del extranjero, concretamente de Alemania, Francia, Holanda, Italia y el Reino Unido, por lo que es fácil concluir que en este campo la dependencia tecnológica se mostraba absoluta, y la cuota de representación de cada una de las anteriores naciones citadas era equitativa.

En la tabla 7 se presentan los datos sobre los países de residencia de los solicitantes de patentes relativas a turbomáquinas térmicas, tanto de manera general sin distinguir el tipo de turbomáquina, como atendido a la clase de turbomáquina patentada. Puede apreciarse que, para este sector, la dependencia tecnológica exterior llega a más del 95%, y se mantiene la distribución de patentes procedente de los cuatro países anteriormente citados: el 42% de las patentes sobre turbomáquinas fueron presentadas por solicitantes de Francia, casi el 16% del Reino Unido, el 12% de Alemania y el 10% de los Estados Unidos.

TABLA 7.—Países de residencia de los solicitantes de patentes de turbomáquinas, según el tipo de turbomáquina desarrollado

País de residencia del solicitante	Patentes sobre TM (%)	Patentes sobre TV (%)	Patentes sobre TG (%)	Patentes sobre TC (%)
Alemania	11,81	12,50	10,00	—
Australia	0,37	0,42	—	—
Austria	1,11	1,25	—	—
España	4,43	4,17	10,00	—
Estados Unidos	10,33	11,67	—	—
Francia	42,43	42,92	40,00	36,36
Holanda	0,37	0,42	—	—
Italia	0,74	0,83	—	—
Nueva Zelanda	0,37	0,42	—	—
Reino Unido	15,86	14,58	25,00	27,27
Rusia	0,74	0,83	—	—
Suecia	2,58	2,92	—	—
Suiza	4,80	3,33	10,00	27,27
Indeterminado	4,06	3,74	5,00	9,10
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Número de patentes . . .	271	240	20	11

Como conclusión al análisis realizado, cabe decir que se comprueba la gran dependencia tecnológica exterior en este sector técnico, que se refleja en el origen de los solicitantes de las patentes estudiadas.

En el caso en que los solicitantes de las patentes sobre máquinas térmicas residiesen en España, independientemente de su nacionalidad, se estudia la región de residencia, con objeto de determinar si existieron zonas geográficas de concentración de estas patentes. La tabla 8 refleja las regiones de residencia de los solicitantes de patentes sobre máquinas térmicas.

TABLA 8.—Distribución de la residencia, por regiones, de los solicitantes de patentes relativas a máquinas térmicas

Región de residencia del solicitante	Patentes sobre máquinas térmicas (%)	Patentes sobre MV (%)	Patentes sobre MAC, MCIA, CA (%)	Patentes sobre TM (%)
Andalucía	6,25	14,81	2,36	9,09
Aragón	0,52	—	0,79	—
Asturias	1,05	—	0,79	9,09
Castilla-León	1,56	3,70	0,79	—
Cataluña	66,67	38,89	80,31	45,46
Madrid	10,94	20,37	7,08	9,09
Murcia	2,60	5,56	0,79	9,09
País Vasco	7,81	9,26	6,30	18,18
Valencia	2,60	7,41	0,79	—
Total	100,00	100,00	100,00	100,00
Número de solicitantes . . .	192	54	127	11

Debe señalarse que no todos estos residentes eran españoles; comprobando la relación nominal de solicitantes de este sector, se observa que alrededor de un 15% de ellos tienen apellidos de procedencia extranjera, lo que hace contemplar la posibilidad de que no fuesen españoles. Por tanto, considerando estos solicitantes como extranjeros residentes en España, la dependencia tecnológica del exterior sería mayor aún, con un valor ligeramente inferior al 90%.

Se constata una gran concentración de solicitantes de patentes de máquinas térmicas en Cataluña, de donde proceden dos tercios del total de los 192 solicitantes distintos existentes. Los otros grandes focos origen de las patentes son Madrid, con casi un 11%, el País Vasco con menos del 8% y Andalucía con algo más de un 6%. Otras regiones tienen porcentajes menores o nulos.

Estos datos se pueden contrastar con las referencias apuntadas por Nadal *et al.* (2003). En esta obra se encuentran diversos parámetros relacionados con la producción industrial y con las máquinas térmicas; así, por ejemplo, se puede ver la evolución en la potencia eléctrica instalada y la producción eléctrica en el periodo 1880-1935 (p. 92), o que el consumo de carbón relacionado con la producción de energía tiene sus máximos en Cataluña, Madrid y País Vasco (p. 85), o bien como la producción siderúrgica entre 1844 y 1912 se concentraba prácticamente en el País Vasco, Andalu-

cía, Asturias y Galicia, Cataluña y Madrid (pp. 146-149). Estos datos, entre otros, vendrían a indicar que las regiones españolas más industrializadas coinciden con las fuentes de desarrollo tecnológico reflejado en las regiones de procedencia de las patentes sobre máquinas térmicas. Otros textos también presentan análisis estadísticos sobre la producción de máquinas de vapor alternativas, como el de Riera (1998), sobre las locomotoras de ferrocarril de *La Maquinista Terrestre y Marítima*. En otra obra de Riera (1993), se analiza la influencia de la aparición de la máquina de vapor en la navegación marítima española. En cualquier caso, los datos estadísticos que se pueden obtener de estos u otros textos permiten comprobar la realidad técnica española de la época: la presencia de empresas como *La Maquinista Terrestre y Marítima* o la *Hispano-Suiza* hicieron de Cataluña la región española más industrializada de la época, lo que viene a reflejarse en los mayores índices de solicitudes de patentes en este sector técnico.

Analizando la tabla 8 se observa que para máquinas de vapor alternativas, la mayor parte de los solicitantes residen en Cataluña (39%), seguida por Madrid (20%), Andalucía (15%) y País Vasco (9%). En ella también se aprecia un incremento en el número de solicitantes de patentes referentes a motores de combustión interna, y su origen prácticamente se ubica en Cataluña (con algo más del ochenta por ciento de los solicitantes), seguido en menor grado por Madrid (7%) y País Vasco (6%). En lo que a turbomáquinas térmicas se refiere, es destacable el reducido número de solicitantes, apenas once, lo que puede hacer a la muestra poco representativa para obtener conclusiones. En este caso se aprecia que Cataluña sigue siendo la región de procedencia de la mayor parte de los solicitantes con casi la mitad de ellos (45%), seguida del País Vasco (18%); otras zonas geográficas presentan porcentajes menores o incluso nulos. A la vista de las anteriores referencias, cabe concluir que la mayor parte de los solicitantes de patentes sobre máquinas térmicas que residían en España lo hacían en Cataluña, Madrid y País Vasco; estas regiones vienen a coincidir con las de mayor industrialización en la España de la época objeto de estudio. Estos resultados vienen a corroborar los datos ofrecidos por Sáiz (2002 b) sobre la distribución regional de los solicitantes de patentes en España, donde se puede comprobar la existencia de diversas zonas geográficas en las que se concentraban los solicitantes de patentes (Cataluña, Valencia, Murcia, Andalucía, Madrid y País Vasco).

En la tabla 9, que recoge las patentes relativas a máquinas térmicas que caducaron por llegar al final de su vida útil, puede apreciarse que la mayor parte de las patentes caducaron antes de llegar al máximo posible de su duración. El porcentaje que se refleja en dicha tabla ha sido calculado en función de los datos de la tabla 3; así, por ejemplo, hay que entender que de las 1.302 patentes que se solicitaron sobre máquinas térmicas (véase tabla 3), sólo 31 de ellas (un 2,38%) caducaron por dicho motivo.

Debe destacarse el reducido número de patentes que llegaron al fin de su vida por caducidad: algo más de un 3% para máquinas alternativas de vapor, un 2% para motores de combustión interna y algo menos del 2% para turbomáquinas. Esto quizás ello deba interpretarse como una muestra de la rápida evolución tecnológica del sector, de

TABLA 9.—Número de patentes que caducaron por llegar al fin de su vida útil, distribuidas por campos técnicos, y su porcentaje

Campo tecnológico	% de patentes de su campo técnico que caducan por llegar al fin de su vida útil		Número de patentes que caducan por llegar al fin de su vida útil	
MV	3,31		10	
MCIA / MAC / CA	Ciclo Otto	4,88	Ciclo Otto	2
	Ciclo Diesel	11,11	Ciclo Diesel	1
	Sin especificar	1,93	Sin especificar	13
	CA	0	CA	0
	Total MCIA/MAC/CA	2,21	Total MCIA/MAC/CA	16
TM	TV	1,67	TV	4
	TG	0	TG	0
	TC	9,09	TC	1
	Total TM	1,85	Total TM	5
Total máquinas térmicas	2,38		31	

manera que en los veinte años de duración de las patentes la mayor parte de ellas quedaban obsoletas por nuevas tecnologías y, por tanto, no tenía sentido mantener los monopolios hasta el fin de su vida teórica.

Además de estas interpretaciones hay otras consideraciones que pueden hacerse sobre esta rápida caducidad, como son estrategias de protección de las empresas extranjeras (de la que se tratará en el epígrafe 5.2.5) o una falta de novedad real o interés técnico de la invención objeto de protección.

Llama la atención que hubo dos patentes sobre motores ciclo Otto así como otra patente sobre un motor Diesel que caducaron por fenecimiento; estos documentos corresponden respectivamente a los privilegios reales ES 5 479 PR y ES 5 694 PR (solicitados por el propio Otto) y a la patente ES 56 605, solicitada por Charles A. Parsons sobre un motor Diesel.

5.1.2. Análisis sobre la potencia de las invenciones radicales

Otra información objeto de reflexión es la que se ofrece en la tabla 10, que muestra la potencia proporcionada por algunas de las invenciones radicales en el campo de las máquinas térmicas, y en la tabla 11 sobre algunas dimensiones relevantes en máquinas de vapor alternativas y motores de combustión interna alternativos⁴¹. En la tabla 10

⁴¹ Estas tablas se han confeccionado con datos obtenidos de los textos de Rolt & Allen (1977), Cummins (1989), Day (1980) y Parsons (1986), así como del folleto de la página web de *The American Society*

TABLA 10.—Evolución de la potencia proporcionada por algunas de las invenciones radicales más relevantes sobre máquinas térmicas

	Newcomen 1712	Watt 1769	Lenoir 1860	Otto 1876	Diesel 1897	Parsons 1890	Rateau 1901	Curtis 1900	TG 1939
Potencia (kW)	4,1	12,7	1	2,3	13,3	350	220	500	4.000

Fuente: Elaboración propia a partir de ciertos textos.

se encuentran referencias a la potencia proporcionada por las máquinas de vapor de Newcomen de 1712 y Watt de 1769, los motores de combustión interna de Lenoir (1860), Otto (1876) y Diesel (1897) o las turbinas de Parsons (1890), Rateau (1901) y Curtis (1901), así como la de la primera turbina de gas puesta en funcionamiento en 1939. Las referencias al motor de Diesel se establecen al primero que puso en funcionamiento en 1897 y no a los descritos en sus patentes anteriores. Igualmente, los datos sobre Parsons y Curtis son los de sus turbinas de 1890 y 1900 respectivamente.

Según se aprecia en la tabla 10, las primeras invenciones radicales de Newcomen sobre máquinas alternativas de vapor proporcionaban potencias cuyo orden de magnitud era de unidades de kW; la introducción del condensador de Watt hizo crecer la potencia en un orden de magnitud (decenas de kW). La llegada de los motores de combustión interna supuso una reducción de la potencia en un orden de magnitud respecto la máquina de Watt, pero también significó una reducción espectacular en las dimensiones y pesos. Además, la aparición de otra invención radical como la de Diesel hizo incrementar la potencia en otro orden de magnitud respecto el motor de Otto de 1876. Las turbinas de vapor desarrolladas a finales del siglo XIX y principios del XX aumentaron la potencia en otro orden de magnitud (centenas de kW), si bien en este caso la elevación de la potencia también iba acompañada por un crecimiento en las dimensiones y pesos de las máquinas respecto los motores de combustión interna.

