

**Teoría General
del
Movimiento en las Máquinas**

(Tesis Doctoral Ciencias Exactas)

1873

~ Resumen del Discurso ~

1 Importancia del cálculo diferencial e integral para el desarrollo de las ciencias modernas

2 Nociones Preliminares

- ◆ Movimiento:
 - Rectilínea
 - Curvilínea: Circular, Elíptica, Parabólica.
- ◆ Máquina:
 - Influencia de los puntos de apoyo
 - Fuerzas:
 - Valuación en metros
 - Valuación en kilogramos
 - Valuación en kilográmetros: Diferentes consideraciones importantes sobre el trabajo de las fuerzas.

3 Origen de la fórmula general del movimiento en las máquinas en función de las fuerzas vivas desarrolladas.

- ◆ Diferentes elementos constitutivos de dichas fórmulas.
- ◆ Discusión de la misma fórmula
- ◆ Simplificación de la misma fórmula

4 Circunstancias principales de las máquinas en movimiento

- ◆ De las máquinas a partir del reposo.
- ◆ Del movimiento uniforme, ventajas del mismo
- ◆ Inconvenientes del movimiento variado y modo de corregirlos
- ◆ Medios de regularizar el movimiento. Volantes.

5 Del establecimiento de las máquinas industriales.

- ◆ Condiciones y cualidades esenciales del operador y receptor.
- ◆ Consideraciones sobre el operador.
- ◆ Consideraciones sobre el trabajo motor.
- ◆ Objeto y ventajas reales de las máquinas.

6 Importancia de la mecánica.





uando el hombre busca su grandeza en las obras de la ciencia y del amor no puede menos de sentirse satisfecho sobre la piedra grande o chica que trajo al templo invisible que el espíritu de la humanidad levanta sobre la tierra; empero si el hombre busca su fuerza y poderío en el orden material, fuerza es que se ruborice ante el animal más insignificante de la naturaleza, ante el pólipo y el infusorio

Un eminente escritor lo dijo: "*No ya la materia, ni la masa, ni el peso, sino las fuerzas actuantes determinan el valor del trabajo en la grande economía de la naturaleza. No merece nuestro asombro lo grande que se crea sino lo pequeño que crea lo grande*". Este pensamiento sublime nos indica la línea divisoria que existe entre ayer y hoy relativamente a los conocimientos humanos. Hoy no se levantan pirámides estériles como las de Egipto ni otros monumentos gigantescos con el fin tan solo de satisfacer el capricho de un tirano; hoy no se construyen estatuas colosales y groseras, como las de Jacco, para conmemorar la coronación de un Filadelfo; hoy el gran bajel de Arquímedes construido por orden de Hieron no tiene importancia ante las artes y ciencias modernas.

La causa de ese notable desvío en la serie de conocimientos humanos consiste en que ayer asombraba al hombre todo lo que afectaba en gran manera a los sentidos; hoy llama la atención del hombre estudioso el átomo, el punto, el elemento, en una palabra todo lo pequeño. El hombre moderno ha descubierto el gran principio de que lo pequeño crea lo grande. He aquí explicado el enigma. Con todo no hay que dudar que los trabajos del sabio en el estudio de los mundos pequeños, según expresión gráfica del gran capitán del siglo, habrían sido estériles si a tiempo no hubieran aparecido en el horizonte científico dos luceros, dos genios: Newton y Leibnitz quienes a un mismo tiempo dieron con el cálculo diferencial e integral, cálculo sin el cual no era posible promover esa gran revolución científica que se opera en todas partes desde aquel entonces.

Así es que esa nueva ciencia ordenó la vida química de la materia; así fue que las teorías de Fresnel, Young, Huggens, etc. llevaron la física por su verdadero derrotero; así fue que la mecánica pudo elevarse a una altura admirable llevando a cabo la solución de infinitos problemas sumamente difíciles e interesantes.

Uno de tantos el determinar el trabajo elemental de una máquina, atendiendo a todas las fuerzas que se desarrollan en su movimiento; y como quiera que la teoría general del movimiento en las máquinas es el tema de este discurso, creo prudente detenerme aquí, para pasar cuanto antes a la explicación de ciertas nociones preliminares que facilitarían la comprensión de lo que se dirá después.

Dos puntos principales sugiere el tema del discurso que es fuerza desarrollar porque vienen a ser como dos puntos del eje alrededor del cual gira todo el discurso. He aquí esos dos puntos:

El movimiento y la máquina.

Pasemos a estudiar aunque no sea más que ligeramente esas dos cuestiones para poder luego entrar de lleno en la teoría general del movimiento de las máquinas.

Nociones Preliminares

Movimiento.- Los elementos primordiales en toda clase de movimiento son la velocidad y la dirección; más como la velocidad es función siempre del tiempo, resulta que el movimiento depende de la dirección y del tiempo que gasta un cuerpo o punto material en recorrer una extensión determinada.

Fuera del caso dar aquí una definición exacta del tiempo, pero sabido es que a pesar de ser esa cuestión muy menoscabada por los filósofos, no se conoce hoy una definición que satisfaga todos los extremos que debe abrazar; así pues prescindiendo de su exactitud filosófica, atendiendo tan solo a la mecánica que es la que nos interesa, diremos, que tiempo es la sucesión no interrumpida de movimientos idénticos; luego para medir el tiempo bastará obtener fenómenos idénticos que se sucedan a intervalos iguales y comparar luego el número o la duración del fenómeno observado.

Muchos fenómenos o movimientos nos ofrece la Naturaleza que podrían servirnos de unidad de tiempo, pero fijando tan solo la atención en los más notables, hallaremos en la antigüedad el aparato llamado Clepsidra formado de dos capacidades que se comunican por un pequeño orificio que deja pasar de la capacidad superior a la inferior cierta cantidad de arena o líquido que corresponde a un tiempo determinado, pero esa unidad de tiempo presenta varios inconvenientes que quedan desvanecidos empleando otra unidad mas grande y mas constante. Esa unidad se halla en la rotación de la tierra alrededor de su eje, constituyendo lo que se llama día, y como el día solar es variable se toma el día medio con sus submúltiplos correspondientes para tener una unidad invariable.

Puede tomarse también el submúltiplo segundo como unidad de tiempo medido por la oscilación de un péndulo cuya longitud queda determinado por la fórmula:

$$1'' = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

correspondiente a un punto de la tierra donde la acción de la gravedad sea g .

Observase de paso que esa fórmula no depende de la amplitud, por lo cual supone el isocronismo mientras la amplitud sea reducida, inconveniente que podríamos evitar echando mano de un péndulo cicloidal, pero con todo en la práctica se prefieren los péndulos circulares por las muchas dificultades que presenta la construcción de los cicloidales: es por demás aquí indicar la importancia de un buen cronómetro y en particular cuando es fuerza cambiar de latitud terrestre, pues el mundo todo conoce las ventajas de esos instrumentos tan precisos. He aquí explicados los principales aparatos de que se vale el hombre para medir el tiempo.

Así pues, por medio del tiempo conoceremos la velocidad y según la velocidad el movimiento, y si bien atendiendo tan solo a la velocidad de un móvil puede el hombre concebir infinitas clases de movimientos, cierto que esos movimientos pueden sujetarse a la clasificación siguiente, que generalmente se atiende en mecánica:

- ◆ Movimiento uniforme.
- ◆ Movimiento uniformemente variado.
- ◆ Movimiento variado.

