



143.507

P A T E N T E            D E            I N V E N C I O N

a favor de

Michel KADENACY y ARMSTRONG WHITWORTH SECURITIES COMPANY LIMITED  
domiciliado el primero en PARIS (Francia) y la segunda  
en LONDON y en NEWCASTLE-UPON-TYNE (Inglaterra)

por:

"Método para la construcción de motores de combustión interna  
a dos tiempos"

=====  
=====  
=====  
=====  
=====  
=====  
=====  
=====

M e m o r i a            D e s c r i p t i v a .

5

Esta invención se refiere a un método para la construcción de motores de combustión interna a dos tiempos, del tipo en los cuales una porción por lo menos de los gases quemados abandona el cilindro a una velocidad mucho mayor que la que se obtiene cuando se produce únicamente un flujo adiabático y en un intervalo de tiempo tan corto que la descarga de dicha porción de los gases quemados se efectúa como si fuera una masa dejando tras de sí una depresión que se utiliza pa-



237



10 ra introducir una nueva carga en el cilindro.

El objeto de esta invención consiste en proporcionar un método para la construcción de un motor de esta clase por el cual puede obtenerse un par óptimo y estable y además un par practicamente constante dentro de los deseados límites de velocidad.

15

Esta invención consiste en hacer que el área del orificio de escape que se abre dentro de un intervalo de tiempo suficientemente pequeño para asegurar que los gases que se encuentran todavia en el cilindro retengan una energia balística suficiente para mantener durante la subsiguiente evacuación del cilindro una velocidad superior a la velocidad que se obtiene cuando se produce unicamente un flujo adiabático, sea mayor que el producto del area de la sección transversal del cilindro multiplicada por la velocidad de expansión adiabática para las condiciones del medio en cuestión y dividida por la velocidad de la salida balística.

20

25

Al área mínima de orificio de escape que cumple las condiciones definidas en el párrafo anterior se le dará en lo sucesivo el nombre de área crítica de orificio de escape.

30

Esta invención consiste además en hacer que una vez abierta dicha área crítica, se abra un área adicional del orificio de escape a fin de conseguir una evacuación mas rápida de los gases quemados del cilindro.

35

La invención se comprenderá mas claramente por la siguiente descripción hecha de acuerdo con los planos adjuntos en los cuales:

La figura 1 es un diagrama aclaratorio relativo a la velocidad de salida de los gases quemados a su descarga del cilindro por el orificio de escape.

40

La figura 2 es un diagrama ilustrando las diferentes condiciones obtenidas en el cilindro de un motor de com-



45 bustión interna como consecuencia de la descarga de los gases quemados y mostrando el efecto de una apertura retrasada del área crítica del orificio de escape con relación al comienzo de la expulsión.

50 La figura 3 es un diagrama análogo al de la figura 2, pero mostrando el efecto de una apertura anticipada del área crítica del orificio de escape con relación al comienzo de la expulsión.

55 Se ha creído hasta ahora que cuando los gases quemados se descargan del cilindro de un motor de combustión interna esta descarga se efectúa como un flujo adiabático y que la velocidad máxima de descarga de estos gases es igual a la velocidad del sonido para el medio en cuestión.

60 El inventor ha indicado ya en otras patentes que esta suposición no está de acuerdo con los hechos y que la conducta de los gases quemados al efectuarse su descarga del cilindro y después de ella es tal que hace admitir que los gases quemados forman un cuerpo dotado de propiedades análogas a las de un cuerpo elástico, el cual al abrirse el orificio de escape tiende a proyectarse fuera del cilindro como una masa.

65 Se ha observado también que al abrirse el orificio de escape se produce primeramente un retraso durante el cual no se observa variación apreciable en el medio gaseoso externo que rodea al orificio de escape y que después de transcurrido dicho periodo de retraso los gases quemados salen del cilindro a una velocidad mayor que la velocidad previamente supuesta que se obtiene para un flujo adiabático y como una masa cuyo movimiento es gobernado por las leyes de la reflexión, rebote y gasto de trabajo con la consecuencia de que en el último instante de tiempo el movimiento hacia fuera de la masa se invierte en dirección y los gases quemados rebotan en la dirección del cilindro.

75 Esto no debe entenderse en modo alguno en el senti-



ENC. 137



do de que se excluya la expansión simultánea de los gases. La expansión adiabática de los gases quemados se produce continuamente, pero teniendo en cuenta el hecho de que su velocidad de salida es mayor que la velocidad del sonido, los gases son capaces de separarse por si mismos de las paredes del receptáculo que los contiene.

Para dar una idea mas clara de estos fenómenos, así como de la invención, puede trazarse una analogía con la conducta de un resorte helicoidal al reaccionar contra fuerzas aplicadas al mismo.

Si se coloca sobre una mesa un resorte helicoidal libre y se somete a la compresión, la fuerza de compresión almacenada en el resorte es una fuerza que actúa sobre una masa y que es capaz de comunicar fuerza viva a esta masa. Si luego se suelta el resorte de modo que se expansiona contra una resistencia y esta resistencia se calcula debidamente, el resorte puede expansionarse lentamente hasta que recobra su longitud normal en la que permanecerá en reposo.

El trabajo efectuado por el resorte al expansionarse se habrá acumulado en la resistencia.

En cambio, si el resorte después de haber sido comprimido sobre la mesa, se suelta repentinamente, es decir, que los medios que ejercian la compresión se retiran en un intervalo de tiempo muy pequeño, el resorte al expansionarse abandonará también a la mesa como una masa. La energía acumulada en el resorte se ha utilizado principalmente en comunicar fuerza viva al resorte. Durante esta carrera por el aire, después de abandonar la mesa, se producirán oscilaciones en el medio continuo que constituye el resorte, pero estas oscilaciones no guardarán relación directa con el movimiento del resorte al separarse de la mesa.

Esta condición puede compararse con la salida de los gases quemados del cilindro, a una velocidad superior a la velocidad que se obtiene cuando unicamente se produce un



flujo adiabático.

Además, si el resorte mientras está mantenido en un estado estático de compresión entre dos superficies, es sometido a un choque, por ejemplo a un martillazo, la acción  
115 ejercida por este sobre el resorte se manifestará en dos formas. En primer lugar la compresión aumenta y en segundo lugar producirá un movimiento del centro de gravedad del resorte puesto que es una fuerza que actúa sobre una masa y que es capaz de producir una aceleración en la misma.

120 Si entonces se separa una de las paredes de retención en un intervalo de tiempo tan corto que continua todavía este movimiento del centro de gravedad del resorte este rebotará todo él desde la otra pared con una velocidad aumentada por efecto de la velocidad comunicada a su centro de gravedad por el  
125 martillazo, es decir, por la energía comunicada al resorte.

El choque del martillazo contra el resorte puede compararse con el choque ejercido sobre los gases comprimidos en el cilindro de un motor por la combustión de estos gases y se observará que ello sugiere la idea de que esta combustión  
130 además de aumentar la presión de los gases puede comunicar también velocidad al centro de gravedad de la masa de gases contenida en el cilindro y de la velocidad de salida de los gases quemados cuando se abre el orificio de escape es influida por esta velocidad posiblemente preexistente en el cilindro.

135 De lo antes dicho se comprenderá que desde el punto de vista de los solocitantes, los gases quemados que son descargados del cilindro de un motor de combustión interna presentan una elasticidad mecánica que puede ser comparada con la elasticidad mecánica de un resorte y que es el elemento tiempo  
140 el que determina si los gases abandonan el cilindro por un flujo producido por expansión adiabática o como a un cuerpo proyectado por una fuerza que se le aplica.