Mientras las máquinas térmicas fueron exclusivamente fuentes productoras de energía que abastecían instalaciones fijas en tierra, no hubo necesidad de realizar instalaciones más ligeras o de menores dimensiones: lo importante era satisfacer la demanda energética, sin que el tamaño de la instalación fuera demasiado relevante. Sin embargo, con el uso de las máquinas térmicas como planta propulsora de diversos vehículos (ferrocarril, automóviles, buques y aeronaves) la potencia en sí dejó de ser el factor principal de referencia, considerando a partir de entonces la potencia específica, que cuantifica la potencia suministrada por la máquina referida a su unidad de masa. Para ilustrar la importancia de este hecho se ha creado la tabla 11, donde se han incluido los valores de algunas magnitudes físicas relacionadas con el tamaño de algunas máquinas térmicas relevantes, apareciendo el diámetro y la carrera de las máquinas de Newcomen y Watt, así como dichos datos referidos a los motores de Otto y Diesel.

of *Mechanical Engineers* según su URL <http://www.asme.org/history/brochures/h111.pdf> del mes de agosto de 2004.

TABLA 11.—Valores de diámetro y carrera de algunas máquinas térmicas relevantes

	Newcomen 1712	Watt 1769	Otto 1876	Diesel 1897
Diámetro (cm) . . .	53,3	127,0	16,1	25,0
Carrera (cm)	233,8	96,5	30,0	40,0

Fuente: Elaboración propia a partir de ciertos textos.

Puede observarse la reducción que experimentan estas magnitudes en los primeros motores de combustión interna, si se comparan con los datos relativos de las máquinas de vapor.

A la vista de lo expuesto en las tablas 10 y 11 podría concluirse que para el caso de las máquinas térmicas estudiadas en el periodo 1826-1914, con cada invención radical que apareció en alguna de estas tecnológicas se dio un aumento de la potencia en un orden de magnitud respecto las últimas ramas aparecidas. O bien, para igual orden de magnitud en la potencia entregada, hay disminución en sus dimensiones y pesos. Esta hipótesis parece confirmarse si se consideran los datos existentes sobre la primera turbina de gas de uso industrial que se puso en funcionamiento en 1939 en Neuchâtel (Suiza)⁴². Según dichos datos, la turbina de esta planta proporcionaba 15.400 kW, de los que el compresor absorbía 11.400, resultando una potencia neta de 4.000 kW, es decir, un orden de magnitud superior a las primeras turbinas de vapor de Parsons, Rateau o Curtis.

En la tabla 11 no se han especificado datos relativos a dimensiones de turbomáquinas, ya que en éstas no tiene sentido hablar de carrera; no obstante, sus diámetros se encuentran en un orden de magnitud de las decenas de centímetros, variando en función de la potencia proporcionada.

Por tanto, puede establecerse que, en el terreno de las máquinas térmicas, las invenciones radicales, además de abrir nuevas ramas técnicas, suponen variaciones significativas en la potencia entregada (aumento de potencia en cada *nueva* rama tecnológica desarrollada) o bien logran que, a igualdad de potencia suministrada, haya una disminución en las dimensiones o pesos de las máquinas.

5.1.3. Clasificación de la oferta tecnológica e índice de relevancia

A lo largo de los tres capítulos anteriores se han analizado las patentes más destacables y representativas de la tecnología desarrollada en el sector de las máquinas tér-

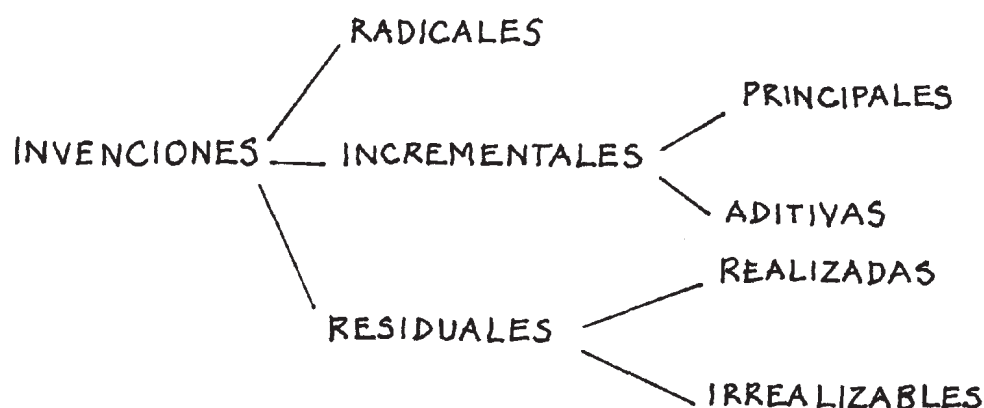
⁴² Como se señaló en la nota 38, en la página web de *The American Society of Mechanical Engineers* según su URL en el mes de agosto de 2004, <http://www.asme.org/history/brochures/h135.pdf> puede encontrarse un artículo sobre dicha instalación.

micas, si bien los documentos aquí citados son sólo una parte de todas las solicitudes presentadas en España. Tras analizar toda la documentación, se han seleccionado y expuesto en estas páginas las patentes de mayor valor técnico, lo que ha permitido localizar las invenciones radicales de este sector solicitadas en España.

Por ello ahora se pretende definir un parámetro que indique la relevancia del resto de las invenciones para discernir cuáles son significativas y cuáles no aportan datos de especial relevancia, pudiendo asociarlas a un *ruido* tecnológico parejo a ese campo. No obstante, en este punto es necesario hacer una matización sobre la clasificación de la oferta tecnológica tal y como se ha venido haciendo a lo largo de este trabajo. En los epígrafes 1.7 y 3.6.1 se habló de invenciones *radicales* e *incrementales*; las primeras son invenciones que abren nuevos campos técnicos, mientras que las segundas perfeccionan los desarrollos hechos por las primeras, tal y como estableció en su texto Mokyr (1990), p. 29. Sin embargo, a la vista de toda la documentación analizada en este trabajo, y considerando la experiencia laboral de su autor como examinador de patentes durante casi diez años, cabe hacer otras reflexiones y proponer una nueva clasificación de la oferta tecnológica.

La clasificación de invenciones en *radicales* e *incrementales* no se ajusta a la realidad, pues aunque haya invenciones *radicales* que abren nuevas trayectorias tecnológicas, bajo la categoría de invenciones *incrementales* quedan englobadas otras que deben detallarse de forma más exhaustiva. Por ello, se sugiere una revisión a esta clasificación de la oferta tecnológica; según esta nueva propuesta, las invenciones se podrían catalogar según el esquema 1.

Esquema 1.—Nueva propuesta de clasificación de la oferta tecnológica



De acuerdo con el anterior esquema, las invenciones se clasificarían en primer lugar en *radicales*, siendo aquellas que abren nuevas trayectorias tecnológicas. Ejemplos claros de invenciones radicales son la máquina de Newcomen, los motores de

Otto y Diesel y las turbinas de Parsons y De Laval. Las invenciones *radicales* se mejoran gracias a las invenciones *incrementales*, que suponen perfeccionamientos a las grandes trayectorias técnicas que las invenciones radicales generan; los ejemplos de invenciones *incrementales* que se han visto en este trabajo son numerosos, especialmente en el epígrafe 3.6.3: las mejoras en el tren de la distribución, los sistemas de formación de mezcla, o los dispositivos de encendido son casos de invenciones *incrementales*. Estas invenciones con el tiempo pueden abrir nuevas vías tecnológicas dentro de su sector técnico: por ejemplo, los primeros carburadores o los sistemas de inyección de combustible primitivos generaron una nueva especialización dentro de los MCIA: los sistemas de formación de mezcla. O incluso, el condensador de Watt, pudo considerarse inicialmente como una invención *incremental*; sin embargo, la importancia que tuvo en el desarrollo posterior de las máquinas de vapor alternativas hizo que, con el tiempo, fuese considerado como una invención radical. Así pues, estas invenciones *incrementales* que a su vez abren nuevas sendas técnicas en un sector dado, serán denominadas invenciones *incrementales principales*.

Existen otras invenciones *incrementales* que mejoran las innovaciones que han sido desarrolladas previamente por las invenciones *incrementales principales*; ejemplos de estas invenciones pueden ser los sistemas indicados en el epígrafe 3.6.1, que han hecho que los motores de encendido por compresión desarrollados en las dos últimas décadas del siglo xx tengan unas prestaciones comparables con los motores de encendido provocado. Estas innovaciones que perfeccionan los desarrollos ya realizados, añadiendo nuevos conocimientos al acervo técnico existente, serán denominadas invenciones *incrementales aditivas*. La mayoría de éstas pasan desapercibidas por la sociedad en general, y sólo son conocidas por los expertos de ese sector técnico; la especialización técnica de las actuales empresas y centros de investigación hace que, de hecho, las mayoría de las invenciones que aportan mejoras sean de este tipo.

Por último, hay unas invenciones, las *residuales*, que no aportan desarrollo ni progreso técnico alguno; estas invenciones se desglosan en dos tipos. El primero de ellos se refiere a las invenciones *realizadas*, que son propuestas técnicas que ya son conocidas en ese sector, pero que muchas veces se repiten en nuevas patentes por falta de hábitos de información tecnológica. El segundo tipo son las invenciones *irrealizables*, propuestas que violan principios físicos básicos o que, a pesar del pensamiento de su inventor, impiden el desarrollo de la invención; un ejemplo claro de este caso son los motores de combustión interna alternativos cuyo *combustible* es agua⁴³. La existencia de invenciones de este tipo está reconocida implícitamente en la misma Clasificación Internacional de Patentes, en la que incluso llegan a existir códigos de clasificación para invenciones referentes a presuntos móviles perpetuos⁴⁴. Evidentemente las inven-

⁴³ Una invención de este tipo puede encontrarse, por ejemplo, en la solicitud de patente internacional WO 98/15728 A1 y en los documentos citados en su correspondiente Informe de Búsqueda Internacional.

⁴⁴ En la 7.ª Edición de la CIP estaban establecidos los subgrupos F03G7/10, F03B17/04, H02K53/00 y H02N11/00 para albergar, respectivamente, invenciones sobre presuntos móviles perpetuos mecáni-

ciones *residuales* no son deseables; en el primer caso, las *realizadas*, porque se desperdician esfuerzos de investigación, si bien esto se puede subsanar adquiriendo hábitos de información tecnológica adecuados. Las invenciones *irrealizables* son más difíciles de controlar, pues muchas veces proceden de solicitantes con conocimientos técnicos limitados y convencidos de haber desarrollados invenciones *radicales*; probablemente la forma más eficaz de limitar las invenciones *irrealizables* es mediante sistemas de concesión de patentes con estrictas disposiciones, de manera que sólo se concedan patentes a las invenciones que cumplan los requisitos de novedad, actividad inventiva y aplicación industrial.

La experiencia del autor como examinador de patentes confirma esta clasificación, de manera que la mayoría de las solicitudes de patentes que se presentan corresponden a invenciones *incrementales* y *residuales*. La probabilidad de que un examinador de patentes tramite a lo largo de su vida profesional una solicitud de patente sobre una invención radical en un campo tecnológico dado es muy baja, tendente a cero, pues el número de estas invenciones es muy reducido. Considérese que de las 1.302 patentes analizadas para la realización de este trabajo, apenas algo más de una decena pueden considerarse invenciones *radicales* correspondientes al análisis realizado en un periodo de ochenta y ocho años. Sí es posible que un examinador de patentes tramite en su vida profesional varias invenciones *incrementales principales* y numerosas *aditivas*. Lamentablemente, también se encontrará con numerosas patentes ya *realizadas* y otras *irrealizables*, que suponen pérdidas de recursos a la sociedad por tramitar patentes relativas a invenciones que ya han sido registradas o que no pueden llevarse a cabo por infringir las leyes de la naturaleza.