Movimiento uniforme es aquel en que la velocidad es constante y el espacio igual a la velocidad multiplicada por el tiempo, fórmula de la cual se deducen todas las leyes relativas a esa clase de movimiento.

Debemos advertir que como caso particular de ese movimiento podríamos considerar el movimiento periódico o alternativo de mucha aplicación en las máquinas, y cuyo movimiento se valúa por las fórmulas del uniforme, tomando un promedio entre las velocidades extremas correspondientes al período.

Más si importante es el movimiento uniforme no lo es menos aquel en que la velocidad sufre en cada unidad de tiempo incrementos o decrementos iguales, siendo las fórmulas fundamentales:

$$v = b \pm \alpha t, \quad e = bt \pm \alpha t^2, \quad v = \sqrt{b^2 \pm 2\alpha e}$$

fórmulas que comprenden el movimiento acelerado y retardado, según se tome el signo mas o menos, no olvidando que: v representa la velocidad, b la fuerza inicial, α la fuerza constante, e el espacio y t el tiempo.

Por último el movimiento variado es aquel en que la velocidad varía de una manera irregular y caprichosa; ese movimiento no puede formularse a no ser que el cuerpo o punto material que se considera en movimiento obedezca a una cierta ley determinada aunque variable.

Para tener una idea exacta del movimiento estudiado ya, según la velocidad, falta considerar la dirección que puede también variar hasta el infinito, si bien que sujetándonos a los casos más comunes que nos sugiere la naturaleza, los podremos clasificar en rectilíneos, circulares, parabólicos, etc.

El movimiento rectilíneo es efecto de una o más fuerzas que obran en distintas condiciones pero que todas son de una misma naturaleza.

Notable es el movimiento parabólico por ser el resultado de dos fuerzas angulares, una instantánea y otra constante, de cuya combinación resulta el movimiento parabólico demostrado por el cálculo y comprobado por la experiencia.

De todos modos el movimiento circular es el que debe llamarnos más la atención en este momento por ser este movimiento el que tiene más aplicación en el estudio de las máquinas, séame pues permitido decir cuatro palabras acerca de ese movimiento antes de pasar adelante.

Supuesto que el movimiento sea uniforme, llamando velocidad angular lo que recorre un punto a la unidad de distancia en la unidad de tiempo, siendo los arcos que describen los diferentes puntos en la misma cantidad de tiempo proporcionales a las distancias de esos puntos al eje de rotación, resultará que la velocidad de un punto cualquiera vendrá medida por la velocidad angular multiplicada por la distancia que va del punto que se considera al eje de rotación, así pues recíprocamente, conociendo el espacio andado por un punto cualquiera, por ejemplo, la periferia de la rueda en un tiempo T , se podrá venir en conocimiento de la velocidad angular dividiendo 2π por el tiempo y multiplicando ese cociente por el número de vueltas que la rueda da durante el tiempo T .

Nótese que lo que se ha dicho acerca de los movimientos uniformes, acelerado o retardado tiene cabida en toda clase de dirección; tanto en el movimiento rectilíneo como en el movimiento circular u otro cualquiera, tomando en estos últimos casos por espacios las curvas rectificadas, quedando representadas siempre las leyes del movimiento por curvas análogas.

Para completar las nociones que me había propuesto desarrollar falta dar una idea ligera de lo que es máquina y el modo de operar y valuar las fuerzas aplicadas en ella.

En la mecánica se estudian todas las condiciones necesarias para el equilibrio de un sistema de fuerzas, más cuando en el sistema se consideran algunos puntos fijos y suficientemente resistentes, cambian por completo las condiciones de equilibrio, siendo esos puntos fijos el principal fundamento de esos aparatos que se denominan máquinas. Y si bien las fuerzas que actúan en una máquina pueden producir el equilibrio estático, nosotros debemos fijar la atención en el equilibrio dinámico que es el fin a que están destinadas las máquinas, por mas que bajo el punto matemático sea indiferente el estado de equilibrio con tal que el movimiento de la máquina se considere siempre el uniforme.

Y ya que vamos a suponer el movimiento en las máquinas conviene conocer antes el modo de actuar en éstas las diferentes fuerzas que se aplican, para así comprender la definición de máquina dada por M. Delaunoy, el cual dice, que: *"Las máquinas son aparatos que sirven para transmitir el trabajo de las fuerzas"*.

Las fuerzas pueden considerarse bajo tres puntos de vista distintos:

- a) Cuando se atiende tan solo a la velocidad que imprime a los puntos materiales. Se mide la fuerza por la velocidad que imprimió al punto material.
- b) Cuando el objeto de la fuerza es producir una presión, una tensión, etc. sin producir movimiento aparente en el cuerpo sobre el que opera la fuerza. Se mide ésta en kilogramos.
- c) Y por último cuando la fuerza produce los dos efectos consignados. Se mide en kilográmetros que es la verdadera medida de las fuerzas cuando actúan en general en una máquina, llamando al número de kilográmetros resultantes cantidad de trabajo.

Nociones y Principios sobre los cuales se funda La Ciencia de los Motores y de las Máquinas

Las máquinas consideradas bajo el punto de vista industrial tienen por objeto la ejecución de ciertos trabajos artísticos por medio de motores o fuerzas motrices que presenta la Naturaleza; tales como: los animales, el viento, el agua, el calórico.

Los efectos y cualidades de las máquinas y de los motores se valúan en las artes por la cantidad de trabajo de una especie determinada que se puede producir en un tiempo determinado. Su valor absoluto depende de elementos independientes de la máquina y que deben tenerse en cuenta en la práctica, tales son: el precio del trabajo, la conservación, la duración etc.

Para poder comparar los efectos de los trabajos de los motores y de las máquinas variadas hasta el infinito, se adopta una unidad de especie particular, una especie de *moneda mecánica*, como dice Mr. Navier y que es precisa e invariable. Ella se relaciona con la elevación de cierto cuerpo pesado y de consiguiente, llamando P al peso y H a la altura, PH da la medida natural del efecto o del trabajo útil total de la fuerza motriz.

El Dinamómetro de Régnier puede determinar el valor P por medio de pesas proporcionadas; esto se extiende por lugares donde la intensidad absoluta de la gravedad permanezca invariable aproximadamente por una extensión entera de un país tal como España.

Ese producto PH ha recibido diferentes denominaciones entre los mecánicos; Smaton le llama potencia mecánica. Cartrot en sus principios fundamentales del equilibrio y del movimiento lo llama momento de actividad; Monge y Hachette lo designan simplemente efecto dinámico, expresión que no deja de ser algún tanto vaga; por fin Coulomb la titula cantidad de acción.

En cuanto el valor absoluto de esta unidad de acción o trabajo M.M. Mongolfier y Hachette la suponen igual al peso de 1.000 kilogramos elevados a un metro de altura y M. Hachette en particular la llama gran unidad dinámica. M. Charles Dupin toma por unidad el peso de un metro cúbico de agua elevado a un kilómetro de altura.

De todos modos el kilográmetro representado por Km., según Navier, es la unidad mas aceptada. Así pues en virtud de la continuación de la acción de los motores se hace necesario el tiempo en que se desarrolla tal o cual trabajo, a este fin se formo la *fuerza de caballo*, o mejor dicho, *caballo dinámico* para evitar confusiones entre trabajo y fuerza, y de los diferentes valores que se han atribuido a esa unidad de trabajo, el mas admitido es la cantidad de 75 Km. desarrollados en cada segundo o sea 584 Tm. españolas levantadas a un pie en 1"; esa unidad es la que se relaciona mas con la adoptada en Inglaterra por Wattz Boulton.