El flujo adiabático de los gases puede compararse con la condición bajo la cual la expansión del resorte es ejer-



145 cida contra una resistencia que se le oponga y que absorbe el trabajo. La salida en masa de los gases quemados del cilindro, puede compararse con la condición en la cual en la mayor parte de la energía acumulada en el resorte se transforma en movimiento de la masa del mismo.

150 Cuando los gases quemados abandonan al cilindro por el orificio de escape, su velocidad puesto que es mayor que la del sonido para el medio en cuestión, puede considerarse como consecuencia de dos factores.

155 1. un flujo adiabático con una sencilla expansión que unicamente es capaz de producir una velocidad igual a la del sonido y

2. una fuerza capaz de comunicar a los gases una velocidad mayor que la del sonido.

160 A esta fuerza nos referiremos a continuación como fuerza balística y la velocidad que es consecuencia de esta fuerza la denominaremos velocidad balística de los gases quemados.

165 Bajo la acción del primero de estos dos factores los gases unicamente son capaces de expansionarse como un medio continuo manteniendo contacto con todas las partes del receptáculo que los contiene y hasta que se alcanza un equilibrio de presión entre el cilindro y la atmósfera.

170 Bajo la acción del segundo factor, la masa de gases quemados es capaz de separarse por si misma de las paredes que la rodean.

175 Al considerar la analogía entre los gases quemados contenidos en un cilindro de motor y el resorte comprimido, debe sin embargo tenerse en cuenta que en el motor los gases quemados se descarga del cilindro por un orificio que siempre es menor que el área de la sección transversal del cilindro y que se abre gradualmente y no instantáneamente. La expansión del resorte gaseoso encuentra por tanto una resistencia y cuanto mayor sea esta resistencia menor será la ener-



ENC 17



180 gia que se transforma en fuerza viva de la masa del "Resorte  
gaseoso". En otras palabras, si la resistencia es pequeña, es  
decir en un corto periodo de tiempo se abre una gran área, el  
contenido total del cilindro saldrá como una masa, pero si la  
resistencia es grande, es decir, si en un tiempo relativamente  
185 largo se abre solamente un pequeño orificio unicamente saldrá  
como a una masa una porción del contenido del cilindro.

Si consideramos que los gases quemados pasan hacia  
fuera por el conducto de escape con su velocidad balística y  
no tenemos en cuenta la expansión, a consecuencia de la diferen-  
cia de área entre el orificio de escape y el área de la sección  
190 del cilindro la porción de gases quemados que queda en el cilin-  
dro adoptará un movimiento resultante hacia la salida a una ve-  
lidad menor que la de la porción de gases quemados contenida  
en el tubo de escape y la relación entre estas dos velocidades  
estará determinada por la relación entre el área abierta del  
195 orificio de escape en dicho momento y el área de la sección  
transversal del cilindro.

Pero como que toda la masa gaseosa se expansiona  
continuamente a su velocidad de expansión adiabática, la velo-  
cidad del movimiento hacia fuera de la porción de gases que-  
200 mados contenida en todo momento en el cilindro quedará reduci-  
da por la velocidad de esta expansión.

En otras palabras el aumento de volumen por la ex-  
pansión que se produce en el cilindro en un intervalo de tiempo  
determinado, disminuye la reducción efectiva en volumen del con-  
205 tenido del cilindro por el escape a través del orificio de es-  
cape en el mismo intervalo de tiempo.

Por tanto, se observará que según predomine uno u otro  
de los dos factores citados, el final instantáneo de la descarga  
de los gases quemados producida por la fuerza balística y como  
210 consecuencia de estas dos acciones, el espacio del cilindro es-  
tará lleno de gases a presión mayor o igual a la del medio en  
el orificio de escape o bien contendrá gases en estado de rarifi-



cación o estará completamente vacío.

215 Se comprenderá que después de este instante puede ejercerse una acción enérgica sobre el contenido del cilindro por la acción de los gases descargados balísticamente, en primer lugar nos proponemos ahora analizar estas tres condiciones con referencia a la figura 1 de los planos adjuntos.

220 Esta figura muestra dos curvas de velocidad a base del tiempo. Las ordenadas representan velocidades.

El punto 0 representa el momento en que empieza a abrirse el orificio de escape.

225 La curva -1- representa los cambios de velocidad que tienen lugar en un gas que se expansiona de una elevada presión a una baja presión y cuando se ha establecido un flujo puramente adiabático.

230 La ordenada -b- representa la velocidad máxima que según se ha creído conveniente se obtendrá cuando la diferencia de presión sea la máxima (es decir en el momento en que se abre el orificio de escape) y se observará que esta velocidad disminuye gradualmente a medida que aumenta el intervalo de tiempo y disminuye la diferencia de presión hasta llegar eventualmente a cero.

235 Una curva de esta clase puede establecerse a base de un cálculo fundado en consideraciones ya conocidas y es una curva representativa de lo que se supone ocurre cuando un gas se expansiona de una presión elevada a una presión baja.

240 Los solicitantes han observado que los cambios de velocidad que se producen inicialmente como consecuencia de la apertura de un orificio para el escape de los gases quemados en un motor de combustión interna, no son los representados en la curva -1-. Por el contrario, con un cierto retraso, la velocidad de salida aumenta muy rápidamente hasta una velocidad mayor que la velocidad máxima cuando se produce únicamente un flujo adiabático. Si la duración de la salida se prolonga, esta elevada velocidad de salida disminuye luego y eventualmente

245



llega a identificarse con el flujo adiabático.

Esta elevada velocidad inicial o balística se manifiesta como consecuencia de la apertura del orificio de escape, independientemente del tamaño de este orificio, pero el volumen o masa de gases descargados a esta velocidad balística inicial, que existe únicamente durante un periodo de tiempo muy corto después que los gases han empezado a salir del cilindro, depende de la magnitud de dicho orificio.

Estas condiciones se representan en la curva -2- de la figura 1.

Se observará que en este caso la velocidad aumenta rápidamente hasta un valor  $V$  que es mayor que la velocidad máxima de la curva -1- y desciende luego primeramente de una manera rápida y luego con mayor lentitud hasta que finalmente se encuentra en el punto -3- con la curva -1- al cabo de un tiempo  $-t-$  al cual llamaremos tiempo crítico.

Siguiendo la analogía con el resorte puede imaginarse que la curva -1- representa la variación en la rapidez de expansión que ocurre cuando el resorte se deja expandir gradualmente de modo que la reacción ejercida por la masa contra la cual está comprimido el resorte, es absorbida ejerciendo un trabajo sobre un medio distinto del resorte y no se produce acción propulsora del mismo. En el caso de la curva -2-, la ordenada de mayor altura  $V$  puede considerarse como debida a la acción propulsora derivada o bien únicamente de la compresión del resorte en este momento o bien de esta acción en combinación con la velocidad preexistente del centro de gravedad del resorte producida por el martillazo, es decir, por la combustión de la carga. En este caso, el resorte gaseoso al expandirse quedará sometido a una aceleración representada por el ascenso inicial de la curva -2- y después de un periodo de tiempo  $-t-$ , cuando la energía de propulsión se ha disipado, el movimiento de la masa remanente en el cilindro puede producirse únicamente por un flujo adiabático y la curva -2- se confunde con la curva -1- en el punto -3-.