Una vez propuesta esta clasificación de la oferta tecnológica, se desea definir un parámetro que muestre la proporción de patentes más destacables frente al número total de patentes de ese sector. Este parámetro es el *índice de relevancia* Ω de un sector técnico y se define como el cociente entre las patentes relevantes (r) de un sector técnico respecto el número total de patentes (p) de ese sector multiplicado por cien:

$$\Omega = \frac{r}{p} \cdot 100$$

En este punto debe determinarse cuáles son las patentes susceptibles de considerarse relevantes y cuáles no. En lo que a este trabajo se refiere, se entenderá que las patentes relevantes r corresponden a la suma de patentes *radicales* y patentes *incrementales principales*. En el sector de las máquinas térmicas y a lo largo de estas páginas han sido citadas tanto las patentes que se han considerado *radicales* como las *incrementales principales*, por lo que el índice recoge el porcentaje de la suma de este

cos, hidráulicos, dinamoeléctricos, y magnéticos o eléctricos. En la base de datos EPOQUE de la Oficina Europea de Patentes se encontraban, a principios de junio de 2004, 2.142, 849, 2.342 y 3.910 invenciones, respectivamente, referentes a las anteriores clasificaciones.

tipo de invenciones frente al total de patentes de su sector. Podría haberse definido este índice considerando que las patentes relevantes corresponden a la suma de invenciones *radicales*, *principales* y *aditivas*; la problemática en este caso radica en que deberían establecerse unos catálogos que determinasen claramente las invenciones *residuales* para no contabilizarlas entre las *aditivas*, algo que no fue considerado al inicio de esta investigación ya que esta clasificación de la oferta tecnológica ha sido obtenida como síntesis del trabajo realizado. El discriminar en este momento las invenciones *residuales* de las *aditivas* supondría un trabajo que no se justifica si con ello sólo se pretende calcular un nuevo *índice de relevancia aditivo*. En cualquier caso, las invenciones *residuales* y las *incrementales aditivas*, junto con las *radicales* y las *incrementales principales*, sirven para indicar el *hormigueo* inventivo y económico en torno a una tecnología, lo que según analistas como Schmookler, sería función de la demanda derivada del sector y, en cierto modo, de su importancia económica.

La tabla 12 muestra los valores del parámetro Ω , que se establece para determinar el grado de relevancia de las patentes que han sido objeto de estudio para cada sector técnico asociado con las máquinas térmicas.

TABLA 12.—Índice de relevancia de las patentes españolas sobre máquinas térmicas citadas en este texto

	Índice de relevancia Ω
MV	4,30
MAC / MCIA / CA	10,56
TM	12,55
Total máquinas térmicas	9,14

Si bien la naturaleza de este índice es claramente subjetiva, su definición debe interpretarse como un intento de desarrollar un parámetro que determine el *ruido* asociado con una tecnología determinada. En este caso, si este índice sobre máquinas térmicas tiene un valor cercano a 10, debe entenderse que el diez por ciento del total de las patentes presentadas representan de una forma clara y suficiente las principales innovaciones desarrolladas en el campo de las máquinas térmicas en la época estudiada. Es decir, con el estudio de aproximadamente el 10% de las patentes presentadas es posible tener una visión global sobre las innovaciones principales hechas en el campo de las máquinas térmicas, mientras que el 90% restante es una señal del *hormigueo* generado por el sector.

Conforme a dicha tabla 12, se observa que el mencionado *índice de relevancia* para las máquinas de vapor alternativas es muy reducido, algo menos de la mitad del índice global para máquinas térmicas (4,30 frente a 9,14). Este hecho quizás puede explicarse, según se vio en el capítulo 2, por la ausencia en la España de principios del si-

glo XIX de una verdadera industrialización nacional y por la inexistencia de un sistema de protección de patentes, lo que hacía al mercado español poco atractivo para los solicitantes extranjeros.

El *índice de relevancia* de los motores de combustión interna alternativos está próximo a la media obtenida para el conjunto de las máquinas térmicas, alrededor de 10. Para el caso de las turbomáquinas el valor del parámetro Ω debe aceptarse con ciertas reservas, pues en la época de estudio sólo las turbinas de vapor estaban lo suficientemente desarrolladas desde una perspectiva técnica para ser objeto de este análisis. Las turbinas de gas y los turbocompresores no empezarían a ser una realidad comercial hasta finales de la década de 1930, por lo que estos hechos deben ser considerados a la hora de ponderar este parámetro.

En cualquier caso, y a pesar de la posible subjetividad de este *índice de relevancia*, debe destacarse el hecho de que es necesario cuantificar no sólo la proporción de invenciones que determinan la evolución técnica, sino también aquellas invenciones que vienen a indicar el interés por un sector tecnológico determinado y representan el *hormigueo* generado alrededor de dicho sector. En este sentido, el parámetro Ω parece ser una herramienta válida para cuantificar, cuando menos, órdenes de magnitud asociados a estas actividades.

5.2. Historia Tecnológica e Historia Económica

Aunque este estudio tenga como objetivo realizar un análisis histórico y técnico de las máquinas térmicas usando como parámetros de estudio las patentes españolas, puede que a la hora de sistematizar la información extraída se puedan responder algunas de las cuestiones que economistas e historiadores se plantean sobre los procesos de innovación y cambio tecnológico. El estudio de las patentes presentadas en España sobre máquinas térmicas puede, por tanto, aportar algunos datos relevantes que relacionen las innovaciones en el campo de la producción energética con el crecimiento económico. Es decir, el conocimiento de la Historia Tecnológica puede ser de ayuda en el estudio de la Historia Económica, y viceversa.

En el último epígrafe del capítulo 1 se plantearon cinco grandes áreas de interés para los historiadores económicos a las que se podría realizar alguna aportación con este trabajo. Como se recordará, estas áreas eran: 1) proporcionar una visión general sobre la realidad de patentes de máquinas térmicas en España, relacionándola con el contexto económico nacional, 2) determinar la importancia de las instituciones en los procesos de innovación tecnológica, 3) las relaciones entre las teorías de la economía evolutiva con los procesos de innovación, 4) la clasificación de invenciones en *radicales* e *incrementales*, y 5) la importancia de la empresa en estos procesos. A continuación se pasa a la revisión de cada una de ellas.

5.2.1. Máquinas térmicas y el contexto económico nacional

La información referente a parámetros relacionados con el desarrollo industrial español es de especial importancia para los historiadores económicos; prueba de ello es la obra de Nadal *et al.* (2003), donde se revisan múltiples datos relativos al proceso de industrialización nacional. Otros autores se han centrado en aspectos más cualitativos, como Valdaliso (1997), con la evolución técnica en la flota mercante española durante el siglo xx, o también López y Valdaliso (1997), analizando la industria naval relacionada con plantas de propulsión tipo Diesel. A la vista de los datos estadísticos aportados en el epígrafe 5.1.1 sobre patentes de máquinas térmicas, se pueden corroborar algunos hechos ya conocidos sobre el contexto económico nacional de la época.

Uno de ellos es la gran dependencia tecnológica del exterior, lo que se ha visto reflejado en el elevado número de patentes en las que sus solicitantes residían fuera de España. Los datos sobre dependencia tecnológica y la influencia francesa en la importación tecnológica que se han visto en el epígrafe 5.1.1 vienen a corroborar las hipótesis planteadas en diversos trabajos por Sáiz (2002 a), (2002 b) y (2003). Muestra de esta dependencia ya se vio en el epígrafe 3.2 cuando se comentó que Carlos Bloss, uno de los representantes de Otto en España, tenía su taller en Barcelona, donde se fabricaban estos motores para su venta en España. Ello coincide con el establecimiento de la industria española de bienes de equipo, que empezó a ser realidad a partir del último tercio del siglo xix. En esas fechas se crearon empresas tan importantes como *La Maquinista Terrestre y Marítima*, que probablemente pueda ser considerada como la más relevante en su ámbito en dicha época; sin embargo, cuando se funda *La Maquinista* la tecnología de máquinas de vapor alternativas había desarrollado buena parte de la invenciones *incrementales principales*, y cabe pensar que la contribución de esta empresa a la innovación tecnológica en dicho sector técnico fue reducido, si no nulo. Otra empresa relevante fue la *Hispano-Suiza*; el efecto de la dependencia tecnológica en este caso puede encontrarse hasta en la propia denominación empresarial, pues como se ha visto en el epígrafe 3.7, la importancia de la compañía de Birkigt en este sector fue considerable.

Otro factor a destacar es la concentración geográfica de la innovación tecnológica en el sector de las máquinas térmicas, coincidiendo con las áreas de mayor industrialización nacional (Cataluña, País Vasco y Madrid fundamentalmente, y en menor grado Valencia, Murcia y Andalucía). No resulta casualidad que las fábricas citadas en el párrafo anterior tuviesen sus instalaciones principales en Cataluña. Las zonas de mayor industrialización eran las que concentraban mayores activos tecnológicos (principalmente instalaciones adecuadas y mano de obra cualificada); con estos requisitos era obvio que las principales zonas de innovación tecnológica estaban ligadas con las grandes áreas industriales del país.

Se puede concluir que las patentes sobre máquinas térmicas son un buen parámetro para cuantificar la actividad empresarial y la innovación tecnológica del sector en la época de estudio.

5.2.2. *Importancia de las instituciones*

Numerosos autores han apuntado la importancia que tienen las instituciones en el desarrollo económico; así, algunos autores como North y Thomas (1980), North (1984), dieron entrada en sus trabajos a nuevos aspectos de la teoría económica relacionados con el comportamiento humano, intentando obtener una teoría de la evolución histórica que explicase el cambio económico a largo plazo. En otro trabajo, North (1993) introdujo otros elementos en este análisis, como las ideologías, la cultura heredada o la actividad política. En obras posteriores de este y otros autores⁴⁵, se incorporaron otros parámetros en la explicación de la evolución de las economías, de manera que cuestiones como el régimen de propiedad, el entorno político, las prácticas sociales, la cultura o la mentalidad colectiva están dejando de ser considerados factores exógenos al análisis económico.

Desde este trabajo se pretende determinar si la legislación nacional de patentes puede tener influencia en el desarrollo tecnológico de un país y, por ende, en su crecimiento económico. Como se ha visto en el capítulo 2, no siempre han existido sistemas de patentes que permitieran obtener protección por las innovaciones desarrolladas; en España, hasta 1826, las invenciones sólo se protegían por gracia del soberano, de manera que para obtener protección de las invenciones se debía contar con el visto bueno del monarca. Con el Real Decreto de 1826 citado en el epígrafe 1.4 se abrió una nueva etapa en la historia tecnológica y económica de España.

En los países europeos no había homogeneidad sobre sus sistemas de patentes. En su texto, Cummins (1989), pp. 42-49, hace un breve repaso sobre las características principales de los sistemas de patentes de la época: así la primera legislación británica de patentes data de 1624, pero no fue hasta 1883 cuando se les empezó a hacer examen de novedad a las solicitudes; además, la legislación de 1852 había introducido la posibilidad de presentar oposiciones a la concesión de patentes por parte de terceros. El sistema estadounidense se implantó en 1790, y para la concesión de las patentes se realizaba un examen de novedad y se exigía una descripción detallada de la invención. En Alemania a partir de 1877 hubo un sistema de patentes unificado para todo el territorio; la característica principal de su legislación era que combinaba el procedimiento de examen establecido en los Estados Unidos, junto con la posibilidad de oposiciones que brindaba el sistema británico. El modelo alemán fue copiado por varios países europeos como Austria, Dinamarca, Finlandia, Holanda, Noruega y Suecia, aunque debe destacarse que Holanda derogó su sistema de patentes entre 1869 y 1910.

En este contexto se ubica el sistema español de patentes, reglado jurídicamente desde 1826; aunque la primera legislación española sobre Propiedad Industrial date

⁴⁵ Los debates que diversos autores (North y otros) establecieron al respecto en la década de 1990 pueden encontrarse en la página web <http://econwpa.wustl.edu/alllistings/eh/all> según su URL del mes de mayo de 2004.

del primer tercio del siglo XIX, ya se dieron muestras de innovaciones tecnológicas desde el siglo XVII como se vio con la máquina de Ayanz. El escaso interés mostrado hacia este ingenio pudo ser un ejemplo de cómo la estructura social y económica española a principios del siglo XVII no podían favorecer la adopción de invenciones, al contrario de lo que empezaba a ocurrir en el Reino Unido. La carencia en España hasta principios del siglo XIX de un marco jurídico estable para la protección de las innovaciones tecnológicas, pudo impedir que algunas patentes relevantes, como las de Newcomen o Watt, fuesen registradas. Incluso, una vez establecido el régimen legal de concesión de patentes, la falta de tradición en la protección de la Propiedad Industrial pudo favorecer, junto con la escasa industrialización nacional, que no se protegiesen otras invenciones destacables, como la de Corliss de 1849 relativa a sistemas de distribución en máquinas de vapor alternativas. Por tanto, la ausencia de un marco jurídico de patentes pudo ser un factor desfavorable para el desarrollo tecnológico y económico en la España del siglo XVIII y principios del XIX.