Fórmulas del trabajo

Si la resistencia es constante el trabajo viene representado por $Q.q.Km$ siendo Q la fuerza y q el espacio y si es variable la cantidad de trabajo elemental desarrollado, obrando la fuerza Q durante el espacio $d.q$ será $Q.d,q$ trabajo elemental y entre dos posiciones $z_1 z_2$ será:

$$\int_{z_0}^{z_1} Q dq$$

lo que podrá calcularse con bastante aproximación, según el teorema de Thomas Sipson, conociendo los diferentes valores de Q que corresponden a los diferentes valores de q . De modo que si llamamos X la fuerza media para transformarse el trabajo irregular en uniforme bastará establecer la equivalencia entre las superficies de Sipson que expresan los trabajos y luego deducir X , eso es:

$$X(z_1 - z_0) = \int_{z_0}^{z_1} Q dq \quad X = \frac{\int_{z_0}^{z_1} Q dq}{z_1 - z_0}$$

Si el punto de aplicación de la fuerza recorre un espacio oblicuo a la dirección de la fuerza, variando esta de una manera cualquiera resulta:

$$\int_{z_0}^{z_1} Q \cos \alpha dq$$

para el trabajo entre dos posiciones $z_1 z_2$; llamando α el ángulo de las dos direcciones y db el espacio andado por el punto de aplicación de la fuerza durante el tiempo dt . Ese valor en mecánica racional toma el nombre de momento virtual de la fuerza Q , de cuya relación se pueden sacar infinitas aplicaciones a cuál más importante en el estudio de las máquinas.

Conocido el modo de obrar en una máquina, las fuerzas que en ella se aplican, podemos pasar desde luego a considerar las máquinas en movimiento para deducir la fórmula general.

MAQUINAS EN MOVIMIENTO

Aplicación del principio de fuerzas vivas al movimiento de las máquinas

Para aplicar el principio de transmisión del trabajo o de fuerzas vivas a la teoría de las máquinas tal como se considera en las artes, debemos notar que las máquinas se componen en general de una serie de piezas materiales que se comunican el movimiento sin intervalos desde el motor o receptor hasta alcanzar el operador. A todas estas piezas se les da la solidez, rigidez necesaria a fin de que no se deformen por los esfuerzos que deben soportar y así transmitir la velocidad sin pérdida apreciable de un extremo a otro de la máquina, es decir, por leyes dependientes únicamente de la constitución geométrica del sistema, cuyo estudio forma la Cinemática.

Pero con todo no deja de existir cierta resistencia en perjuicio del trabajo motor, como se deja comprender, cuyo valor se aprecia de una manera aproximada, ya sea por medio de la experiencia o ya sea por el cálculo.

Los frotamientos, la adherencias, la rigidez de las cuerdas son resistencias extrañas al trabajo útil y estos efectos suponen un desvío molecular, debido los unos al movimiento tangencial de los cuerpos sujetos a presiones normales, los otros a sus flexiones mas o menos grandes y continuamente renovadas; estas resistencias y algunas otras, tales como los medios en que los cuerpos se mueven, acompañan constantemente al movimiento de las máquinas.

En cuanto a las acciones moleculares que están puestas en juego por el cambio de forma general de las piezas sólidas que se comunican al movimiento, es decir, por la flexión, la extensión, la comprensión y la torsión que estas piezas sufren bajo los esfuerzos debidos a la reacción recíproca, la experiencia demuestra que se puede despreciar la consideración de su trabajo todas las veces que el estado de compresión sea sensiblemente igual durante el movimiento o que no sufra variaciones muy notables. Mas cuando estas variaciones son repetidas con frecuencia seguidas de deformaciones permanentes de los cuerpos, cuando estas deformaciones son debidas a la inercia, a las reacciones de toda especie que se desarrollan en los cambios bruscos del movimiento por choques debidos al encuentro de cuerpos animados de velocidades contrarias o desiguales, es indispensable tener en cuenta las pérdidas de trabajo que pueden resultar en virtud de esas deformaciones. Y para atenuar esa pérdida se construyen las máquinas siempre con las mejores condiciones, satisfaciendo a los principios siguientes:

1. Que la duración del choque sea generalmente despreciable con relación al tiempo que se considera en movimiento la máquina.
2. Que las fuerzas que sufren este choque estén constituidas de modo que las alteraciones de forma que sufren sean sumamente reducidas y el sistema se encuentre después del choque sensiblemente en las mismas condiciones geométricas que antes del choque, variando tan solo la intensidad de la velocidad absoluta de cada punto y por último la resultante del choque debe procurarse que no sea más que una pequeña parte de la pérdida de fuerza viva sufrida por los diferentes cuerpos.

De lo predicho resulta que las fuerzas únicas que deben tenerse en cuenta en la práctica son:

- Las fuerzas motrices destinadas a producir el trabajo útil y a vencer todas las resistencias pasivas; sus cantidades de acción instantáneas o elementales pueden representarse por Fdf , que serán precisamente positivas.
- Las resistencias pasivas de toda clase que obran de una manera continua o intermitente durante la duración entera del movimiento; sus cantidades de trabajo elementales son negativas y podrán representarse por Rdr .
- Las resistencias útiles que constituyen el trabajo de las últimas piezas de la máquina y juegan el mismo papel que las anteriores pueden representarse por la fórmula Qdq .
- El peso de los diversos elementos materiales del sistema que obran, tan pronto en sentido del movimiento de la máquina, tan pronto en sentido contrario, dando origen a cantidades de trabajo que se representarían por $\pm pdh$ ó $\pm mgdh$ siendo m la masa de una molécula material cualquiera; mg ó $pmg \pm dh$ la altura que se eleva o baja de la posición normal durante el tiempo dt que es el tiempo elemental que se considera en la máquina.
- En fin la fuerza de inercia $m \frac{dv}{df}$ siendo: $\frac{dv}{df} = \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \alpha$, la fuerza motriz.

Esta fuerza de inercia de las diversas moléculas en donde obra produce en el mismo elemento de tiempo cantidades de trabajo representadas por $mv dv$ y que se agregan o quitan a los motores según la velocidad de cada molécula decrece o aumenta, es decir según el producto vdv sea negativo o positivo.

Así la fórmula general del movimiento de la máquina durante el elemento de tiempo dt se expresará por:

$$\sum mvdv = \sum Fdt - \sum Rdv - \sum Qdq \pm \sum mgdh$$

Ahora durante dos instantes en que el primero corresponde a la velocidad v' y el segundo a la velocidad v adquirida por la molécula m resulta:

$$\int_{v'}^v \sum mvdv = \sum \int_{t'}^t Tdt - \sum \int_{r'}^r Rdr - \sum \int_{q'}^q Qdq \pm \sum \int_{h'}^h mgdh$$

o sea

$$\sum mv^2 - \sum mv'^2 = 2 \int_{t'}^t \sum Tdt - 2 \sum \int_{r'}^r Rdr - 2 \sum \int_{q'}^q Qdq \pm 2 \sum \int_{h'}^h mgdh$$