ENT 101



285 Por lo dicho se comprenderá que al final del tiempo -t- la velocidad de los gases quemados que continúan todavía abandonando el cilindro, producida por todos los factores que tienen alguna influencia sobre la velocidad de los gases habrá descendido a un nivel tal que será igual a la velocidad que puede producirse únicamente por un flujo adiabático.

290 En este momento puede decirse que la velocidad de salida de los gases quemados es la velocidad que se obtiene cuando se produce únicamente un flujo adiabático, la cual es efectiva en todas direcciones, de modo que en cualquier momento posterior los gases quemados llenarán completamente el espacio en que se encuentren. En un motor del tipo al cual se refiere esta patente, la descarga de la totalidad o de una  
295 buena parte de los gases quemados se produce en la porción de la curva -2- que se encuentra a la izquierda del punto -3-.

300 Si se supone que los gases quemados abandonan el cilindro del motor pasando por un orificio y en forma tal que al final del tiempo -t- la presión en el cilindro es superior a la atmosférica, los gases quemados se expansionarán luego en una forma adiabática hasta que se haya conseguido igualar la presión entre el cilindro y el medio que se encuentra inmediatamente por fuera del orificio de escape.

305 Cuando un sistema de escape esté ajustado se establecerá la igualación de presión entre el medio del cilindro y el medio del sistema de escape; pero el sistema de escape se encuentra bajo la influencia de los gases que lo han abandonado balísticamente y debe tenerse en cuenta esta acción en el interior del cilindro en los momentos siguientes.

310 Sin embargo, si el orificio de escape se abre y se alcanza un momentáneo equilibrio de presión en un intervalo de tiempo mas corto que -t- y a la velocidad balística de salida de los gases, pero continúa la descarga balística entonces como que los gases quemados se mueven todavía hacia fuera a su velocidad balística, se produce una depresión en el cilindro  
315



que será muy elevada.

320

En este caso por tanto puede conseguirse una acción reguladora empleando un tubo de escape conveniente construido con lo cual esta depresión en el cilindro puede intensificarse y prolongarse su duración por la acción de los gases quemados que han abandonado balísticamente el cilindro.

325

Además, si en un intervalo de tiempo menor que  $t$  el área abierta del orificio de escape es mayor que el área de la sección del cilindro del motor multiplicada por la velocidad instantánea de expansión adiabática y dividida por la velocidad balística de la salida en masa, entonces en este momento la expansión del extremo posterior de los gases quemados contenido en el cilindro no será ya un factor predominante y este extremo posterior de los gases quemados se separará por si mismo de la porción del cilindro mas lejana del orificio de escape y por detrás de los gases quemados quedará un vacío en el cilindro.

330

335

Cuanto menor sea el intervalo de tiempo en el cual se abre esta área crítica, menor será la expansión de los gases quemados que se producirá en este intervalo de tiempo y por consiguiente mayor compacidad tendrá el extremo posterior de los gases quemados y mayor será la energía balística remanente en los gases quemados, de modo que el volumen de vacío completo que quedará por detrás del extremo posterior de los gases quemados será el mayor.

340

345

Para la velocidad balística de escape puede admitirse para los efectos del cálculo un valor medio de 1400 a 1800 metros por segundo, según la calidad de la combustión. Estos valores se refieren a un aceite combustible del tipo empleado usualmente en los motores de encendido por compresión y variarán según el tipo de combustible empleado. Para la bencina estos valores serán algo mas elevados. Estos valores pueden admitirse para el cálculo del motor.

Para la velocidad que se obtiene para un flujo adia-



NO. 1331



350 bático se admiten valores de 350 á 450 metros por segundo de modo que si en cada caso tomamos el valor mas elevado, el area crítica del orificio de escape será de  $\frac{450}{1800} = \frac{1}{4}$  del área de la sección transversal del cilindro.

355 Para el tiempo critico -t- puede suponerse el valor de  $\frac{1}{300}$  de segundo ya que los solicitantes han observado que en la proximidad de este intervalo de tiempo y a un intervalo menor se obtiene una utilización de los fenómenos balísticos satisfactoria para los fines de esta invención.

360 La forma en la cual estas consideraciones pueden aplicarse a la construcción de un motor se comprenderá por la siguiente explicación con referencia a las figuras 2 y 3, pero se entenderá que cuando en el transcurso de esta descripción se admiten valores numéricos para las velocidades adiabática o balística de los gases quemados, para el área crítica  
365 del orificio de escape y para el intervalo de tiempo critico indicados, estos valores son valores que practicamente han sido obtenidos como resultado de ensayos y que aún cuando son suficientes para proyectar un motor conforme con esta invención, no son necesariamente valores exactos.

370 Como primer método se cálculo puede suponerse que en el momento de apertura del orificio de escape los gases contenidos en el cilindro se encuentran a una presión de 5 atmosferas y que para obtener un equilibrio de presión instantáneo y representativo entre el interior del cilindro y la atmósfera que rodea al orificio de escape debe descargarse un  
375 volúmen de gases igual a 4 veces el volúmen del cilindro, descargándose estos supuestos 4 volúmenes a una velocidad de 1800 metros por segundo. Fundándonos en estas consideraciones puede construirse una curva cuyos puntos indican el ángulo  
380 de cigüeñal al cual se alcanza este equilibrio de presión a diferentes velocidades del motor. En una curva de esta clase cuando estos supuestos 4 volúmenes se han descargado en un tiempo menor que el tiempo critico -t- el final efectivo



385

del escape tendrá lugar a la velocidad balística de los gases quemados.

390

Como variante en el método de cálculo aproximado los solicitantes han observado que en los motores del tipo al cual se refiere esta invención puede admitirse una velocidad hipotética de 450 metros por segundo para la salida de un volumen de gases quemados igual al volumen del cilindro, haciendo caso omiso de la expansión pero teniendo en cuenta el periodo de retraso que transcurre antes de que los gases quemados empiezan a dejar el cilindro. En esta disposición el intervalo de tiempo será necesario para descargar del cilindro los gases quemados, puede calcularse a base del área media de apertura del orificio de escape.

395

400

Por ambos métodos de cálculo se obtendrá el mismo resultado, pero la curva representada en la figura 2 ha sido establecida por el segundo de dichos métodos en la forma siguiente: En esta figura, las ordenadas representan grados del movimiento del cigüeñal a partir de la apertura del escape indicada por el punto 0 y las abscisas representan revoluciones por minuto del motor.

405

410

La curva -4- indica el intervalo angular en el cual los gases quemados han sido descargados del cilindro a las diferentes velocidades de giro del motor por lo que se refiere a la acción en el interior del cilindro, pero se comprenderá que cuando se dispone de un sistema de escape conveniente la acción balística de la masa de gases que se mueve hacia fuera del sistema a través del sistema de escape, volviendo luego de nuevo hacia el cilindro continua ejerciendo su efecto sobre el contenido del cilindro. Esta curva se ha obtenido en la forma siguiente:

415

Supongamos que el volumen del cilindro sea  $W$ , que el intervalo angular entre la apertura del escape y cualquier punto escogido del ángulo de cigüeñal se indica por  $-a-$  y que



420 el área media abierta del orificio de escape a este ángulo sea A, entonces

la longitud de la columna formada por la masa saliente de gases quemados será  $\frac{W}{A}$ ,

425 el tiempo empleado por la masa de gases calientes en recorrer esta distancia através del orificio de escape, a una velocidad hipotética de 450 metros por segundo, cuando se considera un volumen de gases igual al volumen del cilindro y sin expansión será  $\frac{W}{A} \times \frac{1}{450}$ .