En el caso británico también puede apreciarse una influencia institucional en la concesión de la patente otorgada a Savery, que le daba una sobreprotección respecto a la invención que realmente había desarrollado; esta sobreprotección, que beneficiaba a Savery, iba en detrimento de la invención de Newcomen, que realmente presentaba aspectos novedosos sobre aquella; por tanto un sistema de protección de invenciones demasiado proteccionista puede perjudicar el desarrollo tecnológico. También se han visto casos durante el siglo XIX, como apuntan Beatty y Sáiz (2002), donde un sistema débil de patentes puede fomentar la incorporación de tecnologías extranjeras y el crecimiento industrial.

Otro elemento que ha permitido constatar la importancia de las instituciones radica en la diferencia de los documentos de patentes entre diversos países. En los capítulos 3 y 4 se han visto algunos ejemplos de invenciones que fueron protegidas en varios países: por ejemplo el motor de Otto de 1876, el de Daimler de 1884, el de Diesel de 1892, la turbina de De Laval de 1889 o el motor de Brayton de 1872. En los cuatro primeros casos los inventores eran europeos, y se pudo comprobar que, en general, las patentes presentadas en los Estados Unidos tenían más información y contenido técnico que sus *hermanas* europeas. En el caso del estadounidense Brayton, el contenido de su patente británica era prácticamente idéntico al de la americana. Estos hechos inducen a pensar que el sistema americano, que combinaba el examen de novedad junto con una detallada descripción, se adaptaba mejor a los sistemas europeos, pero sin embargo la relación recíproca no era tan adecuada: muchas patentes europeas tenían una insuficiencia en la descripción, por lo que probablemente no superaban la normativa estadounidense (recuérdese, por ejemplo, en el caso de la turbina de De Laval del epígrafe 4.3, lo detallada que era la patente estadounidense y lo parca que resultaba la británica). En el caso de la invención de Brayton, se vio que el contenido de las patentes británicas y americana eran prácticamente iguales. Ello puede justificarse porque Brayton solicitó su patente en Estados Unidos y después, aprovechando ese documento, la presentó en el Reino Unido.

La ausencia en España de un sistema fuerte de protección de las invenciones, sin examen de novedad, hacía que no hubiese hábitos de información tecnológica por parte de los solicitantes y que se produjesen *fallos de mercado*, es decir, que se intentase (y muchas veces se consiguiera) proteger invenciones que ya estaban patentadas en España y, por tanto, se desperdiciaran recursos. Por otro lado la España decimonónica carecía, por su estructura social, del capital humano necesario dentro de la Administración (técnicos, ingenieros y científicos al servicio de los organismos precursores de la actual OEPM) para desarrollar un sistema fuerte de concesión de patentes.

El hecho de que los sistemas de patentes sean distintos en unos países respecto a otros puede generar, como se explica en el epígrafe 5.2.5, que las empresas adopten estrategias diferentes en función del mercado donde quieran proteger su invención. Por tanto, cabe concluir que las instituciones pueden tener influencia en el modo de conceder las patentes, en función de la normativa que dicten. Si su legislación permite la protección de las invenciones sin una detallada descripción se da una sobreprotección al solicitante al otorgársele un monopolio mayor al que le corresponde. En otro contexto, se pueden dar legislaciones que concedan patentes con mayor contenido a lo realmente desarrollado por el solicitante, como le ocurrió a Savery con su patente, que invalidaba la invención de Newcomen; no es posible determinar cómo hubieran evolucionado las primeras máquinas de vapor si Newcomen hubiese podido tener una patente de su invención. Es decir, la legislaciones de patentes (y por ende las instituciones que las establecen) pueden influir en el desarrollo tecnológico y, por tanto, en el crecimiento económico.

5.2.3. *Economía evolutiva: irradiación tecnológica de las máquinas térmicas*

En los textos de Rosenberg (1982) y Nelson & Winter (1982) se establecieron las bases de lo que se ha denominado economía evolutiva. Otros autores como David, (1975) han establecido teorías sugerentes de la visión evolutiva de la tecnología, como la de las *trayectorias dependientes* (*path-dependence*), según la cual las decisiones tecnológicas del pasado ejercen una influencia sobre los desarrollos futuros, a los que incluso determinan completamente. David propuso ejemplos que ilustraban esta teoría⁴⁶ y las consecuencias de decisiones de este tipo [véase David (1985), David (1988 a) y David (1988 b)].

Estas ideas sobre el *path-dependence* entroncan con teorías de sistemas complejos en los que la retroalimentación se torna fundamental para comprender su evolución a lo largo del tiempo, es decir, sistemas en los que las elecciones causan efectos que no pueden ser rectificadas y pasan a formar parte del propio sistema (véase, por ejem-

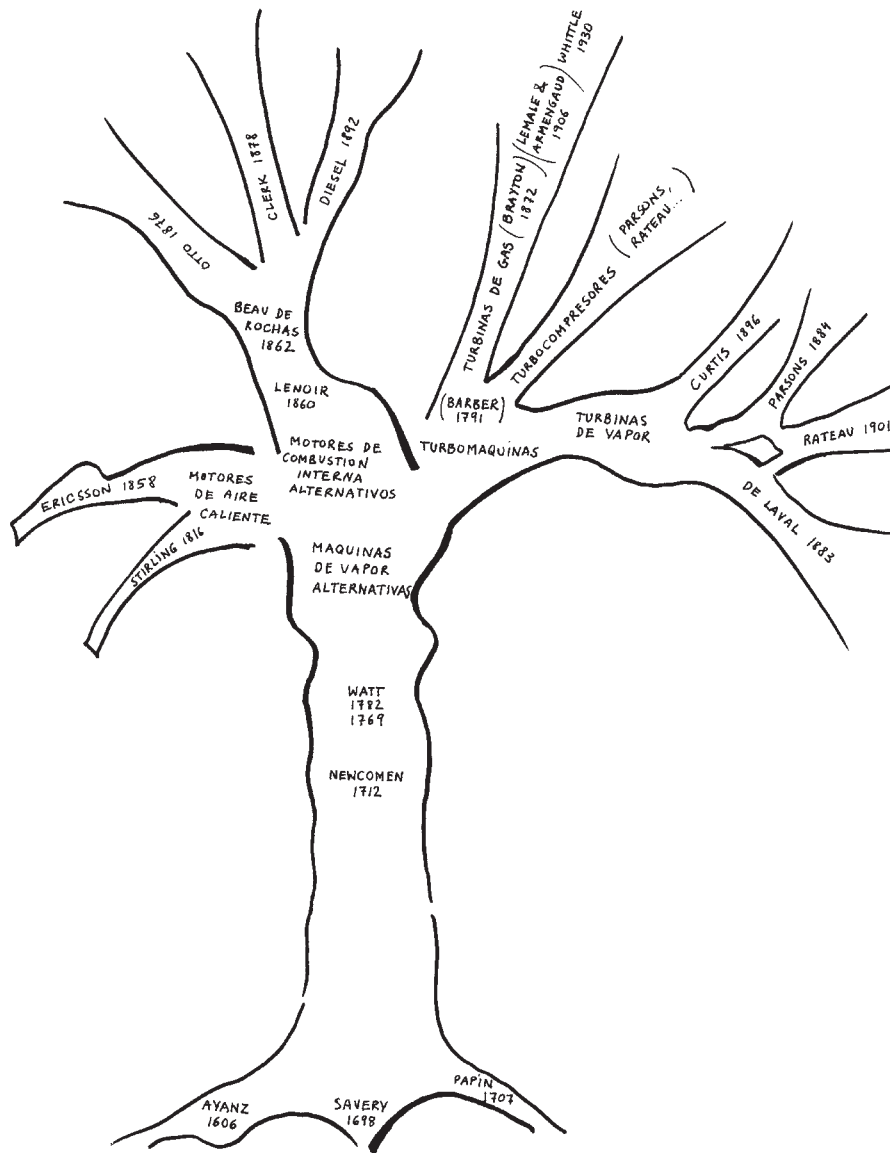
⁴⁶ Uno de estos ejemplos es el de los teclados de mecanografía QWERTY, que no eran de los que permitían escribir más rápido pero sin embargo una vez vendidos produjeron un efecto de red que los hizo imponerse a otros tecnológicamente mejores. Otros casos conocidos ocurridos en la década de 1980 son los sistemas operativos Windows frente a Macintosh, o el sistema de vídeo doméstico VHS tecnológicamente inferior a los sistemas Beta o 2000, que fueron desbancados comercialmente.

plo, Baccini y Giannetti (1997), pp. 179-208). Numerosos autores españoles han aportado sus contribuciones a esta teoría, como puede ser el caso de López y Valdaliso (1999). Un caso relevante de dependencia tecnológica en la historia española se encuentra en el establecimiento de un ancho de vía ferroviario distinto al europeo; esa decisión generaría que el desarrollo tecnológico de los ferrocarriles españoles tuviese unas peculiaridades distintas a la de los otros países europeos, haciendo que la I+D española se enfocase a cuestiones relacionadas con el ancho de vía y que se perdiesen recursos hacia otras áreas de investigación.

En este punto se pretende determinar si, a la vista del análisis realizado con las patentes de máquinas térmicas, es posible reflexionar en el mismo sentido. Para ello, en el esquema 2 se han representado los hitos más relevantes relacionados con la evolución tecnológica de las máquinas térmicas según se ha visto a lo largo de este trabajo. A continuación se hacen algunos comentarios que permiten entender adecuadamente dicho esquema. Ya se indicó en el capítulo 2 que no resulta fácil establecer el origen de las máquinas térmicas, pero probablemente pueda considerarse a la máquina de Newcomen de 1712 la primera de ellas, al menos desde una consideración actual. Newcomen usó conocimientos empleados en la máquina de Savery para desarrollar la suya, aunque pudiera ser que también conociera la máquina de Papin. Incluso, como se apuntó en el epígrafe 2.1.1, algunos autores como García Tapia (2001), pp. 222-223, indican que Savery pudo inspirarse en la obra de Somerses y que éste podría haber conocido la máquina de Ayanz, si bien no existen pruebas concluyentes al respecto. En cualquier caso, la máquina de vapor alcanzó su *mayoría de edad* con el desarrollo del condensador por Watt en 1769, así como con la máquina de doble efecto, ideada también por Watt en 1782. Después de éstas, no hubo grandes invenciones *radicales* en la tecnología de las máquinas de vapor alternativas, aunque sí hubo invenciones *incrementales principales* que lograron notables perfeccionamientos, como el sistema de distribución desarrollado por Corliss en 1849.

Al mismo tiempo que la máquina de vapor alternativa se iba desarrollando, se produjo un cambio radical, que quizás en su fase inicial fue sólo un experimento, pero que a la larga abrió una nueva trayectoria tecnológica. La máquina de vapor usaba como fluido de trabajo agua, que se calentaba en una caldera hasta producir vapor; alguien debió pensar en emplear como fluido de trabajo el aire en vez de vapor de agua, y se abrió una nueva trayectoria con los motores de aire caliente donde los motores de Stirling (1816) y Ericsson (1858) probablemente fueron los más relevantes. Los motores de aire caliente empleaban elementos comunes de las máquinas de vapor: un cilindro donde evolucionaba un pistón y el resto del tren alternativo. Si bien el motor de Stirling era de ciclo cerrado, el de Ericsson ya era un ciclo abierto, que importó otros elementos de las máquinas de vapor como el tren de la distribución para la admisión y escape del aire caliente y frío.

El hecho de que apareciera la nueva vía de los motores de aire caliente pudo favorecer la generación de los motores de combustión interna. Probablemente Lenoir, en



Esquema 2.—Esquema sinóptico con los hitos más relevantes en la evolución tecnológica de las máquinas térmicas desde el siglo XVII hasta principios del XX

1860, debió tener conocimiento de los motores de aire de Ericsson, y pensó que podría ser factible introducir un mezcla de aire y gas inflamable, de manera que se pudiera producir la combustión de la mezcla en el interior del cilindro y con ello generar su expansión y, consecuentemente, producir trabajo.