DISCUSION DE LA FORMULA GENERAL

Antes de pasar más lejos debemos advertir que el término de la fórmula general correspondiente a las piezas que no están centradas tal como

$$\sum mgh \text{ o sea } \sum \int mgh$$

se puede simplificar; no hay mas que suponer la integración, sea ya por todo el movimiento de la máquina o por el intervalo de tiempo correspondiente a las velocidades v y v' de la masa m , llamando P al peso total de las piezas que se desvían de su posición normal por el movimiento de las máquinas y H la altura del centro de gravedad de estas piezas con respecto a la posición regular así resultará según la teoría de las fuerzas paralelas:

$$\sum mgh = MgH = PH \qquad \sum mgh = PdH$$

o sea:

$$\sum \int_{h'}^{h''} mgh = \sum mdh = PH$$

En el supuesto que $h'' - h' = h$. Así procediendo de un modo análogo en las integraciones que resultan de la fórmula general resulta la ecuación del movimiento mucho más modificado transformándose en la siguiente:

$$mv^2 - mv'^2 = 2(Ft - Rr - 2q \pm PH)$$

suponiendo que: $t - t' = t_1$ $v - v' = v_1$ $q - q' = q_1$

La ecuación diferencial que tiene lugar cada ζ ? del movimiento será, suponiendo que $v' = v$:

$$Fdt - Rdr - Qdq = PdH$$

La gravedad influye en el efecto útil, y como en toda máquina se propone aumentar lo más posible el efecto útil, dada una cantidad de trabajo de motor, debemos ver cómo puede realizarse este principio fundamental de la mecánica industrial, viendo cuales son las causas más poderosas que influyen en contra de ese principio para contrarrestarlas luego.

El término $P.H.$ puede anularse si procuramos que el centro de gravedad suba y baje de una misma cantidad, supuesto que ese término lleva el signo de ambigüedad, y lo mismo diríamos si el centro de gravedad no sufría desviación como resulta en las ruedas de engranajes, o ruedas centradas, o piezas que resbalan sobre un plano horizontal. En todos esos casos la fórmula general se transforma en la siguiente:

$$Qq = Ft - Rr + \frac{mv'^2}{2} - \frac{mv^2}{2}$$

mucho más sencilla que la primera.

El término de la fórmula general, correspondiente a las resistencias pasivas, no ofrece grande discusión y a lo único que debe atenderse es en calcular bien las dimensiones, velocidad y demás de la máquina para reducir cuanto sea posible ese valor o término Rr a un mínimo.

Con todo hay que distinguir dos clases de resistencias pasivas, unas que obran constantemente durante el movimiento de la máquina, tales como la resistencia del medio, el frotamiento etc., y otras que son intermitentes o periódicas ocasionadas por choques o cambios bruscos de velocidad.

Las primeras operan a la par como la gravedad o como fuerzas motrices cualesquiera y las segundas no mas obran que en el momento del choque o el momento en que las moléculas de las piezas sufren alguna desviación; ambos efectos se pueden valor perfectamente por lo que llevamos dicho determinando el trabajo que desarrollan estas piezas para sustituirlo con el signo correspondiente en la fórmula general del movimiento de las máquinas.

Los choques son muy perjudiciales en las máquinas hasta en el caso de constituir este choque el efecto útil, porque sabido es que con el choque se pierde mucha fuerza viva disminuyendo el término Qq o reduciéndose el efecto útil que es lo que siempre debe procurarse evitar en toda máquina, por tanto con mucha más razón cuando los choques no sean una necesidad debe procurarse extinguirlos a fin de no perjudicar a la máquina, y por esto es conveniente transformar los diferentes movimientos con suavidad o sea con velocidades graduales por medio de manivelas y excéntricos, procurando que todas las piezas de la máquina obedezcan siempre en su movimiento a la ley de continuidad.

En cuanto a la acción de los motores en las máquinas relativo al término Ft , correspondiente a las fuerzas motrices, debemos recordar, que los motores pueden ser primitivos, tales como el calórico, la gravedad, o secundarios, tales como los animales, el viento, corrientes de agua, vapor de agua etc, por fin pueden llamarse compuestos y materializados tales como las manivelas, ruedas hidráulicas etc. que constituyen las primeras piezas móviles de las máquinas, o sea los receptores inmediatos de las fuerzas y del movimiento. Pasaremos por alto el modo de obrar de unos y otros motores fijando la atención en los motores secundarios determinada por la fuerza F ; fuerza que puede variar según la velocidad v de la pieza, de modo que es nula cuando la velocidad es máxima y al contrario cuando la velocidad es mínima.

La cantidad de acción Ff consumida por el motor a la máquina es nula para los casos extremos en que obra, de modo que la velocidad v del punto de aplicación de la fuerza representada en general por f se supone comprendida entre dos límites, 0 y V y la fuerza entre F y 0 debiendo deducir entre esos dos límites un valor tal para que Ff nos de un máximo.

La experiencia ha probado que cada herramienta ofrece una velocidad que es la más ventajosa y que no se puede separar de ella sin perjuicio, sea ya por la calidad, o sea ya por la cantidad de la obra elaborada.

Por último en cuanto los términos relativos a la fuerza viva ganada o perdida según la acción del motor, o sea:

$$\frac{mv'^2}{2} \text{ y } \frac{mv^2}{2}$$

si el movimiento de las máquinas es continuo la perdida de trabajo representado por $\frac{mv^2}{2}$ puede despreciarse con relación a efecto útil total y su influencia es nula comparativamente a la que se ejerciera en el caso donde el movimiento de la maquina sufriera varias interrupciones.

Por esa razón las piezas que ofrecen un movimiento alternativo, anulándose la velocidad en sus extremos, conviene que esa velocidad varíe gradualmente a fin de que los incrementos y decrementos que sufre la fuerza viva respectiva sean graduales y de ese modo no haya tanta cantidad de trabajo perdido.

Esa fórmula general del movimiento en las máquinas puede presentarse bajo formas más sencillas siempre y cuando el trabajo motor se represente por Fm y todos los trabajos resistentes por F resultando:

$$\sum mv'^2 - \sum mv^2 = 2(Tm - Tr)$$

de cuya fórmula sencilla se deducen, en caso de ser $v' = v$, $Tm = Tr$, igualdad entre el trabajo motor y el resistente. En caso de ser:

$$\sum mv'^2 \gtrless \sum mv^2$$

resultará el trabajo motor mayor o menor que el resistente.

Prescindiendo de las fuerzas vivas, atendiendo tan solo a los trabajos de las fuerzas se puede dar a la ecuación fundamental otra disposición tal como $Tm = Tn + Tf$, en que Tm representa el trabajo motor, Tn representa el trabajo útil y Tf representa el trabajo de las resistencias pasivas.

Nótese de paso que lo que se llama efecto útil de una máquina no es más que la relación Tn/Tm , cuya relación en las máquinas que reúnen mejores condiciones no pasa de 0,5 a 0,6 en virtud de las resistencias que deben desarrollarse en toda máquina, poniéndonos esta sencilla consideración en evidencia, la locura de ciertos artistas que se proponen hallar el movimiento continuo, supuesto que ese movimiento es imposible en el terreno de la práctica.

Circunstancias principales de las máquinas en movimiento

Después de haber examinado aparte la influencia de los diferentes términos de la ecuación de las fuerzas vivas sobre el efecto útil vamos a deducir las leyes mismas del movimiento en las máquinas.

Las máquinas están destinadas a ejecutar periodos de movimiento que se llaman vueltas, revoluciones, etc. al cabo de las cuales las diferentes masas vuelven a la misma posición y si todas las piezas están fijas y enlazadas respectivamente, la velocidad se comunica sin intervalos por leyes puramente geométricas, de modo que la velocidad de los diversos puntos puede expresarse en función de la velocidad de un punto cualquiera de dichas piezas y de la variable que fija su posición a cada instante. La ecuación de las fuerzas dará pues esta velocidad a un instante cualquiera, si se conoce por este instante las cantidades de sección totales inversas al sistema por las diferentes fuerzas.

