

## PESO O MASA?

Walter Richter — Ingo. de Allis Chalmers.  
Traducción del Ingo Jorge Prati P.

"Peso es peso y masa es masa... y esto es todo lo que hay respecto al asunto"

La gente, incluso los ingenieros, que viven en casas de cristal no debieran de tirar piedras!

Los ingenieros quienes están orgullosos por tener que tratar con ciencias actuales, algunas veces sonríen ante la confusión encontrada en los campos de la economía, la política y la sociología, pero aún así la ingeniería también tiene algunos apartes ruidosos en sus dominios que se solucionarán con la sonrisa de algún ingeniero presuntuoso en tono de diversión.

Quizás ningún asunto en particular en el campo de la Ingeniería es fuente de más confusión como el que trata de las relaciones entre masa, fuerza y peso. No pasa un día sin que un ingeniero, mirando incrédulo sus cálculos, encuentra que ha olvidado dividir o multiplicar por 32.16 alguna parte del trabajo. Esto parece ser increíble cuando uno considera que toda la información relativa al asunto está completamente tratada en cualquier libro de ingeniería mecánica. En vista de esto, puede parecer superfluo dedicar espacio adicional al asunto, pero puesto que existe una confusión incontestable, la intención de dar alguna luz sobre él, con la ayuda de una presentación no ortodoxa puede justificarse. Puede que ella sea clara y aleje algo de la confusión existente. Si ocurre lo contrario puede hacerla peor.

Erase una vez. Supongamos que en un soleado día una nave procedente de un planeta hasta ahora desconocido, aterrizará en uno de nuestros aeropuertos. Los ultraterrenos visitantes salen de la nave. Habiéndonos encontrado en el curso de un viaje interplanetario, podemos suponerlos como mentalmente más desarrollados que nosotros, y en

consecuencia, encontrarán muchas de nuestras costumbres divertidas y amenas, por decir lo menos.

Habrá desde luego, una jira de inspección de la tierra y una introducción a las maravillas que han hecho los hombres terrestres. Los visitantes devuelven el cumplido invitando a representantes de varias ciencias a que los acompañen a su planeta y les enseñen las maravillas de la tierra "tal como la vieron". El grupo elegido finalmente para este excitante viaje incluiría un médico, un abogado, un matemático, y, después de largo debate, un ingeniero.

Naturalmente como representantes de las ciencias naturales, que son el físico y el ingeniero, gustarían de llevar sus unidades o standards, en tal forma que fueran duplicados exactos de esos standards. Ingenieros y físicos coinciden en que solamente tres unidades fundamentales se requieren, de las cuales pueden derivarse las otras.

**Las Unidades fomentan diferencias.** También están acordes en que la longitud y el tiempo serían dos de las unidades fundamentales, pero, como se verá en seguida, ellos no coinciden en la escogencia de la tercera.

Para demostrar su unidad de longitud, un Ingeniero Inglés o Americano tomaría un duplicado de una regla que se conserva en Londres, llamada "un pie". Si el Ingeniero fuera uno del continente Europeo, proporcionaría un duplicado de una regla que se guarda en París, llamada "un metro". El físico tomaría una regla mucho menor para demostrar su unidad de longitud, llamada un centímetro, o sea, la centésima parte de la longitud empleada por el ingeniero continental.

Todos los ingenieros y físicos han coincidido en la unidad tiempo, el segundo. Esta es la 86.400ava parte del tiempo que toma la tierra para dar una revolución completa sobre sí misma. Para demostrarlo, bastará tener un buen cronómetro.

Para la tercera unidad fundamental los representantes de la Ingeniería han escogido la de la fuerza. La unidad de fuerza escogida por el ingeniero Inglés o Americano es una libra, mientras que la del ingeniero continental es un kilogramo. Pero, qué es esto de libra o kilogramo? Es la fuerza con la cual algún legendario rey podía accionar su arco, o es la fuerza que un viento soplando a cierta velocidad ejerce sobre una superficie de un pie cuadrado de área?

Cualquiera sabe, desde luego, que las unidades de fuerza usadas por la Ingeniería son las fuerzas con las cuales la tierra presiona sobre ciertas piezas de material que se conservan en Londres o en París, de-

signadas desde ahora arbitrariamente como Chunks y "no" como "una libra" o "un kilogramo". Para los ingenieros, "libra" y "kilogramo" no se refieren a los Chunks propiamente dichos, sino a la acción de la tierra sobre ellos.

Si los Ingenieros pudieran suspender sus respectivos Chunks en un resorte helicoidal, como ocurre en una balanza para pesar carne y marcar los puntos en los cuales él se deflectaría bajo la acción de la fuerza ejercida en sus chunks por la tierra, ellos podrían tener otros medios de demostrar sus respectivas unidades de fuerza. Toda vez que el resorte se extendiese a los puntos previamente señalados, él ejercería una fuerza de una libra o un kilogramo respectivamente.