El motor de Lenoir, como se ha visto en la tabla 10, producía menos potencia que la máquina de Newcomen, pero abría una nueva senda tecnológica y además ocupaba menos espacio y su peso era menor que el de la máquina de vapor. No es posible determinar si Beau de Rochas conocía el motor de Lenoir cuando presentó su patente francesa de 1862, aunque parece que Otto sí tuvo informaciones sobre esa máquina. Beau de Rochas y Otto pensaron en realizar un motor en el que se comprimiese la mezcla de aire y gas combustible antes de su combustión. Beau de Rochas estableció los cuatro tiempos teóricos que debía tener este motor y Otto lo llevó a cabo; con ello se obtenía más potencia que con el de Lenoir. Con la realización práctica de este motor por Otto en (1876) se desarrolló una nueva senda tecnológica. Clerk, en 1878, haciendo una nueva variación del motor de combustión interna, propuso un ciclo de dos tiempos en vez de los cuatro de Otto.

Por su parte Diesel en 1892 pretendió obtener un ciclo de cuatro tiempos emulando el de Carnot, establecido por éste en 1824; para obtener la evolución isoterma que proponía Carnot, Diesel desarrolló un sistema de alimentación tal que primero comprimiese sólo el aire y después se produjera la inyección del combustible. Este desarrollo técnico generó el funcionamiento de un nuevo motor en 1897, completamente distinto de los establecidos por Otto y Clerk; sin embargo, con el tiempo, se produjeron cruces entre el motor de Diesel y los ingenios de dos tiempos propuestos por Clerk.

Las apertura de esta vía tecnológica, la de los motores de combustión interna alternativos, probablemente favoreció la desaparición de los motores de aire caliente, debido, entre otros factores, a que aquéllos proporcionaban más potencia que éstos.

Las máquinas alternativas de vapor no sólo pudieron ejercer influencia en los motores de aire caliente y, consiguientemente, en los de combustión interna. En el epígrafe 2.2.4 se han visto las máquinas de vapor rotativas; en dicho epígrafe ya se comentó la posibilidad de entender dichas máquinas rotativas de vapor como un eslabón intermedio entre las máquinas alternativas y las turbinas de vapor. Si bien la expansión del vapor en turbinas no fue realizada con éxito hasta la década de 1880 por De Laval y Parsons, conceptualmente la idea de obtener un movimiento giratorio del vapor fue propuesto por dichas máquinas de vapor rotativas. Una vez conseguida la expansión del vapor en turbinas bien mediante las propuestas de Parsons o De Laval, se produjeron otras, como las de Rateau, que sugerían combinar características de las anteriores, o la de Curtis.

A la vez que se desarrollaban las turbinas de vapor, hubo un gran interés en desarrollar turbinas de gas, que permitiesen obtener energía mecánica de la combustión y expansión de la mezcla de aire y gas; prueba de ello es la patente de Barber (1791), que debe considerarse más como un deseo que como una máquina real. En 1872 Brayton estableció con su motor lo que acabaría siendo el ciclo teórico por el que se regirían las turbinas de gas, y aunque hubo numerosos intentos por desarrollar estas turbomáquinas, como muestran las patentes de Lemale y Armengaud, entre otros, la realidad es que hasta finales de la década de 1930 estos ingenios no llegaron a ser realidad. Sin embargo, se observa una tendencia por parte de los solicitantes de paten-

tes a proteger al mismo tiempo turbinas de vapor y gas, aunque había condicionantes físicos que impedían el desarrollo de estas máquinas.

La compresión del aire mediante turbocompresores dependía en buena parte del desarrollo de la Aeronáutica, pues hasta que no se establecieron las bases de la Mecánica de Fluidos que permitían comprender principios básicos de la Aerodinámica como la sustentación y la entrada en pérdida de los perfiles no fue posible establecer las geometrías adecuadas en los álabes de los turbocompresores que impidieran que se diesen determinados problemas, como el bombeo.

De la misma manera, las turbinas de gas, en tanto están compuestas por turbocompresores, también tenían el mismo problema que éstos. Además, debían desarrollarse nuevos materiales metálicos que permitiesen soportar los esfuerzos mecánicos y térmicos a que estarían sometidos las diversas partes fijas y móviles que integran estas turbomáquinas. Es por ello que hasta finales de la década de 1930 no se consiguió el funcionamiento real de las primeras turbinas de gas. No obstante hubo numerosos intentos de realizar turbocompresores, como muestran los desarrollos que, entre otros, realizaron Parsons y Rateau.

De esta manera puede decirse que en el campo de las máquinas térmicas se produce una irradiación de la tecnología, partiendo inicialmente de las máquinas de vapor alternativas. Sustituyendo el fluido de trabajo se desarrollaron los motores de aire caliente, que a su vez devinieron en los motores de combustión interna. Por su parte, también aparecieron máquinas de vapor de pistón rotativo, no alternativo, que pueden considerarse a medio camino entre las máquinas de vapor alternativas y las turbinas de vapor, que se desarrollaron al realizar la expansión del vapor de manera que se pudiera obtener trabajo útil del mismo.

A la vista de estas consideraciones cabe pensar que la teoría de la dependencia de la trayectoria es aplicable para el caso de las máquinas térmicas; las máquinas alternativas (tanto las de vapor como las de combustión interna o los motores de aire caliente) utilizan para su funcionamiento elementos comunes (bloque motor, tren alternativo y tren de la distribución), lo que viene a justificar la dependencia de estas trayectorias. Por otro lado, las turbinas de gas y los turbocompresores no pudieron desarrollarse hasta que otras ciencias desarrollaron nuevos avances, lo que retrasó su aparición hasta finales de la década de 1930 y supone un claro ejemplo de convergencia tecnológica.

También se ha podido comprobar la existencia de nuevas trayectorias técnicas que fueron abandonadas y años después fueron retomadas con éxito en otras sendas tecnológicas; un ejemplo de ello se vio en el epígrafe 2.2.4 con la patente ES 41 854 que proponía una máquina de vapor con una configuración en su pistón y cilindro muy similar a la que adoptarían años después los motores de combustión interna rotativos desarrollados por Wankel.

En definitiva se ha comprobado que el proceso de avance tecnológico que han experimentado las máquinas térmicas se parece mucho a la evolución que se da en la

Naturaleza: se abre una trayectoria tecnológica, se experimenta con ella y bien tiene éxito (máquinas de vapor alternativas) o muere al poco de nacer (motores de aire caliente); en cualquier caso, la *supervivencia* de estas especies depende de la aparición de otras nuevas que no les impidan su desarrollo. En el caso de las máquinas de vapor, la aparición de los motores de combustión interna en primer lugar y las turbomáquinas más tarde, supuso su extinción, ya que no podía competir con esas tecnologías en prestaciones y dimensiones.

5.2.4. *Inventiones radicales e incrementales*

Destacados autores han analizado los procesos de innovación tecnológica con el crecimiento económico e, incluso, su vínculo con las patentes. Schumpeter (1963) planteó el efecto dinámico que aportan los empresarios al introducir las innovaciones tecnológicas en los sistemas productivos. Schmookler (1966) vinculó el crecimiento económico con las invenciones y aportó unas series estadísticas sobre patentes por sectores tecnológicos en los Estados Unidos. Rosenberg (1982) sugirió que si bien la demanda es la fuerza esencial que empuja hacia el cambio tecnológico, éste se produce dentro de los límites de la oferta científica, conciliando en cierto modo los puntos de vista de Schumpeter y Schmookler. Mokyr (1990), en una revisión sobre la evolución tecnológica, reflexiona sobre el hecho de que la creatividad tecnológica sea la base de la riqueza de los países técnicamente desarrollados.

Considerando el análisis hecho en este trabajo, puede afirmarse que se corroboran las hipótesis de Rosenberg y Mokyr, en el sentido que tanto las invenciones mayores como las menores son importantes para el desarrollo tecnológico. Las invenciones *radicales*, que abren nuevas vías tecnológicas, son tan importantes como las invenciones *incrementales*, aquellas que mejoran aspectos que permiten evolucionar a las nuevas tecnologías, existiendo así un vínculo entre el tipo de invenciones desarrollado y la *tecnología evolutiva* comentada en el epígrafe anterior.

No obstante, considerando la exposición realizada en el epígrafe 5.1.3 sobre la clasificación de la oferta tecnológica y a la vista del *índice de relevancia* Ω quizás deba reconsiderarse la clasificación establecida sobre tipos de invenciones. La importancia de las invenciones *radicales* e *incrementales* ha quedado patente a lo largo de este trabajo; sin embargo también aparecen otras invenciones, *residuales*, que en principio parece que no aportan valor técnico alguno al estado de la técnica, pero pueden ser indicadores de la actividad económica del sector. Estas invenciones *residuales* deben entenderse desde diversos ámbitos relacionados con el procedimiento de concesión de patentes:

a) El contexto institucional puede hacer que ante un sistema débil se produzcan fallos de mercado, de manera que se inviertan esfuerzos en desarrollar tecnologías que a veces no sólo están ya protegidas, sino incluso caducadas y que no se han detectado por falta de hábitos de información tecnológica entre los solicitantes antes de realizar sus desarrollos en I+D.

b) Estrategia empresarial: en países donde los sistemas de patentes son débiles y no existe examen de novedad, puede haber empresas que pretendan proteger una tecnología ya desarrollada por la competencia o litigar contra patentes que afectan a sus intereses económicos. Esta práctica beneficia a la empresa que no respeta los derechos de aquella que primero ha desarrollado y protegido sus innovaciones, trasladando en ocasiones la problemática al ámbito judicial y, por tanto, dilatando los procedimientos⁴⁷.

c) A veces los solicitantes de patentes piensan que han desarrollado nuevas tecnologías o mejorado las existentes, pero en realidad suelen carecer del acervo técnico suficiente para desarrollar dichas invenciones que, por otra parte, o ya forman parte del estado de la técnica o bien infringen las leyes físicas conocidas, desperdiciando así sus propios recursos y los de las instituciones (en este caso, los de las oficinas de patentes).

Estos tres factores, entre otros, permiten e incluso fomentan la existencia de invenciones *residuales*, de manera que no resulta fácil evitarlas en los sistemas de patentes. No obstante, la existencia de estrictos procedimientos de concesión de patentes puede disminuir el número de estas invenciones *residuales*. Sin embargo, esta práctica por intentar *depurar* las invenciones *residuales* puede ser contraproducente, pues a veces entre ellas se pueden encontrar invenciones *radicales* que la sociedad no es capaz de detectar como tales. La invención de Ayanz en la España de principios del siglo xvii probablemente no fue considerada como se merecía cuando quizás, en otro contexto social y económico, podría haber tenido una importancia similar a la de Savery.

En este estudio se ha comprobado la existencia de invenciones *radicales* que abren nuevas trayectorias tecnológicas; en el caso de las máquinas térmicas estas invenciones suponen alrededor de una veintena de innovaciones, es decir, dos órdenes de magnitud menos que el número total de las invenciones presentadas en este sector técnico. También se ha visto que el número de invenciones *incrementales principales* viene a ser alrededor de un diez por ciento del número total de invenciones presentadas, es decir, un orden de magnitud menor.

Con ello se pretende exponer que a la hora de considerar el desarrollo tecnológico en su conjunto, deban tenerse en cuenta no sólo el esfuerzo de los que desarrollan nuevas trayectorias tecnológicas, sino también el de aquellos que los complementan con las invenciones *incrementales*, tanto las *principales* como las *aditivas*. Probablemente esas nuevas trayectorias no supondrían un avance técnico real sin las invenciones *incrementales*. Un ejemplo que puede ilustrar esta hipótesis se encuentra en la máquina de Newcomen, al abrir la trayectoria tecnológica de las máquinas de vapor alternativas; después Watt, con el desarrollo del condensador, hizo lo que en principio no era más que un perfeccionamiento de la máquina de Newcomen. Sin embargo, esta

⁴⁷ Este tipo de estrategias han sido detalladas incluso en algunos textos ajenos al análisis histórico económico, como puede ser la obra de Barea (1959), pp. 495-500.

invención de Watt, que inicialmente podría haberse calificado como *incremental*, se convirtió en *radical* debido a las notables mejoras que supuso en la máquina de vapor.

La posible irrelevancia de algunas invenciones en una trayectoria tecnológica, no implica que esa invención sea irrelevante en otras trayectorias, o incluso para la misma en un futuro. A veces dentro del *ruido* tecnológico pueden estar latentes nuevas trayectorias técnicas, según se vio en el epígrafe 2.2.4 con la patente ES 41 854. Quizás dicha patente no llegó a ser relevante para el sector tecnológico de las máquinas de vapor, pero anticipó elementos de una tecnología que se desarrolló años más tarde con los motores de combustión interna rotativos tipo Wankel que, sin embargo, tampoco han llegado a tener un éxito comercial desmesurado, probablemente porque no compiten en igualdad de condiciones que los motores de combustión interna alternativos, ya que el desarrollo de éstos es mucho mayor al de aquéllos.