Al instante en que la máquina sale del reposo al movimiento virtual Fdf del motor supera necesariamente a todas las resistencias reunidas, es decir, que $Fdf - Rdr - T = 0$, esto resulta cuando la resistencia útil Q tiene su valor mínimo y la presión motriz F el máximo, así la fuerza viva aumenta a cada instante de la cantidad $d(mv^2) = 2mvdv$ igual al doble de las cantidades de acciones instantáneas impresas por las potencias.

El movimiento de fuerza viva continuará en tanto que el movimiento Fdf del trabajo instantáneo del motor supera a $Rdr + Qdq$ de las diversas resistencias; pero debemos advertir como ya está probado hasta la evidencia que la fuerza viva no crea indefinidamente a lo menos de una manera apreciable, acercándose de consiguiente al máximo o límite representado por lo que resulta de igualar a cero la ecuación fundamental del movimiento de una máquina ya hallada, o sea:

$$\frac{1}{2}d(mv^2) = Fdf - Rdr - 2Qq + PdH = 0$$

ecuación que según el principio de las velocidades virtuales nos dice, que hay en un mismo instante equilibrio entre las fuerzas motrices y las resistencias, abstracción hecha de otra de las fuerzas de inercia:

$$m \frac{dv}{dt}$$

de las diversas masas, cuya suma de momentos virtuales es naturalmente igual a cero.

Se puede probar fácilmente como puede llegarse a este límite en que el movimiento de la máquina se transforma en uniforme o próximamente en uniforme.

En efecto, si la fuerza viva crece sin cesar y de una manera sensible en cada revolución de la máquina, resultará que la velocidad de una pieza cualquiera, por ejemplo la del punto de aplicación del motor, crecerá igualmente y se acercará muy luego a un término por el cual este motor no necesitará ningún esfuerzo, circunstancia que no puede tener lugar en virtud de las resistencias pasivas, pues ellas crecen con la velocidad, lo que prueba que si en un principio las fuerzas motoras superan a las resistentes producirá un aumento de velocidad de cuyo incremento de velocidad resultará un aumento en las fuerzas resistentes hasta igualarse con los motores alcanzando la máquina en este último caso el movimiento uniforme. Para formarse idea de lo que acabamos de decir basta atender a lo que resulta cuando un cuerpo cae por la acción de la gravedad, esto es, que a cierta distancia el movimiento uniformemente variado se transforma en uniforme en virtud de las resistencias que se operan a su paso.

Si el movimiento instantáneo $Qmvd$ de fuerza viva es nulo así como la suma $Fdf - QdgH$ de las cantidades elementales de trabajo desarrollado, habrá en cada instante equilibrio por todas las posiciones de la máquina, abstracción hecha de las fuerzas de inercia: la velocidad resulta por consiguiente la misma por las mismas posiciones y se tendrá entre dos instantes cualquiera

$$mv^2 - mv'^2 = 2(Ff - Qdq - Rdr + PH) = 0$$

El caso más general y a la vez más ordinario donde estas circunstancias pueden presentarse es cuando las diferentes masas del sistema poseen separadamente velocidades constantes o uniformes y para que las velocidades:

$$v, v', v'' \text{ o } \frac{de}{dt}, \frac{de'}{dt}, \frac{de''}{dt}$$

de las diferentes masas sean constantes se necesita que las velocidades virtuales de: de, de', de'' que depende de la naturaleza geométrica del sistema permitan en una relación invariable; este principio excluye las piezas que están en movimiento alternativo, en fin para la uniformidad del movimiento de la máquina es preciso que en cada instante se verifique:

$$Fdf - Qdq - Rdr \pm PdH = 0$$

Y para realizar bien las condiciones anteriores no pueden entrar en la máquina como se ha dicho piezas en movimiento alternativo, es decir, tendrá que constar únicamente de piezas de rotación o de ruedas exactamente centradas de correas y cadenas sin fin.

Es indudable que son grandes las ventajas que resultan de una máquina que trabaja uniformemente, creciendo su importancia cuando se compara con los movimientos que resultan de una máquina que trabaje en movimiento variado.

Las máquinas que poseen el movimiento uniforme, o sea donde las potencias y las resistencias obran de una manera continua y con la misma intensidad de acción, las piezas obran siempre de la misma manera y permanecen sin cesar en contacto sin sufrir ningún sacudimiento, ningún cambio brusco de velocidad, de modo que las cantidades de trabajo elementales recibidas y transmitidas por cada una de las fuerzas son iguales y constantes habiendo equilibrio en cada instante, así como para la máquina entera. Esto en cuanto a las ventajas relativas a la uniformidad del movimiento, pero hay que tener en cuenta que existe para cada motor una velocidad en su punto de aplicación que rinde un máximo de trabajo útil, de lo cual se deduce que lo más conveniente en toda máquina será a tender a las velocidades de las piezas extremas haciendo que guarden la debida relación según el trabajo que se ejecuta permaneciendo estas velocidades invariables durante el movimiento así como también las de las piezas intermedias.

Hemos dicho que son graves los inconvenientes que resultan de trabajar una máquina en movimiento variado, pues sépase que esos inconvenientes persisten aun cuando se sujete al movimiento variado a la ley de continuidad.

Pues suponiendo que el movimiento exista y se conserve la variabilidad del movimiento aunque regular produciría en las piezas de la máquina ciertas sacudidas, presiones y tracciones mas o menos considerables que deben precisamente alterar su constitución y absorber porción del trabajo motor.

Así cuando por la clase de la máquina no pueda evitarse el movimiento variado, debe procurarse a lo menos que las articulaciones sean ligeras disponiendo todos los trazados conformes a la ley de continuidad, de suerte que, las piezas o movimiento alternativo inherentes a la constitución de la máquina extingan gradualmente su velocidad al fin y al principio de cada oscilación para que el movimiento de la máquina se acerque lo más posible al movimiento uniforme que es el movimiento típico, movimiento que, según lo que se ha dicho, hace que la máquina trabaje con las mejores condiciones que se pueden desear. En virtud de los inconvenientes predichos por el movimiento variable de las máquinas se deduce la necesidad de buscar en todas las aplicaciones de la industria la uniformidad rigurosa del movimiento para lo cual es fuerza emplear tanto para el motor como para el operador piezas de rotación continua y evitar toda acción intermitente de parte del motor, pero como no siempre pueden tenerse en cuenta esas circunstancias por las condiciones especiales de la máquina debemos a lo menos acercarnos cuanto sea dable a lo que llevamos consignado para hacer desaparecer los principales inconvenientes del movimiento variable.

RESUMAMOS:

Las causas principales de irregularidad en las maquinas son:

1. Del motor
2. De la resistencia útil
3. Del motor y de la resistencia útil juntas.

Si el receptor posee el movimiento alternativo y el operador movimiento de rotación continuo y uniforme se transformará inmediatamente ese movimiento por medio de manivelas y excéntricas, haciendo de modo que todas las piezas intermedias sean ruedas correas a movimiento continuo.