Los representantes de la Ingeniería, por otra parte se llevarán sus dos chunks para su viaje al desconocido planeta. Si son tan inteligentes como pretenden serlo harán bien, sin embargo, en llevarse también el resorte calibrado antes mencionado.

**Fuerza contra masa.** El físico no concuerda con el ingeniero en la selección de la tercera unidad fundamental. En lugar de escoger "fuerza" como el ingeniero, él escoge "masa". Debe tenerse si muy claro, que esto no es una diferencia en la "cantidad" de las unidades, sino una diferencia en la "naturaleza" de la unidad. Un pie y un metro pueden no ser iguales, pero ambos son de igual naturaleza, es decir, representan longitud. Uno puede ser convertido en el otro cuando se conoce el factor de conversión. Pero un pie y un segundo son cantidades de una naturaleza enteramente diferentes, una nunca puede convertirse en la otra. En una forma similar, masa y fuerza son dos cantidades de naturaleza enteramente diferentes.

Es importante reconocer que los dos representantes de la Ingeniería, habiendo escogido fuerza como la tercera unidad fundamental, concuerdan en la "naturaleza" de esta unidad aunque proponen diferentes "cantidades" para ella.

El físico ha escogido masa como la tercera unidad, que es diferente de fuerza.

Para demostrar su unidad de masa, el físico acude a un pequeño chunk que él llama un gramo. Para ser exacto, un millar de sus pequeños chunks valdrá tanto como el chunk del ingeniero continental. Si se hace de acero, su chunk sería un pequeño cubo, cuya arista valdría alrededor de  $1/5$  de pulgada de largo.

Los ingenieros y los físicos ya se vio que salen para su viaje cada uno equipado con una regla, un cronómetro y una pieza de material.

Si cualquier dificultad fuese encontrada por uno de ellos con esta clase de equipo, lo más seguro es que lo mismo les ocurriría a los otros. Hay sin embargo en el mundo gran diferencia en el significado y en el propósito de las piezas de material tomadas por el ingeniero y el físico. El primero las toma en la esperanza de demostrar su idea de fuerza, mientras que el segundo las toma como un medio de demostrar su unidad de masa.

**La gravedad trastorna la demostración.** Salvos y sanos en el imaginario planeta, que es de esperarse sea mucho menor que la tierra, quizás del tamaño de la luna, los científicos principian a prepararse para sus lecturas y demostraciones. Es obvio que en este punto los representantes de la Ingeniería estarán en apuros cuando les toque entrar a demostrar su unidad de fuerza. Como se trata de un planeta menor, la gravedad no actúa tan intensamente sobre los chunks como actuaría en el caso de estar ellos en la tierra. Un hilo de seda, por ejemplo, que podría ser reventado bajo la fuerza de uno de ellos en la tierra, estará ahora para soportar varios de esos chunks. Consecuentemente, la elección del ingeniero al relacionar su unidad de fuerza con la fuerza gravitacional de la tierra parece no ser una sabia actuación. Pero mientras que ella puede no ser muy sabia, las razones que le asisten son incomprensibles.

El constructor de un puente y el arquitecto deben diseñar sus estructuras esencialmente para soportar cargas sobre las cuales actúa la gravedad. El ingeniero que diseña una grúa o un elevador, tiene que vencer también la fuerza de la gravedad. En contraste a ésto, la fuerza ejercida por un resorte comprimido o por un gas al expandirse, o por un conductor que lleve corriente eléctrica y dispuesto en un campo magnético, no tiene nada que ver con la gravedad. Los ingenieros habrían hecho mejor al dejar en casa sus respectivos chunks y traerse tan sólo la escala del resorte, calibrada con la ayuda de los dos chunks antes de iniciar el viaje.

**Masa es...** Y qué hay del físico? El exhibe su pequeña pieza que ha traído como su unidad de masa. Cuales son las características de la masa? Por respuesta uno oye ocasionalmente que ella tiene "peso". Pero "peso" no es más que una corta expresión de "la fuerza ejercida por la gravedad de una masa".

Es cierto que cuando una masa es puesta en un campo gravitacional se ejerce sobre ella una fuerza esto es, ella exhibirá "peso". Sin embargo, una libra de mantequilla ciertamente no deja de ser una li-

bra de mantequilla (a lo mejor es margarina) si se la coloca en un punto en el espacio interestelar donde la gravedad resultante es cero.

Newton, quien profundizó la cuestión, da la siguiente respuesta: "el distintivo característico de la masa es la inercia". El estatuyó que la aplicación de una fuerza a una masa que esté libre de moverse en la dirección de la fuerza aplicada, resultará en un cambio de velocidad de la masa, o aceleración.