Otro aspecto relevante relacionado con invenciones *radicales e incrementales* es el de la convergencia tecnológica entre sectores, produciéndose interacciones entre unos y otros como propone Rosenberg. Se ha comprobado que para el desarrollo de ciertos campos técnicos a veces es necesario la evolución de terceros; ello ha podido constatarse, como ya se conocía, con los turbocompresores, las turbinas de gas y su vínculo con el desarrollo de la Aerodinámica y la Metalurgia.

5.2.5. *Historia de la empresa*

Una de las tendencias de la Historia Económica desde mediados del siglo xx ha sido centrar sus estudios en la historia de la empresa y del empresario como agentes del cambio económico, analizando, entre otras cuestiones, las estructuras empresariales y las relaciones entre los gobiernos y las empresas. Algunas reflexiones sobre estos temas pueden encontrarse en los textos de Chandler (1987), (1992), y (1996), Jensen y Meckling (1976) y, en el ámbito nacional, puede citarse el trabajo de López y Valdaliso (2000) entre los existentes.

La idea que subyace en este punto es tratar de averiguar las estrategias seguidas por las empresas a la hora de solicitar sus patentes y cómo influye esto en los procesos de innovación y crecimiento económico. Por ello conviene recordar el contexto socio económico que existía en la época del análisis, especialmente cuando a partir de 1880, con la *denominada* Segunda Revolución Industrial, aparecieron las multinacionales y las grandes empresas. Este marco de referencia ayudará a comprender mejor la casuística que a continuación se describe.

Con el estudio de las grandes invenciones radicales (Otto, Diesel, De Laval, Parsons, Brayton,...) se ha podido comprobar que los solicitantes protegían sus invenciones en varios países prácticamente al mismo tiempo; además, en casi la totalidad de los casos esas invenciones también fueron protegidas en España (Brayton fue una de las excepciones), un país que careció de industria de bienes de equipo hasta finales del siglo xix y, por tanto, de una industria nacional que pudiese competir con esos de-

sarrollos, si bien pronto aparecieron casos de plagio, como los motores que Escuder copió a Otto, tal y como se vio en el epígrafe 3.2. Además llaman la atención dos hechos contrastados en esta investigación: la rápida caducidad de muchas invenciones, y el reducidísimo número de patentes que llegaron al final de su vida útil, como se comprobó en la tabla 9.

La rápida caducidad de la mayoría de las invenciones es un fenómeno que puede explicarse de varias maneras: 1) Cabe pensar que las patentes caducaban a los pocos años de su solicitud porque o no se ponían en práctica o no tenían éxito comercial (o técnico) y por tanto sus titulares las dejaban caducar; sobre la puesta en práctica se harán posteriormente otros comentarios. 2) Otra opción es considerar que esta caducidad correspondía a una estrategia empresarial premeditada: inicialmente se pedía la patente en España y no se preocupaban por ponerla en práctica debido a que la posibilidad de competencia en un país poco industrializado era limitada, si no nula. Con ello se perdía el monopolio y se abría el mercado; sin embargo se impedía que la competencia protegiese la invención al estar descrita en castellano y cerrase el mercado español: era preferible llegar a compartir el mercado con otros que arriesgarse a perderlo.

En lo que se refiere al limitado número de patentes que llegaban al final de su vida útil, cabe recordar el comentario realizado en el epígrafe 5.1.1, en el sentido que este hecho pueda interpretarse como una muestra de la rápida evolución tecnológica, de manera que los veinte años de duración de las patentes era un tiempo muy dilatado. Durante ese periodo la mayor parte de las patentes quedaban obsoletas por nuevas tecnologías, por lo que carecía de sentido pagar las anualidades para mantener los privilegios de la patente hasta el fin de su vida teórica.

En este punto puede destacarse una posible influencia institucional sobre la puesta en práctica. Hasta el año 1878, la puesta en práctica exigida por la legislación para mantener la patente implicaba que la invención se llevara a cabo en alguna instalación nacional⁴⁸. Sin embargo a partir de esa fecha la legislación se hizo más flexible, de manera que muchas veces esa acreditación de la puesta en práctica consistía en certificar que la invención se *podría desarrollar* en algún establecimiento determinado, como talleres mecánicos o alguna instalación similar capaz de construir esa invención. Así pues, una posible debilidad en la legislación de patentes podía fomentar una flexibilidad en la acreditación de la puesta en práctica y, por tanto, estar manteniendo patentes que quizás no cumplían todos los requisitos previstos en la ley, de lo que podían aprovecharse las empresas para mantener monopolios.

Otra relación con la influencia institucional viene dada por la insuficiencia en la descripción de muchas patentes. Considérese el sistema español de la época, de concepción con simple depósito sin examen de novedad; éste es un sistema de patentes débil en el que no se exige dar todos los detalles técnicos de la invención en la descripción.

⁴⁸ Véase en el texto de Sáiz (1996), el artículo 38 de la Ley de 30 de julio de 1878 y el Real Decreto de 27 de marzo de 1826.

Esto beneficia al titular de la patente y puede perjudicar al resto de la sociedad, ya que con este sistema el solicitante puede describir en la patente sólo las características básicas de la invención sin llegar a exponer todos los detalles técnicos: con ello el solicitante tiene los privilegios del monopolio, sin llegar a divulgar las características técnicas de la invención, perjudicando claramente a los otros usuarios del sistema de patentes e, incluso, al resto de la sociedad. Esto podía ser aprovechado, y lo fue, por multinacionales para obtener monopolios y abrir mercados sin describir exactamente la tecnología desarrollada.

Dentro de este contexto, debe añadirse que a partir de 1880 las grandes empresas empiezan a contar con los primeros departamentos de I+D, que no sólo se encargaban de realizar los nuevos desarrollos técnicos, sino que también estudiarían la forma más adecuada de protegerlas en los países que fuesen de su interés. Por tanto, parece que cuando las empresas extranjeras registran sus invenciones en España lo hacen con unas estrategias claramente definidas.

Con relación a la expansión empresarial internacional, debe destacarse un hecho que se mencionado a lo largo del texto, y es que en España y para el sector de las máquinas térmicas, el derecho de prioridad se empezó a usar a partir de los primeros años del siglo xx; no se han encontrado reivindicaciones de prioridad anteriores a 1900. Como se apuntó en el epígrafe 1.6.1 (véase la nota 4), el CUP instauró el derecho de prioridad en 1883, pero sin embargo debieron pasar casi veinte años desde su instauración para que se empezara a utilizar en las patentes españolas. Quizá ello pueda justificarse por inexistencia de una estrategia de empresa habituada a proteger sus innovaciones en varios países, si bien en la práctica, aunque no se reivindicara el derecho de prioridad, la patente se solicitaba en distintas naciones.

5.3. El modelo de la pirámide de innovación

Del estudio realizado en este capítulo, cabe proponer un modelo que explique las relaciones existentes entre los diversos factores relacionados en los procesos de innovación tecnológica. En principio hay que señalar que la propuesta de este modelo es genérica para cualquier ámbito tecnológico y su protección mediante patentes, si bien surge del estudio hecho para el campo de las máquinas térmicas y en el periodo objeto de este análisis. Habrá que determinar si el modelo es válido para otros sectores tecnológicos y otras épocas, si bien esta constatación puede necesitar la realización de otros estudios sectoriales similares a los presentados en esta obra.

En forma de resumen, puede señalarse que a lo largo de este capítulo se han realizado diversos análisis estadísticos que permiten comprender qué tipos de patentes se solicitaron relativas a máquinas térmicas; algo más de la mitad de ellas se referían a motores de combustión interna, y el resto se repartía en proporciones muy similares entre máquinas de vapor alternativas y turbomáquinas. Se comprueba que España tenía un gran dependencia exterior en este sector técnico, pues casi en el 85% de

las patentes presentadas los titulares no eran españoles y además muchos solicitantes residentes en el territorio nacional eran extranjeros. Los países de procedencia de esta tecnología fueron fundamentalmente Francia, Alemania, Reino Unido y Estados Unidos. Si se consideran las patentes que fueron presentadas por residentes en España, se observa que la mayor parte de los solicitantes (dos tercios) residían en Cataluña; las otras regiones donde se concentraban más solicitantes de estas patentes eran Madrid y el País Vasco. Estas regiones coinciden con las que estaban más industrializadas en la época de estudio y en las que comenzaba la implantación de una industria de bienes de equipo básica, aunque Madrid además era la capital administrativa, centro financiero y político y punto neurálgico de los transportes ferroviarios.

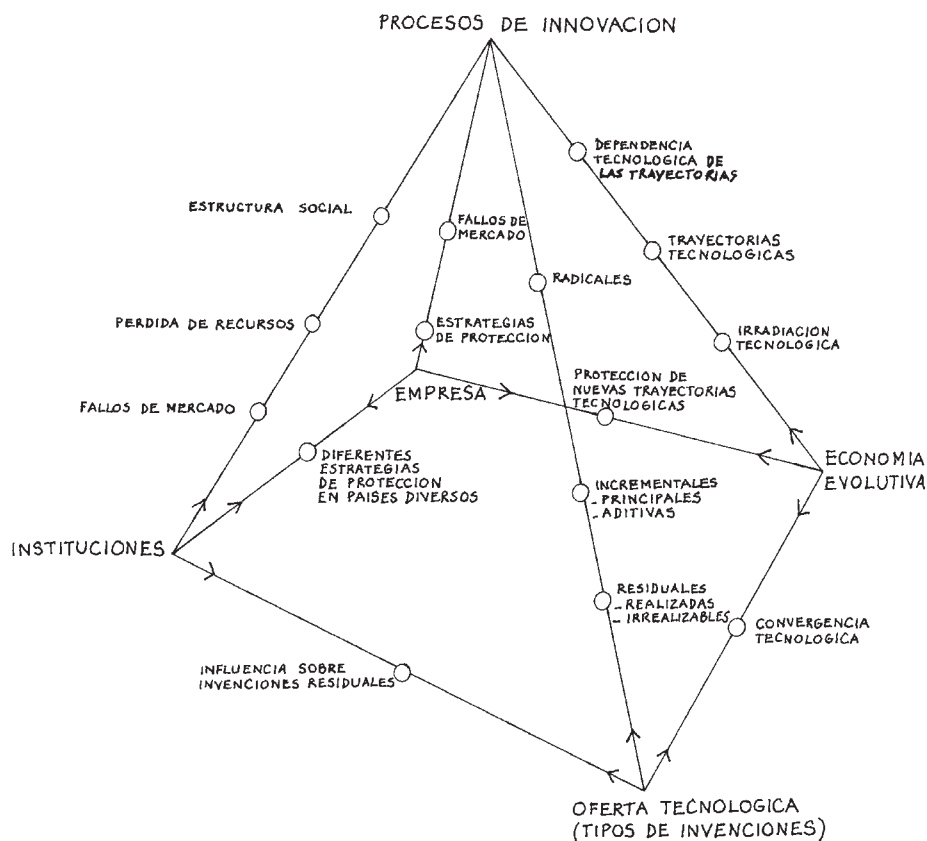
También se ha visto, considerando la potencia entregada por algunas de las innovaciones sobre máquinas térmicas, que con cada invención *radical* que apareció en las distintas trayectorias tecnológicas se dio un aumento de la potencia en un orden de magnitud respecto a las anteriores tecnologías. O bien, para igual orden de magnitud en la potencia entregada, hubo disminución en sus dimensiones y pesos.

Se ha definido un *índice de relevancia* para las máquinas térmicas, que viene a indicar el porcentaje de patentes necesario para entender la evolución de este sector tecnológico. Se ha visto que aproximadamente el 10% de las patentes presentadas son suficientes para entender los avances más relevantes que se han producido en este campo; el 90% de las patentes restantes son representantes del *hormigueo* generado por el sector técnico.

Respecto a qué aporta el estudio técnico de las patentes españolas referentes a máquinas térmicas al esclarecimiento de las complejas interacciones entre procesos de invención e innovación, instituciones y crecimiento económico, las conclusiones a las que se han llegado se pueden resumir de forma simplificada en el esquema 3, que representa una *pirámide* de interacción de factores diversos relacionados con los procesos de innovación.