Se procurará de una manera análoga en el caso contrario, esto es, cuando el receptor posee movimiento de rotación con velocidad uniforme y la herramienta movimiento alternativo; con todo debe examinarse si el primer movimiento puede aplicarse inmediatamente al segundo, procurando que las oscilaciones y las alternancias de acción coincidan perfectamente para que así coincida la velocidad y la presión se extingue por grados hacia el fin y el principio del movimiento de ellos, pues así no podrá haber pérdida de efecto sensible y la máquina trabajará con buenas condiciones. Empero, si se necesitan piezas intermedias, que es lo mas general, entonces es indispensable buscar la mayor uniformidad en esas piezas a fin de que obren uniformemente el receptor y el operador.

En una palabra, siempre y cuando una de las piezas extremas de la máquina posee la velocidad uniforme será preciso atender a las observaciones siguientes:

- a) Se trazaran las partes por las cuales el movimiento de rotación continuo se trasmite de una pieza a la otra de modo que la velocidad geométrica se conserve en una relación dada, lo que constituye verdaderamente el problema de los engranajes tomados en toda su generalidad.
- b) Se centrará exactamente las ruedas para los efectos resultantes de la fuerza centrífuga y presión que resulte sobre el eje.
- c) Se pondrá en equilibrio el peso de las piezas a movimiento alternativo o se utilizará de estas piezas si hay lugar a regularizar la acción de la potencia y de la resistencia en cada posición del sistema.
- d) Se disminuirá cuanto sea posible la velocidad, amplitud del movimiento y la masa de estas mismas piezas, mientras lo permita la solidez y el uso que se tenga que hacer de ellas.
- e) Por último se regularizará la acción misma del motor o de la resistencia por contrapesos o por otra disposición que pueda resultar del examen de cada caso individual.

El medio más general de regularizar el movimiento de las máquinas consiste en colocar sobre uno de los ejes de rotación una especie de rueda o de anilla dotada de una gran velocidad que se llama volante y que por su inercia absorbe o almacena el exceso del trabajo motor conservándolo en fuerza viva cuando se acelera el movimiento, para restituirlo luego en sentido contrario de las resistencias cuando el movimiento retarda o su fuerza viva disminuye.

Llamando en efecto w la velocidad angular del eje del volante v la distancia a este eje de la masa elemental dm la fuerza viva se representará por dmw^2r^2 y de todas las partes del volante por

$$w^2 \int r^2 dm$$

expresión en la cual

$$\int r^2 dm$$

es el momento de inercia de la masa entera.

Tomando w por la velocidad a la cual se relacionan todas las de las diferentes partes del sistema y separando los términos de fuerza viva que corresponden al volante nuestra ecuación fundamental se convertirá en:

$$\int v^2 dm (w^2 - w'^2) = w'^2 \int dm \alpha e'^2 - w^2 \int dm \alpha e^2 + 2 \sum Fdf - 2 \sum Rdr - 2 \sum Qdq$$

Se puede calcular la velocidad w para cada una de las posiciones del sistema y así es dable por una discusión fácil determinar las posiciones en que w tenga el mayor y menor valor ya sea en una misma revolución, o sea al cabo de varias revoluciones sucesivas después de las cuales vendrá a ser la velocidad periódica por hipótesis; supongamos que w sea el valor mayor y v el valor mas pequeño, representando por A el momento de inercia del volante, A podrá comprender los momentos de inercia de todas las piezas materiales que son susceptibles de tomar un movimiento uniforme y cuya velocidad se halla relacionada con la subvariable w de suerte que se pueden escribir las velocidades v y v' de la fórmula general en función de la velocidad angular del volante w y de las funciones α^e y $\alpha^{e'}$ deducidas de relaciones geométricas de la máquina a fin de que la relación de las velocidades de las diferentes piezas sea una cantidad constante determinada por esas últimas funciones; llamando por último

$$\sum \int dm \alpha e^2 = \beta, \quad \sum \int dm \alpha e'^2 = \beta', \quad \sum \int Fdf - \sum \int Rdr - \sum \int Qdq = L$$

funciones que están comprendidas entre los límites w w' calculables o determinados a priori por hipótesis: Resulta después de varias consideraciones el valor A o sea

$$A = \frac{L}{nt^2} - B \frac{(2+w)^2}{8n} + B' \frac{(2-w)^2}{8n} \quad 1$$

¹ De la fórmula general anterior se obtiene:

$$w^2 \int r^2 dm - w'^2 \int r^2 dm = w'^2 B' - w^2 B + 2L$$

o sea:

$$w^2(A+B) - (A+B')w'^2 = 2L$$

función que permite calcular el valor de A , o sea, el momento de inercia del volante siempre que a priori se conozca:

$$u = \frac{d}{\sigma}$$

así como la velocidad angular media σ del volante:

Esta misma función demuestra que, si se desea disminuir cuanto sea posible el valor de A y por consiguiente las dimensiones y el peso del volante que ocasiona siempre un aumento de gasto o de resistencias pasivas, es preciso:

1. Aumentar convenientemente σ o la velocidad media de estabilidad.
2. Disminuir cuanto lo permita la solidez y la constitución de la máquina las cantidades B y B' análogas al momento de inercia que corresponde a las masas de las piezas del sistema dotadas de un movimiento oscilatorio.
3. Disminuir igualmente por una repartición o disposición conveniente la cantidad L correspondiente a la diferencia de trabajo motor y resistente relativo al intervalo donde la velocidad no tiene su mas grande y mas pequeño valor.

Ecuación por medio de la cual se podrá siempre determinar la cantidad A de modo que la diferencia $w-w'$ entre la mas grande y la más pequeña velocidad angular del volante sea una pequeña fracción n de la velocidad angular media

$$\frac{w+w'}{2}$$

o sea, llamando

$$w-w' = d, \quad \frac{w+w'}{2} = \sigma$$

resulta

$$n = \frac{d}{\sigma}$$

cantidad sumamente pequeña. De las dos ecuaciones

$$w-w' = d, \quad \frac{w+w'}{2} = \sigma,$$

se obtiene:

$$w = \sigma + \frac{d}{2}, \quad w' = \sigma - \frac{d}{2}$$

sustituyendo esos valores en la ecuación general se tiene multiplicando ambos miembros por $\frac{4}{\sigma^2}$:

$$(A+B)\left(2+\frac{d}{\sigma}\right)^2 - (A+B')\left(2-\frac{d}{\sigma}\right)^2 = \frac{8L}{\sigma^2}.$$

Desarrollando $4A+4An+An^2+4B+4B^2n+Bn^2-4A+4An-An^2-4B'+4B'n-B'n^2 = \frac{8L}{\sigma^2}$ luego:

$$8An+B(2+n)^n - B'(2-n)^n = \frac{8L}{\sigma^2},$$

deduciéndose inmediatamente de esa fórmula el valor de A

Siendo la teoría de los volantes de suma importancia para regularizar el movimiento de una máquina, me creo en el deber antes de dejar ese punto de hacer cuatro consideraciones generales acerca su establecimiento.

Para aproximar el movimiento de una máquina tanto como sea dable al uniforme no hay necesidad de aumentar a la vez la velocidad y el momento de inercia de todas las piezas pues resulta de inconvenientes muy graves creciendo las resistencias pasivas, por lo tanto se prefiere valerse de un volante que se procura colocar en un eje de gran velocidad y correa de la fuerza que se trata de regularizar.

Cuando el motor y la resistencia obran con regularidad se colocan dos volantes; mas en todos los casos conviene que el volante asegure la uniformidad de la velocidad de su eje independientemente de la inercia propia de las piezas de rotación que no están directamente interpuestas entre él y la fuerza que se trata de regularizar condición que simplifica muchísimo el problema de su establecimiento.