Es necesario determinar luego la velocidad del motor para la cual, el número de grados de ángulo de cigüeñal elegido (a) corresponde al intervalo de tiempo en cuestión y esto permitirá 430 obtener puntos de la curva para cada intervalo angular escogido, una vez ha empezado la apertura del escape.

Se trazan luego a partir del punto 0 sectores radiales representando intervalos de tiempo constantes transcurridos después de la apertura del escape a diferentes velocidades del motor. 435 Las líneas 5, 6, 7, 8 representan respectivamente 1/300, 1/400, 1/500 y 1/600 de segundo.

Si se traza una ordenada vertical en el punto 9 en el cual la curva -4- intersecta la línea -5- se verá que esta ordenada corresponde, en el ejemplo elegido a una velocidad de 440 aproximadamente 660 revoluciones por minuto.

A todas las velocidades superiores a 660 revoluciones por minuto, en el área marcada por G puede suponerse que los gases quemados se descargan del cilindro en un intervalo de tiempo menor de 1/300 de segundo y por consiguiente que el 445 cilindro ha quedado en estado de rarefacción extremada o completamente vacío de gases.

A todas las velocidades inferiores a 660 revoluciones por minuto, se verá que los gases quemados se descargan en un intervalo de tiempo mayor que 1/300 de segundo, de modo que en 450 el área por debajo de la curva 4 marcada por R, el final del escape se efectúa a velocidades que se aproximan progresivamente



a las de una expansión simplemente adiabática, lo que conduce a una igualación de presiones entre el cilindro y el medio exterior, el cual como ya se ha dicho puede encontrarse a presión inferior a la atmosférica.

455

Se traza luego en el diagrama una línea horizontal para representar el ángulo de cigüeñal al cual se abre el área crítica del orificio de escape. Se verá que esta línea, indicada por 10 corta a la curva 4 en el punto 11 que corresponde a la velocidad de 2.100 revoluciones por minuto. A todas las velocidades superiores a 2.100 revoluciones por minuto, en el área señalada por B, el área crítica del orificio de escape se abrirá a un intervalo de tiempo suficientemente mas pequeño que 1/300 de segundo, para asegurar que después de abierta esta área crítica, la velocidad de los gases quemados contenidos entonces en el cilindro, en la dirección de la salida, será suficientemente mayor que la velocidad de expansión adiabática de modo que el extremo posterior de los gases quemados contenidos todavia en el cilindro constituirá lo que puede imaginarse un pistón gaseoso que se separa por si mismo del extremo del cilindro, dejando un vacío completo detrás de sí.

460

465

470

Debe comprenderse claramente que el extremo posterior de los gases quemados puede en este momento encontrarse en estado rarificado o en estado de compresión y que ello dependerá del intervalo de tiempo.

475

En el punto 11, el extremo posterior de los gases quemados estará muy rarificado pero luego a medida que aumenta la velocidad el pistón gaseoso imaginario será cada vez mas comprimido mientras se separa todavia por si solo de la culata del cilindro, puesto que el intervalo de tiempo que ha transcurrido antes de que se abra el area crítica del orificio de escape es cada vez mas corto y la magnitud de la expansión de los gases quemados que haya podido tener lugar es también menor.

480

Además, como que a partir del punto 11 aumenta la velocidad del motor la cantidad de gases quemados que ha abando-

485



do el cilindro a su velocidad balística antes de que se abra el  
area crítica del orificio de escape será mas pequeña, de modo  
que la energía contenida en los gases quemados remanentes en  
el cilindro cuando se abre el área crítica del orificio de es-  
cape será mayor.

490

En el motor en consideración se supondrá ahora que  
la admisión está regulada para abrirse a 13° después de la aper-  
tura del escape, representándose la apertura de la admisión por  
la línea horizontal 12.

495

Se observará que esta línea pasa por el punto 9 que  
se encuentra en la intersección de la curva 4 con la línea 5  
que representa 1/300 de segundo.

500

Por consiguiente en este motor a velocidades inferio-  
res a 660 revoluciones por minuto al final del escape o expulsión  
los gases residuales en el cilindro han sido dejados en un es-  
tado progresivamente menos rarificado, por la descarga de los  
gases quemados a su velocidad balística.

505

A velocidades superiores a 660 revoluciones, al ter-  
minar la expulsión, el cilindro queda en un estado de rarefacción  
progresivamente mayor por la descarga de los gases quemados a  
su velocidad balística pero a todas estas velocidades elevadas  
del motor, la admisión se abre demasiado pronto para permitir  
una buena utilización de esta depresión o rarefacción:

510

Si se varia el tiempo de apertura de la admisión a  
fin de permitir una buena utilización de la depresión dejada en  
el cilindro por la salida en masa de los gases quemados como  
de describe en la patente española N.º. 135.201 y otras del mis-  
mo inventor, por ejemplo, haciendo que el intervalo entre la  
apertura del escape y la de la admisión sea de 22° en la línea  
13, entonces a una velocidad de 1600 revoluciones por minuto el  
motor será capaz de funcionar cargándose directamente de la at-  
mosfera y dará su máximo par a esta velocidad, aún cuando este  
no será el par optimo posible para este motor.

515

A velocidades superiores a 1600 revoluciones la ad-



520 misión se abrirá demasiado pronto y el par disminuirá.

Por debajo de 1600 revoluciones por minuto, el ángulo de cigüeñal entre la descarga de los gases quemados, del cilindro y la apertura de la admisión aumenta y además disminuye la depresión dejada en el cilindro de modo que eventualmente el par desciende de nuevo.

525

Si el ángulo de cigüeñal entre la apertura del escape y la apertura de la admisión continua aumentando hasta  $28^\circ$  en la línea 14, a 2600 revoluciones por minuto, el área crítica del orificio de escape se abre en un intervalo de tiempo considerablemente menor de  $1/300$  de segundo y antes de que la velocidad balística de los gases quemados desaparezca. Como consecuencia de ello el pistón gaseoso imaginario se separará por si mismo del cilindro y este quedará completamente evacuado y capaz a recibir una plena carga por la acción de la presión atmosférica en las mejores condiciones posibles.

530

535

Se observará que los límites de velocidades dentro de los cuales puede funcionar el motor con un tiempo fijo de admisión y tomando su carga directamente de la atmosfera se han ensanchado considerablemente y que a su velocidad máxima las condiciones de funcionamiento serán tales que permitirán obtener un par optimo.

540

545

Unicamente como ejemplo se han marcado en diferentes puntos de la curva 4 números que indican la manera como en el final instantáneo de la expulsión, la velocidad aumenta a medida que disminuye el intervalo de tiempo empleado en la descarga de los gases quemados.

550

Observando la figura 2 y por la anterior descripción se comprenderá que las condiciones mas convenientes para el motor serán aquellas en las cuales el área crítica se abre en el menor intervalo posible de cigüeñal después de la apertura del escape y en las cuales el área crítica de escape se abre en el intervalo de tiempo crítico para la menor velocidad del motor.



037



555 Estas condiciones se representa en la figura 3.

Esta figura es análoga a la figura 2 en el sentido de mostrar la curva representativa 15 y los vectores radiales 16 á 26 que representan intervalos de tiempo constantes.