Considerando la influencia institucional en el ámbito de la Propiedad Industrial, puede observarse que ésta se puede manifestar de diversas maneras: si existe un sistema de protección de las patentes débil se producen fallos de mercados y pérdidas de recursos por parte de los solicitantes, que presentan invenciones ya desarrolladas o sin aplicación técnica real, perdiendo así sus recursos y los de la Administración (concretamente, los de las oficinas de patentes). Por otro lado, si el país no está lo suficientemente desarrollado tecnológicamente y socialmente, no se puede dar un sistema de protección de las patentes fuertes, con personal cualificado y medios para garantizar que las patentes concedidas posean los requisitos de patentabilidad, si bien este hecho puede ser un factor a considerar para fomentar el crecimiento económico de una nación poco desarrollada tecnológicamente.

Si se estudian los planteamientos de la economía evolutiva aplicados a las invenciones sobre máquinas térmicas y el desarrollo económico, se podría afirmar que exis-



Esquema 3.—Pirámide de interacción de factores diversos sobre las innovaciones y las patentes

ten diversas trayectorias tecnológicas en las que se producen mecanismos de avance tecnológico basados en procesos de irradiación y dependencia del pasado.

Reflexionado sobre el tipo de invenciones se ha visto que unas, las *radicales*, establecen las directrices de las diversas trayectorias tecnológicas, y otras, las *incrementales*, las van perfeccionando. Dentro de éstas se pueden distinguir las *principales* y *aditivas*, que son las aportan perfeccionamientos y mejoras en sus respectivas trayectorias. Por último existen invenciones *residuales* que, en principio, no aportan ningún conocimiento especialmente significativo al estado de la técnica, aunque son una muestra del *hormigueo* en torno a ese sector, fruto de la actividad económica a que da lugar.

Existen vínculos entre los tipos de invenciones y la influencia institucional; así, en países con sistemas fuertes en la concesión de patentes, con examen de novedad, el número de invenciones *residuales* podría ser menor que en países con legis-

laciones más débiles, donde prácticamente cualquier invención puede llegar a ser concedida, incluso aunque ya forme parte del estado de la técnica. Por otro lado hay vínculos con la economía evolutiva, pues determinadas invenciones pueden ser utilizadas en otras trayectorias tecnológicas diferentes, llegando a situación de convergencia tecnológica, como la que se dio con el desarrollo de las turbinas de gas y la industria aeronáutica.

Por último, en lo que a la actividad empresarial se refiere, resulta obvio que también ha influido en las innovaciones sobre máquinas térmicas; según la estrategia de protección desarrollada por la empresa, ésta solicitará sus patentes en los países que considere oportuno; si no tiene hábitos de investigación tecnológica puede disipar su I+D en desarrollar productos que ya estén protegidos o, incluso, cuyas patentes hayan caducado, y cometerá errores que la alejan del óptimo como ya se vio que podían cometer los solicitantes sin especiales conocimientos técnicos. A su vez, la economía evolutiva también influye en la estrategia empresarial si se decide la protección de las nuevas trayectorias tecnológicas desarrolladas.

Este análisis se cierra si se considera que la influencia institucional también está presente en la historia de la empresa, ya que las empresas pueden emprender estrategias de protección distintas en función del país (y su legislación en Propiedad Industrial) en que quieran obtener su patente.

6. EPÍLOGO

Este capítulo se presenta en forma de epílogo como un breve resumen de lo tratado en este texto y que, a criterio de su autor, puede ser considerado como más relevante de la obra. Este resumen se hace desde dos vertientes, una histórico-técnica, que permite reflexionar sobre la evolución técnica de las máquinas térmicas a partir del estudio de sus patentes, y otra vertiente histórico-económica que da una visión sobre algunas cuestiones relacionadas con la economía de los procesos innovadores.

6.1. Consideraciones histórico-técnicas

El primer dato que se quiere reflejar en este punto es la validez del sistema español de patentes durante el periodo 1826-1914 para estudiar la evolución técnica de las máquinas térmicas, pues en él se han encontrado la mayoría de las patentes relativas a las invenciones *radicales* que abrieron nuevas trayectorias tecnológicas, así como numerosas *incrementales*, que permiten tener una visión general de los otros avances menores que se dieron en este sector. Algunas de las invenciones radicales no fueron presentadas en España, como las máquinas de Newcomen y Watt, debido a la inexistencia entonces de un marco jurídico estable para la protección de las invenciones.

Cuando en 1826 aparece la primera legislación española sobre Propiedad Industrial, se abren las puertas para que inventores nacionales y extranjeros patenten sus innovaciones; sin embargo, se comprueba que en el campo de las máquinas de vapor alternativas no se encuentran grandes invenciones *radicales*, sino que aparecen numerosas invenciones menores que muestran la evolución tecnológica de estas máquinas.

En el sector de los motores de combustión interna alternativos, se ha comprobado que en el Archivo Histórico de la OEPM se conservan las patentes asociadas con las invenciones *radicales* más destacables en este campo, como son las patentes de Otto, Diesel y Clerk, así como las de otros notables ingenieros como Langen y Daimler. Lamentablemente estas patentes, como casi la totalidad de las consultadas, carecen de datos termodinámicos, por lo que es imposible realizar análisis cuantitativos rigurosos sobre estas invenciones. También se han encontrado numerosas patentes sobre invenciones *incrementales*, que recogen distintas innovaciones menores en este campo. En muchos de los casos analizados las patentes carecen de suficiencia en la descripción.

Se ha hecho un breve análisis de las patentes españolas presentadas por Marc Birkgigt, ingeniero de la Hispano-Suiza, empresa que puede considerarse como paradigma del desarrollo tecnológico español en este sector a principios del siglo xx. También se han recuperado patentes de los primeros años de la década de 1910 que describen motores de dos tiempos sobrealimentados, lo que demuestra que esta tecnología empezó a desarrollarse antes de la Primera Guerra Mundial.

En el campo de las turbomáquinas, se ha comprobado que la mayoría de las invenciones radicales de este sector fueron presentadas en España, habiéndose recuperado patentes de Parsons, De Laval y Rateau. Sin embargo, no se han encontrado patentes que acrediten que las turbinas de Curtis y Ljungström fueran registradas en España. También hubo intentos de desarrollar turbocompresores y turbinas de gas, si bien esto no fue posible hasta que se produjeron avances en otros sectores técnicos.

Los documentos sobre invenciones *incrementales* que aparecen en estas páginas no pretenden mostrar que las invenciones aquí patentadas también fueron las primeras mundialmente, pues para determinar esos detalles habría que hacer un análisis comparado de numerosos estudios como éste, realizados con otras colecciones de patentes; además debe recordarse la gran dependencia tecnológica del sector. Dichas referencias deben entenderse como fechas aproximadas en las que los distintos desarrollos formaban parte del estado de la técnica.

En general es imposible comparar el estado de la técnica existente en España con el que había en otros países, pues ello requeriría realizar un estudio como el que se ha propuesto en este texto para cada una de las naciones consideradas, lo que no se tiene constancia que se haya hecho sobre otras colecciones nacionales de patentes. Esto viene a mostrar el carácter pionero de esta investigación no sólo en España, sino también en otros países de nuestro entorno político y económico.

En este sentido las colecciones históricas de patentes deben considerarse como valiosísimos elementos de investigación en el terreno de la Arqueología Industrial, pero también tienen su aplicación en otros campos, como el de la Historia Económica. Las Oficinas Nacionales de Patentes desempeñan un papel fundamental en la conservación y divulgación de este riquísimo patrimonio, por lo que deberían fomentar y potenciar los estudios derivados de sus colecciones de documentos sobre Propiedad Industrial.

6.2. Consideraciones histórico-económicas

El primer hecho que se quiere señalar en este punto es que el estudio técnico realizado es también válido para obtener conclusiones sobre cómo se producen las dinámicas de innovación y su relación con el crecimiento económico.

Se ha comprobado que en el campo de las máquinas térmicas había una gran dependencia tecnológica, lo que se demuestra con las numerosas patentes que proce-

dían de otras naciones: Francia, Alemania, Reino Unido y Estados Unidos son los países que *exportaban* una abrumadora mayoría de las invenciones de máquinas térmicas patentadas en España. Entre las patentes presentadas por residentes en España, se observa que las dos terceras partes residían en Cataluña y, en menor grado, en Madrid y el País Vasco. Es decir, las regiones más industrializadas de España eran las que registraban más patentes en el sector de las máquinas térmicas.

Se ha comprobado que muy pocas patentes llegaban al final de su vida útil, lo que puede ser interpretado como una estrategia de empresa o una muestra de que la tecnología quedaba obsoleta muy rápidamente.

Ha sido propuesta una revisión a la clasificación de la oferta tecnológica, pasando de la clasificación binaria sobre invenciones *radicales e incrementales* a otra más detallada que engloba estos tipos. En ésta, las invenciones *incrementales* (las que realizan contribuciones *menores* al avance de la técnica) se dividen en *principales y aditivas*; también se propone una nueva clasificación de patentes *residuales*, (que no suponen aportaciones técnicas nuevas o, si lo son, no resultan relevantes en el campo técnico analizado) que se subdivide en *realizadas e irrealizables*. Se ha definido un índice de relevancia para cuantificar el porcentaje de las patentes solicitadas que muestran con representatividad el nivel tecnológico que se desarrolló en el sector de las máquinas térmicas; se concluye que alrededor de un diez por ciento de las patentes muestran los desarrollos más relevantes de este sector y el 90% restante es una muestra de la actividad económica asociada al sector. Este índice de relevancia representa el porcentaje de invenciones *radicales e incrementales principales* sobre el total del campo de las máquinas térmicas.

Considerando cuatro parámetros, la influencia de las instituciones, la economía evolutiva, la oferta tecnológica y la historia de la empresa, se ha planteado un modelo de interdependencia de estos factores (*pirámide de influencia*) que muestra cómo cada uno de estos parámetros está relacionado con los procesos de innovación tecnológica relativos a las patentes de máquinas térmicas, comprobándose que estos parámetros influyen e interactúan entre sí.

Las instituciones tienen una gran importancia en la concesión de patentes y en el desarrollo tecnológico, ya que en función del sistema jurídico que se tenga se podrá influir sobre otros parámetros. Haciendo una aplicación de las teorías de la economía evolutiva al sector de las máquinas térmicas, puede observarse que hay un comportamiento *tecnológico evolutivo* en este sector técnico.

Por último, se ha visto que las empresas adoptan diversas estrategias a la hora de proteger sus invenciones. Desde una perspectiva de la protección de las innovaciones, la empresa se comporta como un ser vivo que evoluciona y va cambiando su forma de actuar según el entorno en el que se desarrolle.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Viguera Muñiz, José María (1961, 2.^a Edición). *La Ingeniería Industrial Española en el Siglo XIX*. Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid.
- Amengual Matas, R. Rubén (2004 a). «Las primeras máquinas térmicas, motor de la Revolución Industrial», en *La energía en sus claves* (Editor: José M.^a Martínez-Val Peñalosa). Fundación Iberdrola. Madrid.
- Amengual Matas, R. Rubén (2004 b). *Análisis de la evolución histórica de las máquinas térmicas durante el periodo 1826-1914 a través de las patentes españolas de la época* (tesis doctoral). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid. (Disponible en formato electrónico en la página web de la UPM <http://oa.upm.es/356> según su URL de agosto de 2007).
- Baccini, A. y Giannetti, R. (1997). *Cliometría*. Editorial Crítica, S. L. Barcelona.
- Beatty, Edward & Sáiz González, J. Patricio (2002). *Propiedad Industrial, innovación tecnológica y crecimiento económico. España y México en el siglo XIX*. Congress of the International Economic History Association. Buenos Aires, 22-26 de julio.
- Buckland, J. S. P. (1986). «Thomas Savery His Steam Engine Workshop of 1702», en *The Newcomen Society for the Study of the History of Engineering and Technology Transactions*, Volume 56, 1984-85, pp. 1-20. London.
- Cabana i Vancells, Francesc (1992). *Fàbriques i Empresaris. Els protagonistes de la Revolució Industrial a Catalunya. Metal.lúrgics Químics*. Enciclopèdia Catalana. Barcelona.
- Carnot, Sadi (1824). *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance*. Chez Bachelier Libraire. París.
- Carreras, Ramón; Comas, Ángel; Quera, Manel y Calvo, Antonio (1998). *Máquinas Térmicas*. Laboratorio de Motores Térmicos y Automóviles. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Tarrasa.
- Castro Vicente, Miguel de (Director) y varios autores. (1969) *Enciclopedia del motor y automóvil, Tomo 9: Historia del automóvil*. Ediciones Ceac. Barcelona.