El peso de los volantes ocasiona un aumento de frotamiento sobre los ejes y por eso conviene construirlos tan ligeros como se puedan mientras conserve su energía que es proporcional a su fuerza viva:

$$w^2 \int r^2 dm$$

Es por eso que se da a la materia de que se componen bastante densidad separándola suficientemente del eje de rotación.

Debemos advertir que en las máquinas donde por la clase de la obra resulta en ella un movimiento bastante regularizado será perjudicial colocar allí un volante por las fuerzas pasivas que siempre se desarrollan.

También serán útiles los volantes en aquellas máquinas que por el objeto particular a que se destinan está sujeta la máquina a sufrir sacudimientos o cambios de velocidad bruscos, como resulta en las máquinas de taladrar, martinets etc.

Se ve por esta discusión cuan importante es regularizar la acción de las potencias independientemente del volante. De todos modos cuando es pequeña la cantidad:

$$L = \sum \int Fdf - \sum \int Rdr - \sum \int Qdq$$

se podrá dar al volante dimensiones muy reducidas en cuanto a la masa y la velocidad.

De modo que resulta en suma que la condición más importante es regularizar la intensidad absoluta de la potencia y de la resistencia útil, esto es, que las cantidades de trabajo que ellas produzcan en las máquinas, supuesto que haya alcanzado un movimiento determinado, sean constantemente iguales por cada revolución o a lo menos por dos, tres etc. revoluciones a fin de que la cantidad L no adquiera valores muy grandes o que la fuerza viva y la velocidad, sino pueden ser constantes, se conserven entre límites determinados, y venga periódicamente a parar a los mismos al cabo de cierto tiempo, tomando así la máquina lo que se llama *Régimen de Estabilidad*.

Del establecimiento de las máquinas industriales

Ante todo debemos advertir que la industria ofrece dos clases de máquinas. Las unas sirven para vencer resistencias mas o menos considerables y las otras están destinadas a elaborar cierta clase de materias que exige más destreza que fuerza, así, según la fórmula ya hallada: $T_m = T_n + T_f$ en las primeras máquinas, se supone T_n muy superior a T_f mientras que en las segundas el término T_n es muy pequeño quedando el trabajo resistente reducido casi al sumando

Se sabe que las condiciones esenciales de una buena máquina consisten en dar un máximo al efecto útil o a la cantidad de obra confeccionada y un mínimo al gasto de trabajo motor, de suerte que la unidad de obra de cada especie se obtenga al menor precio posible. Para tratar esa cuestión con todo su generalidad debe atenderse a las muchísimas condiciones que pueden alterar las relaciones que existen entre el efecto útil y el efecto gastado, pero haciendo abstracción del precio que varía con el tiempo y la localidad, se puede casi abordar la cuestión en general atendiendo al establecimiento de las máquinas, por tanto es preciso estudiar la acción de los motores sobre los receptores y las herramientas u operadores sobre la materia que se confecciona y en cuanto las fuerzas materiales, que sirven para comunicar el movimiento, la experiencia y el cálculo ha probado que estas últimas piezas ejercen en general poca influencia sobre la cantidad de acción transmitida por ellas, siempre y cuando las máquinas estén bien construidas, porque entonces el trabajo absorbido por las resistencias pasivas inherentes a éstas piezas es ordinariamente una fracción bastante reducida de la que ellas reciben del receptor.

No sucediendo lo propio respecto las pérdidas de trabajo del receptor y el operador, pues ellas forman como veremos luego una fracción considerable del valor absoluto y mecánico del motor, así lo que importa más en toda máquina es la relación de esos dos trabajos; y como el género de trabajo es casi siempre determinado, resulta que basta conocer solamente las condiciones particulares a que debe sujetarse el operador.

El operador y el receptor deben ser considerados como verdaderas máquinas sujetas a una potencia y varias resistencias, obrando cada una de esas partes como una verdadera máquina, así teniendo en cuenta el precio de los agentes y condiciones especiales del sistema podrá venirse en conocimiento de la preferencia que debe darse a tal o cual motor.

Por ejemplo, ya hemos dicho que el mejor operador y el mejor receptor son aquellos donde la potencia y la resistencia obran de una manera continua, uniforme, sin sacudidas, sin choques, lo que se logra por medio de piezas a movimiento de rotación uniforme alrededor de un eje fijo; a más conviene que la mayor parte del trabajo receptor sea absorbido en provecho del operador, que los desperdicios de la obra o materia que elabora sean pocos y que la obra alcance su mayor grado de perfección.

Si el operador y el receptor no están sujetos a ninguna resistencia pasiva se producirá el máximo de efecto absoluto, pero nunca se pueden esperar en la práctica tan favorables resultados como no se puede tampoco esperar el movimiento uniforme completo en toda máquina.

De donde se deduce que no se obtendrá jamás en el operador ni el receptor el máximo de efecto absoluto obteniéndose tan solo un máximo relativo.

Cualesquiera que sean las condiciones del motor, sus dimensiones, su forma, su velocidad ejercen una gran influencia sobre el trabajo transmitido; de suerte que en cada caso será preciso atender o buscar las combinaciones más convenientes para que se produzca el resultado más ventajoso para la máquina. La experiencia y el cálculo suministran algunos resultados preciosísimos relativamente a los diversos receptores; no sucede lo propio con respecto a los operadores.

Si se conoce para cada motor, cada receptor y cada herramienta las condiciones de mejor efecto y la relación de la cantidad de trabajo transmitido, la cantidad de trabajo absoluto, combinando estos datos con los que son extraños a la mecánica se podrá determinar el operador y receptor que en cada caso particular y por cada localidad convengan más, y quedaran así desvanecidas todas las dificultades.

En cuanto a la velocidad, la forma y las dimensiones relativas a estas piezas extremas, así como a las intermedias, debe atenderse a los principios invariables de la mecánica y sobre todo de la cinemática.

Es preciso suponer que la cantidad de materia que se elabora en un tiempo dado sea conocido, así como el número de revoluciones de la máquina para lo cual debe regularizarse la marcha de las operaciones y el trabajo motor. La condición más esencial que debe cumplirse es el disponer las cosas de modo que se presenten cantidades iguales de materias en el operador si no a cada instante y de una manera continua, a lo menos a cada una de sus diversas revoluciones, de modo que sea poco el tiempo que obre la herramienta de una manera irregular. Así pues si se aplica al operador una potencia capaz de vencer todas las resistencias que se le presenten ella desarrollará cantidades de trabajo iguales sino a cada instante a lo menos a cada revolución y en su virtud las variaciones de la velocidad estarán comprendidas entre dos límites fijos y muy estrechos.

Estas condiciones son satisfechas en toda buena máquina, sea por la clase del agente, sea por medio de disposiciones particulares inherentes al mismo operador.

En algunos casos no es posible regularizar la acción del operador, sea porque la abundancia de materia acarrea frecuentes interrupciones, sea porque la resistencia que ofrece esta materia no es constante o por otra causa cualquiera; pero en ese caso conviene reducir las desigualdades a una cantidad muy reducida de modo que las cantidades de trabajo que se gasten en cada unidad de tiempo no se separen mucho del valor medio deducido de un corto número de revoluciones del operador.