560 En este ejemplo se supone que se desea que a todas las velocidades superiores a 600 revoluciones por minuto el cilindro quede completamente vacío como consecuencia de la descarga de los gases quemados a su velocidad balística, es decir, que el pistón gaseoso imaginario se separará siempre por si mismo de la culata del cilindro y luego continuará moviéndose hacia fuera del cilindro.

565 Para obtener estas condiciones, el motor se dispone de tal manera que el área crítica del orificio de escape se abre dentro del tiempo critico a una velocidad inferior a 660 revoluciones por minuto. En este ejemplo, el área crítica se abre en un intervalo de 1/300 de segundo a 350 revoluciones abriéndose el área crítica a 72 de movimiento del cigüeñal después de la apertura del escape. Esto supone una mayor periferia del orificio de escape y produce el efecto de aplastar la curva 15.

570 Esto tendrá por efecto reducir los límites de velocidad dentro de los cuales se extiende el área G de la curva (figura 2) y en la cual el cilindro queda en estado de rarefacción:

580 Efectivamente, la distancia entre los puntos -9- y -11- puede reducirse, situando convenientemente el área crítica del orificio de escape, de tal manera que la porción G de la curva para todos los fines de la práctica puede considerarse como no existente y de modo que el motor funciona dentro de todos sus límites de velocidad en las mejores condiciones posibles con el cilindro completamente vacío de gases quemados al final de la descarga de estos últimos.

585 En la figura 3 la línea 16 que representa el tiempo critico de 1/300 de segundo, corta a la curva 15 en el punto 27 y la línea 28 que representa el área crítica del orificio de



escape corta también a la curva 15 en el mismo punto 27.

590 En la porción R<sup>\*</sup> de la curva 15, a la izquierda del punto 27, el cilindro, al final de la descarga de gases quemados y prescindiendo de la acción en el sistema de escape de la porción de gases que han abandonado balísticamente el cilindro queda lleno de gases a la presión atmosférica, mientras que a la derecha del punto 27, en la porción B<sub>1</sub>, el pistón gaseoso 595 imaginario se separa siempre por si mismo del extremo del cilindro. Pero para mayor exactitud y puesto que las condiciones intermedias no pueden hacerse desaparecer por completo, se ha señalado una pequeña porción G<sup>\*</sup> de la curva que abarca el punto 27.

600 Debe comprenderse claramente que la curva 15 es una curva representativa y que no dá indicación alguna de donde está situada la masa de gases quemados en el supuesto final de la descarga del cilindro o bien cuando se ha descargado el supuesto volumen de gases igual a 4 veces el volumen del cilindro (o a una vez el volumen del cilindro, según el caso).

605 La porción de la curva 15 que interesa para establecer el momento de apertura de la admisión, es la parte que se encuentra a la derecha del punto 27 en la línea de 1/300 de segundo ya que es en esta parte de la curva que el pistón gaseoso imaginario se separa por si mismo del extremo del cilindro.

610 Como ya se ha dicho, cuando se ha abierto el área crítica del orificio de escape, el pistón gaseoso imaginario empezará a separarse por si mismo de la culata del cilindro. En este momento se ha descargado ya una cierta cantidad de los gases quemados pero el volumen del cilindro permanece completamente 615 lleno de gases quemados.

620 Puede suponerse por tanto que después de este momento debe descargarse por el orificio de escape un volumen de gases quemados igual al volumen del cilindro a una velocidad media de 1800 metros por segundo midiéndose el área media del orificio de escape por la cual tiene lugar esta salida, desde el momento en que se ha abierto el área crítica hasta el momento



en que el extremo posterior de los gases quemados abandona el cilindro.

625 Para establecer el momento en que ha terminado la evacuación del cilindro en esta parte de la curva 15 puede procederse a un nuevo cálculo en la forma siguiente:

630 Este cálculo debe tomar en consideración la expansión de los gases quemados durante su salida balística del cilindro y los ángulos de cigüeñal y las áreas medias del orificio de escape que deben tomarse en consideración deben medirse desde el ángulo de cigüeñal en el cual se abre el área crítica del orificio de escape .

635 Para cada ángulo de cigüeñal escogido, después de la apertura del área crítica del orificio de escape puede determinarse el área media del orificio de escape abierta durante el intervalo en cuestión y es evidente que estas áreas medias serán siempre mayores que el área crítica.

640 Para los fines de la práctica puede suponerse que la velocidad media de la salida balística sea de 1800 metros por segundo y que la velocidad media de expansión adiabática sea de 450 metros por segundo. Admitiendo estos valores el cálculo puede efectuarse en la forma siguiente:

Si  $A_p$  es el área de la sección transversal del cilindro

645  $A_c$  es el área crítica del orificio de escape (En el ejemplo y conforme esta invención esta será mayor que  $\frac{A_x \times 450}{p \times 1800}$ )

$A_x$  es el área del orificio de escape abierta en el ángulo de cigüeñal escogido.

650 Entonces el área media del orificio de escape  $A_m$  será igual a  $(A_x + A_c)$  multiplicado por un factor tiempo área que practicamente puede admitirse como igual a  $\frac{1}{2}$ .

La reducción del volumen de gases en el cilindro por la salida balística al exterior tendrá lugar a

$$\frac{A_m}{A_p} \times 1800 \text{ metros por segundo}$$



ENC. 387



655 que será mayor de 450 metros por segundo.

Como que los gases se expansionan en retroceso a 450 metros por segundo, la resultante disminución de volumen de los gases contenidos en el cilindro se efectuará a

660 
$$\left( \frac{A_m}{A_p} \times 1800 \right) - 450 \text{ metros por segundo}$$

El intervalo de tiempo empleado para la evacuación completa del cilindro a esta velocidad resultante de salida puede determinarse por la longitud de la carrera y de este intervalo de tiempo podrá determinarse la velocidad del motor a la cual se ha abierto el arpa media de escape en cuestión.

665

Un cálculo efectuado en esta forma nos dará una curva tal como la curva -29- que indica los momentos en los que el cilindro ha quedado completamente vacío.

670 Se observará que a bajas velocidades esta curva queda situada por encima de la curva -15- y que a velocidades elevadas se encuentra por debajo de la misma.

675 Esta curva -29- está sujeta a correcciones puesto que ha sido establecida suponiendo una velocidad balística constante de salida de los gases quemados después de abierta el área crítica y una velocidad constante de expansión adiabática.

Si dicha curva se hubiese derivado de los valores instantáneos de estas velocidades, tomaría la forma de la curva -30-.

680 A este respecto debe observarse que a bajas velocidades del motor, por ejemplo a 800 revoluciones por minuto, sale del cilindro una mayor proporción de gases antes de que se haya abierto el área crítica del escape que a velocidades elevadas por ejemplo a 4000 revoluciones por minuto.

685 Por consiguiente a bajas velocidades la menor masa del volumen de gases quemados que llena el cilindro en el momento de apertura del area crítica del orificio de escape será menos densa y poseerá menos energía balística. Su velocidad



690 subsiguiente de salida será menor y recorrerá una menor longitud a partir del cilindro una vez se haya efectuado la evacuación total.

695 En el caso limite, el pistón gaseoso se moverá una cierta distancia hacia abajo del cilindro y se mantendrá luego estacionario, permaneciendo en el cilindro. Cuando se llega a estas condiciones se comprenderá claramente que los gases en el cilindro se encuentran sin embargo en un estado de gran rarefacción y la expansión resulta inmediatamente un factor dominante llenándose de nuevo el vacío con los gases rarificados a menos que en este momento esté abierta la admisión.