- Cayón García, Francisco; Frax Rosales, Esperanza; Matilla Quiza, María Jesús; Muñoz Rubio, Miguel, y Sáiz González, José Patricio. (1998). *Vías paralelas. Invención y ferrocarril en España 1826-1936*. Fundación de los Ferrocarriles Españoles. Editorial Luna. Madrid.
- Chandler, A. (1987). *La mano visible. La revolución en la dirección de la empresa norteamericana*. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Madrid.
- Chandler, A. (1992). «What is a firm? A historical perspective», en *European Economic Review*, n.º 36, pp. 483-492.
- Chandler, A. (1996). *Escala y diversificación. La dinámica del capitalismo industrial, (Vol. I y II)*. Prensas Universitarias de Zaragoza. Zaragoza.
- Cohen, H.; Rogers, G. F. C. y Saravanamuttoo, H. I. H. (1983). *Teoría de las Turbinas de Gas*. Marcombo, S. A. Boixareu Editores. Barcelona.
- Colegio y Asociación «Julio Soler» de Ingenieros Industriales de Cantabria (2001). *Relación de Titulados (1850-1999)*. Santander.
- Cummins Jr., C. Lyle (1989, Revised Edition). *Internal fire*. Society of Automotive Engineers, Inc. Warrendale, PA.
- Daumas, Maurice; Guéron, J.; Herléa, A.; Moïse, R. et Payen, J. (1978). *Histoire Générale des Techniques, Tome IV, Les Techniques de la Civilisation Industrielle, Énergie et matériaux*. Presses Universitaires de France. Paris.
- David, P. A. (1975). *Technical Choice, Innovation and Economic Growth: Essays on British and American Experience in the Nineteenth Century*. Cambridge University Press. London, New York.
- David, P. A. (1985). «Clio and the Economics of QWERTY» en *American Economic Review*, Vol. LXXV, n.º 2, pp. 459-467.
- David, P. A. (1988 a). *Path-Dependence: Putting the Past into the Future of Economics*. Technical Report n.º 533, Institute of Mathematical Studies in the Social Science. Stanford, California.
- David, P. A. (1988 b). *The Future of Path-Dependence Equilibrium Economics. From the Economics of Technology to the Economics of Almost Everything?* Center for Economic Policy Research. Stanford University.
- Day, John (1980). *Engines. The Search for Power*. The Hamlyn Publishing Group Limited. London.
- Dixon, S. L. (1981). *Mecánica de Fluidos, Termodinámica de las Turbomáquinas*. Editorial Dossat, S. A. Madrid.
- García Tapia, Nicolás (1990). *Patentes de invención españolas en el Siglo de Oro*. Registro de la Propiedad Industrial. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

- García Tapia, Nicolás (2001). *Un inventor navarro Jerónimo de Ayanz y Beaumont 1553-1613*. Gobierno de Navarra, Departamento de Educación y Cultura, Dirección General de Cultura - Institución Príncipe de Viana. Pamplona.
- García Tapia, Nicolás y Cano García, Juan Antonio (2003). *La aventura del Castilla: el primer vehículo de vapor que circuló por las carreteras españolas (1860)*. Fundación Cidaut. Valladolid.
- Helguera Quijada, Juan y Torrejón Chaves, Juan (2001). «La introducción de la máquina de vapor», en *Historia de la Tecnología en España*, Tomo I, pp. 240-252. Valateña, S. L. Barcelona.
- Heras Lorenzo, Tomás de las (2002). *Leyes de la Propiedad Industrial*. Editorial Aranzadi. Cizur Menor (Navarra).
- Heywood, John B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw-Hill International Editions. New York.
- Jensen, M y Meckling W. (1976). «Theory of the firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure», en *Journal of Financial Economics*, n.º 3, pp. 305-360.
- Kirby, Richard Shelton; Withington, Sydney; Darling, Arthur Burr & Kilgour, Frederik Gridley (1990). *Engineering in History*. Dover Publications, Inc. New York.
- Kitching, John B. (1859). *Máquina de Calórico de Ericsson*. Imprenta de «La Crónica», calle Franklin, 65. Nueva York.
- Klemm, Friedrich (1962). *Historia de la Técnica*. Editor: Luis de Caralt. Barcelona.
- Kostyuk, A. & Frolov, V. (Editors) (1988). *Steam and gas turbines*. Mir Publishers Moscow.
- Lage Marco, Manuel (1992). *Hispano-Suiza / Pegaso. Un siglo de camiones y autobuses*. Lunwerg Editores, S. A. Barcelona.
- Lage Marco, Manuel (2003). *Hispano-Suiza 1904-1972. Hombres, empresas, motores y aviones*. Lid Editorial Empresarial, S. L. Madrid.
- López García, Santiago y Valdaliso Gago, Jesús M.ª (1997). «Pautas de innovación y niveles de acercamiento tecnológico: el caso de la industria de fabricación de motores Diesel marinos en España», en *Seminario de Historia Económica: Economía española y mercado internacional (S. XIX y XX)*. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Bilbao, 16 de mayo de 1997.
- López García, S. y Valdaliso Gago, J. M. (1999). «Economía, biología y evolución. Algunas reflexiones sobre la “economía evolutiva” y la importancia de la historia», en *Anthropos*, n.º 182, enero-febrero 1999.
- López García, Santiago y Valdaliso Gago, Jesús M.ª (2000). *Historia económica de la empresa*. Editorial Crítica, S. L. Barcelona.

- Martínez-Val Peñalosa, José M.^a (2003). «Los libros del amanecer de la electricidad en España», en *DYNA (diciembre 2003), Volumen LXXVIII-9, Electrificación*, pp. 23-30. Federación de Asociaciones de Ingenieros Industriales de España. Bilbao.
- Meher-Homji, C. B. (1998). «The Development of the Whittle Turbojet», *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Transactions of the ASME*. Vol. 120, April 1998, pp. 249-256.
- Mokyr, Joel (1990). *La palanca de la riqueza. Creatividad tecnológica y progreso económico*. Alianza Universidad, número 748. Madrid.
- Muñoz Torralbo, Manuel; Payri González, Francisco (Directores) y varios autores (1989). *Motores de combustión interna alternativos*. Sección de Publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros Industriales. Fundación General U.P.M. Madrid.
- Muñoz Torralbo, Manuel; Valdés del Fresno, Manuel y Muñoz Domínguez, Marta (2001). *Turbomáquinas Térmicas. Fundamentos del Diseño Termodinámico*. Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid.
- Nadal i Oller, Jordi; Maluquer de Motes, Jordi; Sudrià y Triay, Carles; Cabana i Vancells, Francesc (1991). *Història Econòmica de la Catalunya Contemporània*. Enciclopèdia Catalana. Barcelona.
- Nadal Oller, Jordi (Director) et al. (2003). *Atlas de la industrialización de España 1750-2000*. Editorial Crítica, S. L. Barcelona.
- Nelson, R. R. & Winter, S. G. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. The Belknap Press of Harvard University Press. Cambridge. Massachusetts.
- North, D. C. y Thomas, R. P. (1980). *El nacimiento del mundo occidental*. Siglo XXI. Madrid.
- North, D. C. (1984). *Estructura y cambio en la historia económica*. Alianza Editorial. Madrid.
- North, D. C. (1993). *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico*. Fondo de Cultura Económica. México D. F.
- Oficina Española de Patentes y Marcas (2002). *Memoria de actividades 2001*. Madrid.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual y Oficina Española de Patentes y Marcas (2003). *Manual de información y documentación en materia de Propiedad Industrial*. Ginebra-Madrid.
- Ortega y Gasset, José (2001). *Meditación de la Técnica y otros ensayos sobre Ciencia y Filosofía*. Alianza Editorial. Madrid.
- Parsons, N. C. et al. (1986). «Sir Charles Parsons: A Symposium to Commemorate the Centenary of his Invention of the Steam Turbine and Electric Generator», en *The*

- Newcomen Society for the Study of the History of Engineering and Technology Transactions*, Volume 56 1984-85, pp. 21-58. London.
- Polo, Emilio (1994). *La Hispano-Suiza. Los orígenes de una leyenda 1899-1915*. Wings & Flags, S. L. Madrid.
- Polo, Emilio (1999). *La Hispano-Suiza. El vuelo de las cigüeñas 1916-1931*. Wings & Flags, S. L. Madrid.
- Riera i Tuèbols, Santiago (1998). *Quan el vapor movia els trens. La fabricació de locomotors per La Maquinista Terrestre y Marítima*. Col·legi i Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya. Marcombo Boixerau Editores. Barcelona.
- Riera i Tuèbols, Santiago (1993). *Dels velers als vapors*. Col·legi i Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya. Barcelona.
- Rolt, L. T. C., & Allen, J. S. (1977). *The Steam Engine of Thomas Newcomen*. Moorland Publishing Company, Hartington, England.
- Rosenberg, Nathan (1982). *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Rumeu de Armas, Antonio (1990). *El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro*. Fundación Juanelo Turriano. Madrid.
- Sáinz, José María (1906). *Tratado Práctico de Gasógenos y Motores de Combustión Interna*. Librería Internacional de Adrián Romo. Madrid.
- Sáiz González, J. Patricio (1996). *Legislación histórica sobre propiedad industrial, España 1759-1929*. Oficina Española de Patentes y Marcas. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- Sáiz González, J. Patricio (1999). *Invención, patentes e innovación en España*. Oficina Española de Patentes y Marcas. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.
- Sáiz González, J. Patricio (2002 a). «Los orígenes de la dependencia tecnológica española. Evidencias en el sistema de patentes (1759-1900)», en *Economía Industrial*, n.º 343, pp. 83-95. Madrid.
- Sáiz González, J. Patricio (2002 b). «The Spanish Patent System (1770-1907)», en *History of Technology*, Vol. 24, pp. 45-79.
- Sáiz González, J. Patricio (2003). «Patents, International Technology Transfer and Spanish Industrial Dependence (1759-1878)», en *Les chemins de la nouveauté: innover, inventer au regard de l'histoire*. Éditions du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Paris.
- Schlegelmilch, Rainer W. und Lehbrink, Hartmut (1997). *Mercedes*. Könenmann Verlagsgesellschaft mbH. Köln.

- Schmookler, Jacob (1966). *Invention and Economic Growth*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
- Schumpeter, Joseph A. (1963). *Teoría del desenvolvimiento económico*. Fondo de Cultura Económica. México D. F.
- Somerset, Edward (1663). *A Century of the Names and Scantlings of such Inventions*. London.
- Szabo, George S. A. (1986). «The Problem and Solution Approach to the Inventive Step», en EIPR, *European Industrial Property Revue*, 10; pp. 293-303.
- Szabo, George S. A. (1995). «The Problem and Solution Approach in the European Patent Office», en IIC, *International Revue of Industrial Property and Copyright Law*, Volume 26 n.º 4/1995. Max Plank Institute for Foreign and International Patent, Copyright and Competition Law. Munich.
- Tortella, T. (2000). *A Guide to Sources of Information on Foreign Investment in Spain, 1780-1914*. International Institute of Social History. Amsterdam.
- Valdaliso Gago, Jesús M.ª (1997). «La evolución del cambio técnico en la flota mercante española durante el siglo xx: tecnologías disponibles y factores condicionantes», en S. López y J. M.ª Valdaliso (Eds.) *¿Que inventen ellos? Tecnología, empresa y cambio económico en la España contemporánea*. Alianza Universidad, pp. 19-49. Madrid.
- Ventou-Duclaux, L. (1912). *Les Moteurs a Deux Temps. Moteurs a Explosions Destinés a l'Automobilisme et a l'Aviation*. H. Dunod et E. Pinat, Éditeurs. Paris.
- Wood, J. L. (1990). «The Sulzer Steam Engine Comes To Britain», en *The Newcomen Society for the Study of the History of Engineering and Technology Transactions*, Volume 59 1987-88, pp. 129-152. London.