En todos los casos donde resulta esta desigualdad de acción produce grandes inconvenientes en la máquina que deben evitarse por medio de un volante colocado cerca del operador, que por su inercia mantiene la uniformidad del movimiento del eje al cual está aplicado, y supuesto que la potencia obra tan generalmente por hipótesis a la circunferencia de la rueda motriz dividiendo este esfuerzo, medido en kilográmetros, por la velocidad de respuesta, el cociente nos dará en kilogramos la fuerza que debe hacer la potencia para vencer la resistencia dada.

Si se consideran una tras otra las diferentes piezas interpuestas entre el receptor y el operador, piezas que por hipótesis están dotadas de un movimiento de rotación sensiblemente uniforme y donde la influencia de la inercia puede bien despreciarse resulta que la potencia y resistencias se hallan en equilibrio obrando cada una de estas piezas como máquinas simples, y supuesto que se pueden calcular las intensidades medias de las fuerzas que desarrolla cada una de ellas merced a ello podremos deducir la cantidad de trabajo que corresponde a cada revolución o en cada unidad de tiempo en el receptor para vencer todas las resistencias reunidas y de ese modo poder conocer la cantidad de trabajo absoluto que se debe librar al receptor en la unidad de tiempo o en cada revolución de la máquina. Y en su conocimiento ya no se tratará más que de graduar su intensidad de acción, lo cual se hará por medios análogos a los que sirven para graduar el trabajo mismo del operador, por ejemplo levantando convenientemente la compuerta que da el agua al motor hidráulico, la llave que da al vapor a los cilindros de la máquina, etc.

Estas operaciones se ejecutan también por los hombres encargados del cuidado de la máquina y algunas veces se emplean disposiciones particulares para que la intensidad de la fuerza motriz siga naturalmente las variaciones de las resistencias y mantenga la constancia del movimiento: tal es mas particularmente *el péndulo cónico o regulador de fuerza centrífuga*.

Si la máquina está ya construida, el cálculo anterior es inútil, como se puede comprender, en cuyo caso se tendrán que tantear las condiciones de velocidad, materia elaborable que debe tener y presentar el operador según la fuerza disponible de dicha máquina, siendo esto problema el reciproco del anterior.

La solución del problema del establecimiento de las máquinas que acabamos de bosquejar solo es aproximada; pero sería imposible la solución por cualquiera otra vía atendida la multitud de indeterminadas de que depende y es suficientemente exacta para la práctica, en la cual nunca se pretende alcanzar el rigor matemático; siendo un grado de perfección tan preciso como raro llegar a una aproximación con error de $\frac{1}{5}$ y aun de $\frac{1}{4}$

Por desgracia con demasiada frecuencia suele acontecer que la ignorancia de los constructores de máquinas si no les han equivocado completamente el objeto, los aparta de él en tal manera que el efecto útil obtenido no es el $\frac{1}{5}$ ni a veces es $\frac{1}{10}$ del que se hubiera podido esperar de otra disposición mejor. Por lo demás, si insistimos sobre este asunto es para hacer conocer la dificultad y la inutilidad en cuanto ahora de una solución rigurosa del problema de las máquinas, es para evitar la idea de tentativas que con frecuencia no tienen éxito y para hacer apreciar por otra parte el mérito real de los conocimientos fundados en los datos ciertos de la mecánica y de la experiencia, así como para poner en estado de entrever de antemano la naturaleza de los mismos que es lícito esperar de ellos en los diferentes recursos.

Por lo dicho hasta ahora se ve que no es posible hacer producir a las máquinas los efectos maravillosos que algunos suponen, dominados por su imaginación y por su ignorancia de las leyes de la mecánica. Sometidas como están a una multitud de resistencias pasivas, solo pueden transmitir con pérdida el trabajo que se les confía y esto hasta tal punto que se consideran como excelentes los que dan como efecto útil los 0,5 ó 0,6 de la cantidad absoluta de acción gastada por el motor.

Hay máquinas que solo dan $\frac{1}{10}$ y $\frac{1}{20}$ del trabajo a causa de la ridícula complicación de sus engranajes y piezas.

Las ventajas principales de las máquinas consisten esencialmente en modificar la fuerza potente según las diferentes necesidades de las artes y según leyes tales que sean aplicables a un género de trabajo que no podría realizarse en su estado primitivo.

Es así que por su concurso se ha reemplazado la destreza y la inteligencia del hombre por la fuerza física de animales irracionales y otros agentes naturales que son menos caros y producen la unidad de trabajo a un precio menos elevado. Así por medio de máquinas y herramientas proporcionadas se producen productos más bellos, más perfectos mas regulares. Así las máquinas facilitan que ciertos motores impriman a ciertos cuerpos velocidades que directamente no podrían desarrollar, así que se elevan ciertos cuerpos cuyo peso excede del esfuerzo absoluto de que puede disponer el motor.

Tales son pues los servicios reales que las máquinas pueden prestar a la sociedad y a las artes en general, mas para hacerlas alcanzar este importante fin es indispensable como hemos visto resolver una infinidad de cuestiones aun bajo el punto de vista puramente mecánico uno de los cuales se refieren al trabajo de los motores, otras al modo de obrar de las herramientas, otras a la evaluación de las resistencias pasivas que acompañan necesariamente las piezas destinadas a transmitir la acción y el movimiento. Verdad es que podríamos ahora determinar las condiciones especiales de cada motor y de cada operador así como de las piezas intermedias considerando los movimientos en si mismos y bajo el punto de vista geométrico, prescindiendo de las fuerzas que deben producir dichos movimientos a lo que el célebre ¿? en su ensayo sobre la filosofía de las ciencias llama cinemática y otros mecánicos denominados mecánica geométrica.

Pero para hablar debidamente de esa parte debería disponer de un tiempo que el reglamento no me permite y como quiera que el tema del discurso se concreta simplemente a la teoría general del movimiento en las máquinas, creo contraproducente entrar en esas particularidades; con todo concluiré indicando, aunque sea más que ligeramente, las partes en que naturalmente debe dividirse la mecánica geométrica:

1. *Receptores*.- Formas de sus órganos y naturaleza del movimiento producido, según el modo físico de la acción de la fuerza motriz.
2. *Órganos* de comunicación, de transformación del movimiento de una parte de maquina a otra parte.
3. *Órganos* de las máquinas que sirven para modificar el movimiento y disponer los elementos en un orden determinado.
4. *Operadores*: Órganos que sirven para vencer las resistencias y que varían según la naturaleza de estas y el producto que se ha de obtener.

Señores:

No puedo dejar la pluma sin rendir un tributo de admiración a esa ciencia que es la reina de nuestro siglo, a esa ciencia que domina tanto en medio del Océano como de un extremo a otro de la tierra, tanto en las capitales como en los villorrios, esa ciencia que produce el pan del pobre proletario y los capitales del industrial - *La Mecánica*- Quien se dijera ¡*Oh inmortal Arquímedes que la palanca que concebiste para mover el mundo, reducido a proporciones más modestas bastara para agitar el mundo entero y producir una revolución social!*

No hay que dudar que esa serie de chimeneas que con altivez levantan la frente en las ultimas arterias de las ciudades industriales son una prueba fehaciente del grado de perfección a que ha llegado hoy la mecánica gracias a los trabajos admirables de insignes mecánicos los cuales por medio del cálculo sublime de las matemáticas han resuelto problemas sumamente espinosos que van facilitando poco a poco la solución de otros mas complicados, dando así constantemente la mecánica nuevos frutos de ese bello árbol de la ciencia

Barcelona. 5 de Setiembre 1873.

Lauro Clariana y Ricart