700 A velocidades elevadas el volumen de gases quemados que llenan el cilindro al abrirse el área crítica del orificio de escape, es mas denso y compacto, la energía balística retenida en el cilindro en este momento es mayor y la velocidad balística de salida de los gases quemados es mayor, de modo que el tiempo empleado para la evacuación subsiguiente del cilindro será menor.

710 Por ejemplo, las velocidades de salida de los gases quemados se indican en la curva -15- que puede considerarse en combinación con las observaciones anteriores tomando en consideración la forma de las curvas -29- y -30- .

715 Además en diferentes puntos de la línea -28- se dan indicaciones de la presión de los gases contenidos en el cilindro en el momento en que se abre el área crítica del orificio de escape. Esta indicación de presión está destinada a demostrar que a medida que aumenta la velocidad del motor, la presión de los gases remanentes en el cilindro en el momento en que se abre el área crítica del orificio de escape, vá siendo cada vez mayor como ya se dijo.

720 Se observará que la curva -30- es mas elevada que la curva -29- para bajas velocidades del motor y que luego desciende un poco por debajo de la curva -29- y que a partir de 1000 revoluciones por minuto hasta 4800 revoluciones por minuto,



las ordenadas de esta curva -30- aumentan solo de 6°.

725 Por consiguiente en un motor de esta clase si se regula la admisión para que se abra a 18° después de la apertura del escape en la línea -31-, para todos los límites de velocidad del motor, este tiempo de apertura de la admisión continuará siendo conveniente para la introducción de la nueva carga en un cilindro completamente vacío.

730 A la velocidad máxima, la apertura de la admisión es muy próxima al momento en el cual queda el vacío en el cilindro y a bajas velocidades no hay nunca un intervalo mayor de 6° entre la producción del vacío y la apertura de la admisión.

735 Este razonamiento es independiente de la posición del orificio de escape, pero esta relación de tiempo será necesaria en el caso de un motor en el cual los orificios de escape y de admisión estén situados en el mismo extremo del cilindro, por ejemplo un motor en el cual los orificios de escape y de admisión estén gobernados por el mismo pistón.

740 Si los orificios de admisión y de escape se encuentran uno en cada extremo del cilindro la admisión puede abrirse, estrictamente hablando, inmediatamente después que el pistón gaseoso imaginario se ha separado del extremo del cilindro en el cual se encuentra el orificio de admisión, de modo que en este caso será posible establecer un tiempo fijo de apertura de la admisión de modo que esta se abra inmediatamente después de abrirse el área crítica del orificio de escape.

745 En el ejemplo tomado en consideración ello sucedería a 7° después de abierto el escape. Sin embargo en la práctica debe permitirse una cierta tolerancia y podría establecerse un tiempo de apertura de la admisión a unos 12° para un motor de esta clase.

755 En la descripción anterior solo se ha hecho una breve mención del intervalo de retraso que se produce antes de que



los gases empiecen a salir del cilindro a su velocidad balis-  
tica. Se comprenderá sin embargo que la consideración de es-  
te retraso está subordinada a la de apertura del área critica  
del orificio de escape, pero a fin de que la descripción re-  
sulte mas clara, se ha incluido en la figura 3 la línea -32-  
760 para indicar la situación general del retraso que se produce  
antes de que los gases quemados empiecen a salir por el orifi-  
cio o conducto de escape a consecuencia de su salida en masa  
del cilindro. Se comprenderá que esta salida en masa comienza  
765 al final del periodo de retraso en cuestión y que después si  
el área critica del escape se ha abierto en un intervalo de  
tiempo suficientemente corto, el extremo posterior de la masa  
gaseosa saliente se separará por si mismo del extremo del cilin-  
dro con el que está en contacto. Podemos imaginar también que  
770 a una velocidad muy elevada del motor el área critica del ori-  
ficio de escape se abrirá en un intervalo de tiempo tan corto  
que los gases quemados no podrán todavía empezar a salir en  
masa del cilindro y esta condición se representa unicamente  
como ejemplo por la intersección de la línea -32- con la línea  
775 de areas criticas de la figura 3 á 4500 revoluciones por minuto.

En otra patente solicitada en esta misma fecha se  
describe un método para la construcción de motores de combus-  
tión interna de dos tiempos por el cual el área del orificio  
de escape es la máxima y el área que se abre antes de que se  
abra la admisión, lo hace a una velocidad máxima.  
780

Por este método se asegura que el motor funcione  
en las condiciones representadas por la porción G ó G' de las  
curvas de las figuras 2 y 3 o las porciones R ó R' adyacentes  
a las porciones G ó G', pero de la habilidad del constructor o  
785 del proyectista dependerá que se consigan las condiciones re-  
presentadas por las porciones B y B'. En esta invención se  
dan instrucciones precisas que si se siguen exactamente ase-  
guran la obtención definitiva de las ultimas condiciones men-  
cionadas.



1937



790

Además, para la practica de esta invención debe tenerse presente que la condición esencial es de que el área critica del orificio de escape se abra dentro del tiempo critico y esto impone la condición de que el proyecto del motor permita conseguir este resultado y que los mecanismos elegidos deben ser capaces de permitir que se cumplan estas condiciones.

795

800

Al aplicar esta invención a un determinado tipo de motor será necesario introducir variaciones radicales en el proyecto incluyendo el proyecto de medios reguladores de los orificios de escape y el de estos mismos orificios de escape.

805

Podrá ser necesario por ejemplo, disponer un anillo de orificios de escape alrededor del cilindro y esto hará preciso el empleo de dos o mas tubos de escape, ya que estos no deben presentar superficies que se opongan a la salida de los gases quemados del cilindro o que tiendan a reflejarlos de nuevo hacia el cilindro.

810

En general pueden cumplirse las exigencias de esta invención independientemente de que la carrera del cilindro sea relativamente larga o corta, pero como que el aumento de longitud de la carrera con relación al área de la sección del cilindro aumentará la velocidad del pistón, un tal proyecto permitirá obtener con mas facilidad la deseada rápida apertura de los orificios de escape del tipo de aberturas gobernadas por el pistón.

815

820

Además cuanto mas larga sea la carrera con relación al diámetro interno del cilindro, tanto menor será la proporción del volumen del cilindro de gases quemados que pueda descargarse del cilindro antes de que se haya abierto el área critica del orificio de escape y por consiguiente será mayor la facilidad con que el pistón imaginario podrá separarse por si solo del cilindro a bajas velocidades del motor.

Todo tubo de escape colocado a continuación del



825 orificio de escape, ejercerá una acción reguladora sobre la masa saliente de gases quemados y para la disposición de estos tubos deberán seguirse las instrucciones contenidas en otra patente que se solicita con esta misma fecha.

830 Es además conveniente que después de abierta el área critica del orificio de escape se abra el área adicional que debe abrirse para facilitar la salida del cilindro a los gases quemados, ya que de esta manera resulta aumentada el área media del escape y el intervalo de tiempo empleado para la descarga del pistón gaseoso imaginario queda reducido.

835 Por medio de esta invención se establecen condiciones que permiten obtener un par óptimo y la estabilidad del motor para cualquier velocidad deseada y pueden utilizarse todos los medios descritos en patentes anteriores que permitan obtener estos resultados.

840 Esta invención tiene aplicación especial a los motores en los cuales el orificio de escape se cierra después que el de admisión por ejemplo los motores en los cuales tanto los orificios de admisión como de escape están situados en el mismo extremo del cilindro y están gobernados por el mismo pistón.

845 Conforme con esta invención puede obtenerse un motor en el cual como consecuencia de la descarga de los gases quemados queda un cilindro completamente vacío.

850 Además proyectando debidamente el conducto de escape será posible asegurar que en la proximidad de las máximas velocidades de trabajo el retroceso de los gases quemados coincida prácticamente con el cierre de la admisión y en el intervalo entre el cierre de la admisión y el cierre del escape y que a las pequeñas velocidades del motor, el contenido del cilindro quede protegido contra el retroceso de los gases quemados que ocurriría antes de que se cierre la admisión, con  
855 lo cual los nuevos gases que han pasado por el cilindro hacia el sistema de escape retrocederían al cilindro y podrían pro-



ENV. 1907



ducir una sobrecarga. Medios capaces de asegurar una tal protección contra el retroceso de los gases quemados se han descrito en patentes anteriores de los mismos solicitantes, mientras que en otra patente española que se solicita en esta misma fecha se explica la influencia de la disposición del tubo de escape sobre el intervalo de tiempo que transcurre entre la salida en masa y el retroceso de los gases quemados.

865 Como ya se ha dicho, cuando se citan valores numéricos para facilitar la práctica de esta invención, los valores indicados son los valores prácticos que conviene adoptar. Pero teniendo en consideración estos valores y los detalles de las curvas representadas, debe hacerse constar que estas curvas no pretenden constituir un registro exacto de todos los factores que deben tenerse en consideración sino que son representaciones prácticas que pueden servir de guía en la ejecución de esta invención.

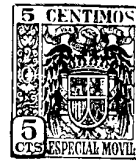
N O T A

875 Se reivindica como objeto de esta patente:

1) Método para la construcción de motores de combustión interna a dos tiempos, del tipo en el cual una parte por lo menos de los gases quemados abandona el cilindro a una velocidad mucho mayor que la que se obtendría si únicamente se produjese un flujo adiabático y en un intervalo de tiempo tal que se descarga como una masa dejando tras sí una depresión que se utiliza para introducir en el cilindro una nueva carga, el cual comprende hacer que el área crítica del orificio de escape se abra dentro del tiempo crítico, abriéndose la admisión una vez se ha abierto el área crítica del orificio de escape y cuando los gases quemados han dejado el punto en el cual está situado el orificio de admisión.

2) Método según la reivindicación 1, que comprende hacer que después de abierta el área crítica del orificio de escape, se abra un área adicional del mismo para asegurar una evacuación mas rápida de los gases quemados.

3) Método según las reivindicaciones 1 ó 2, que com-



895 prende disponer un intervalo angular fijo entre la apertura del escape y la apertura de la admisión, cuyo ángulo permanecerá conveniente para cualquier velocidad, dentro de límites determinados.

900 4) Método según las reivindicaciones 1, 2, ó 3 que comprende hacer que se abra un area adicional del orificio de escape en el intervalo angular entre la apertura del area critica y la apertura de la admisión para asegurar que dentro de los límites de velocidad deseados, el intervalo que transcurre entre la apertura del escape y el momento en que el extremo posterior de los gases quemados salientes abandona los orificios de admisión, varíe unicamente dentro de pequeños  
905 límites.

910 5) Método según cualquiera de las anteriores reivindicaciones, que comprende hacer que las proporciones entre el diámetro interno del cilindro, la carrera del pistón y el área critica del orificio de escape, sean tales que una porción minima de los gases quemados contenidos en el cilindro abandone a este último antes de que se haya abierto dicha área critica.

915 6) Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende hacer que el escape se cierre después de cerrarse la admisión, por ejemplo, disponiendo los orificios de admisión y de escape en el mismo extremo del cilindro y gobernados por el pistón, y que comprende disponer un sistema de escape que asegura que el retroceso de los gases quemados coincida con el cierre de la admisión a una velocidad elevada, y disponer medios para que a todas las velocidades inferiores a esta velocidad elevada, el contenido del cilindro quede protegido contra la acción del retroceso de los gases quemados a través del orificio de escape  
920 abierto.

925 7) Método para la construcción de motores de combus-



ENE 1937

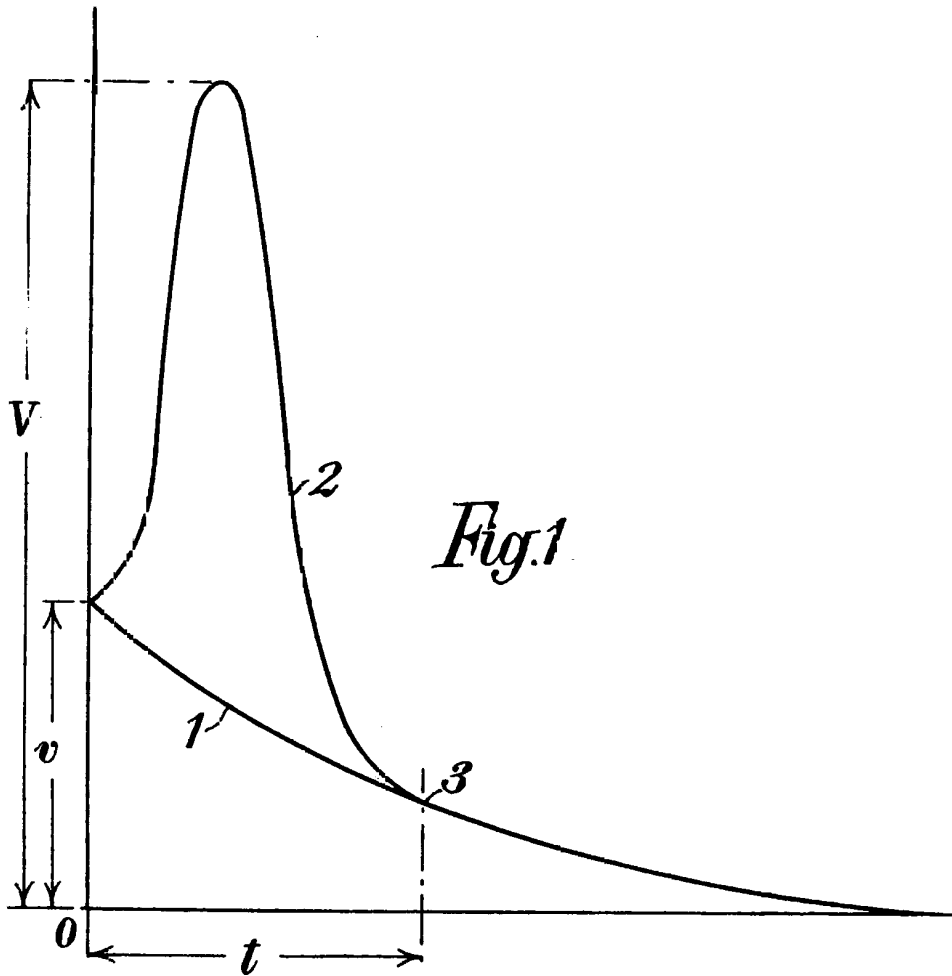
- 29 -



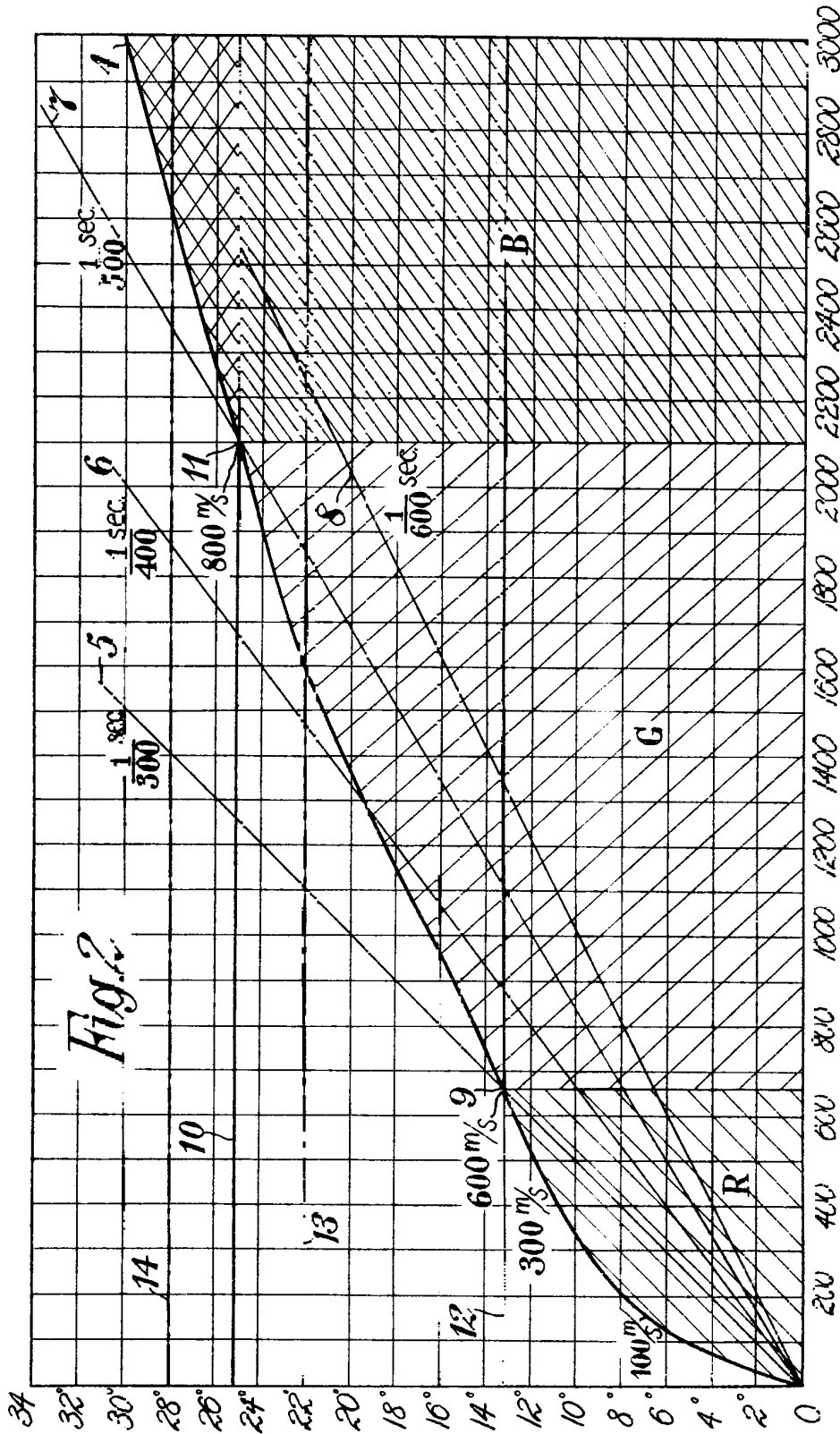
ción interna a dos tiempos.

Barcelona 11 enero 1937.

P. A.



*Michel Kaderacy y Armstrong Whitworth*



*Michel Kaderacy y Armstrong Whitworth*

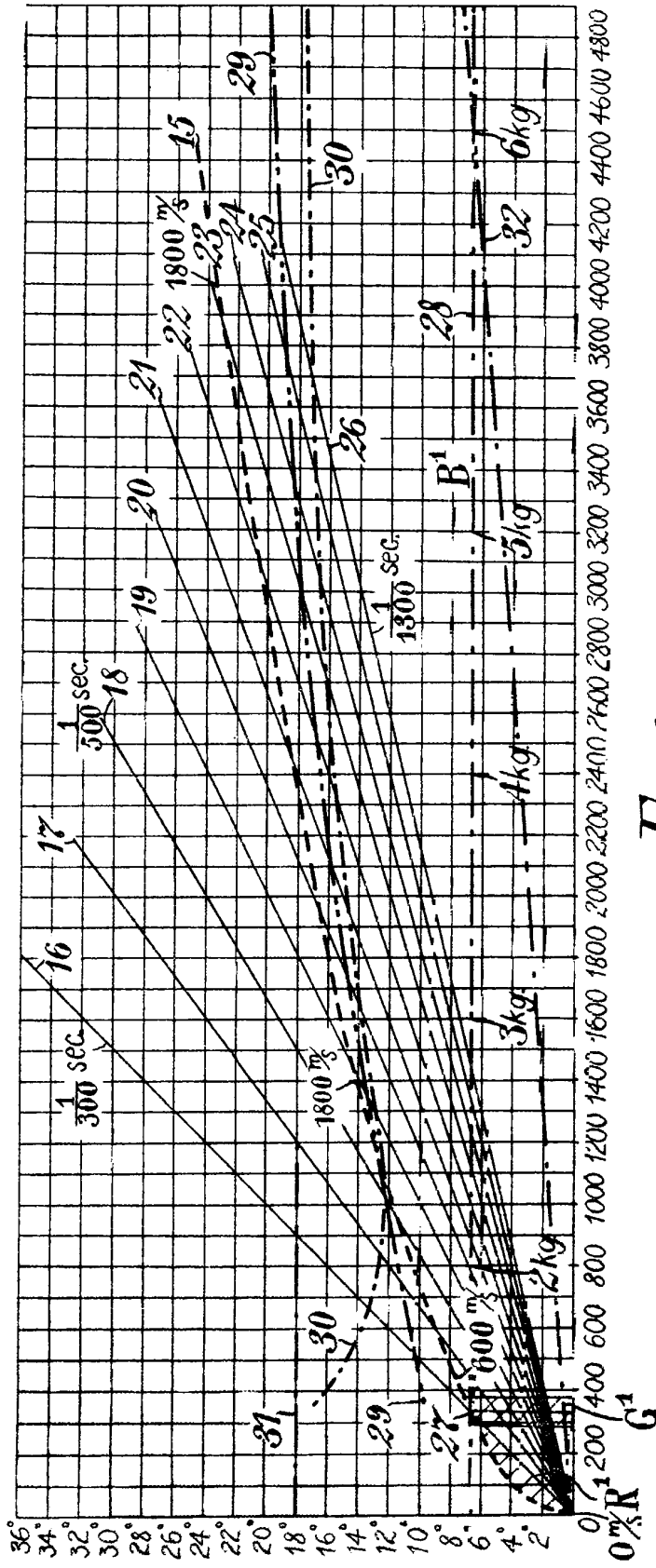


Fig. 3

Michel Kadenacy y Armstrong Whitworth