El estudio también la relación existente entre la fuerza aplicada a una masa y la aceleración resultante de esta aplicación. Encontró que la aceleración resultante es proporcional a la fuerza que actúa sobre la masa, e inversamente proporcional a la masa. Esto se traduce en la bien conocida fórmula:

$$\text{Fuerza} = K \times \text{masa} \times \text{aceleración}.$$

Esta es la relación que el físico, tanto como el ingeniero, emplea para la deducción de su unidad de fuerza, o masa respectivamente, a partir de sus tres unidades fundamentales. Puesto que los dos desean tener sus relaciones tan simples como sea posible y puesto que son enteramente libres en la elección de cuan grandes o pequeñas puedan ser, ellos se esfuerzan por definirlas en tal forma que el factor de proporcionalidad "k" en la ecuación anterior sea la unidad. Esto significa que la ecuación anterior pasa a ser:

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \text{aceleración}.$$

Debe recordarse que el físico trabajó su pieza, el gramo, con el objeto de demostrar su unidad de masa; de acuerdo con la última ecuación su unidad de fuerza será tal que impartirá a su unidad de masa, es decir, un gramo, la unidad de aceleración, o sea un cm/seg<sup>2</sup>. Para dar a sus oyentes una idea sobre el tamaño de su unidad de fuerza, coloca su pequeña pieza sobre una superficie bien lubricada y a nivel, y la empuja lo suficiente para hacer que su velocidad aumente en un cm/seg. cada segundo. La fuerza o acción necesaria para traer la pieza a este resultado se llama "una dyna". Ella no tiene absolutamente nada que ver con la gravedad y valdría exactamente la misma cantidad, sea que el experimento se verifique en la tierra, o en el planeta imaginario, o aún en el espacio interestelar (donde en un punto de gravedad cero, nuestro físico podría hacer caso omiso de la superficie bien lubricada).

Los Ingenieros deducen la masa. Volviendo ahora a los ingenieros, ellos después de una rápida conferencia, han decidido poner sus

dos respectivos **chunks** (la libra y el kilogramo) en sus maletas de viaje, y no volver a hablar de ellos. El resorte calibrado será usado para demostrar su unidad de fuerza. El ayudará ahora a los ingenieros a derivar sus unidades de "masa" a partir de sus unidades de longitud, tiempo y fuerza, al igual que el físico, que ha deducido su unidad de fuerza a partir de sus unidades de longitud, tiempo y masa. Haciendo uso también de lo encontrado por Newton, los ingenieros igual que los físicos, gustan escoger sus unidades de masa en tal forma que el factor de proporcionalidad en la primera ecuación sea la unidad. Consecuentemente, su unidad de masa estará formada por una cantidad de material que mostrará la unidad de aceleración (un pie/seg<sup>2</sup>) cuando sobre ella actúa su unidad de fuerza. Esta última puede obtenerse presionando la masa con la ayuda del resorte calibrado en forma tal, que la aguja señale exactamente la marca respectiva.

El Ingeniero, además, colocará un bloque de material (sea roca, madera, o metal) sobre una superficie horizontal bien lubricada y aumentará su cantidad hasta que ella muestre una aceleración de un pie/seg.<sup>2</sup> (o un mto/seg<sup>2</sup>) cuando se la empuje con una fuerza de una libra ( o un kilogramo), aplicada mediante el resorte calibrado.

¿Qué tan grande debe ser un chunk en este caso? ¿Cuánto valdrá al compararlo en tamaño con los **chunks**, que los amontazados ingenieros pusieron en sus maletas de viaje?

Sabemos que en la tierra la fuerza de la gravedad actuando sobre el chunk del Británico, lo acelerá con 32.16 pies/seg<sup>2</sup>. Pero el resorte, cuando la aguja señale la marca de 1 libra, ejerce una fuerza como la de la gravedad en la tierra. Consecuentemente, si él fuerza a ejercer fuerza con este resorte sobre el chunk que ha traído desde la tierra, siempre que la superficie fuese a nivel y bien lubricada, obtendría una aceleración de 32.16 pies/seg<sup>2</sup>. Si desea solamente una aceleración de 1 pie/seg<sup>2</sup>, en tanto que ejerce la misma fuerza, él debe, de acuerdo con Newton, hacer el bloque ya mencionado 32.16 veces más grande que el chunk de su maleta de viaje. "Este bloque entonces poserá la unidad de masa para el Británico, porque al aplicarle una fuerza de una libra se obtendrá una aceleración de 1 pie/seg<sup>2</sup>". Recuérdese ahora que la unidad de masa es un bloque que contiene 32.16 veces tanto material como el chunk que se guarda en Londres. Si alguien desea conocer cuanta masa tiene un automóvil que pese 3.216 libras, debe empezar por determinar cuántos de estos bloques unitarios de masa, él representará; naturalmente será el peso dividido por 32.16 o 100.

Ya se vio que la masa del automóvil es 100. Cualquiera pregunta:

"100 qué?". Pregunta difícil de contestar puesto que la unidad de masa no tiene nombre o por lo menos, uno que esté aceptado generalmente. Nadie puede decir que tiene una masa de 100 lbs. puesto que se sabe que pesa 3.216 lbs. ¡Usar el mismo nombre para dos cantidades enteramente diferentes es ciertamente una cosa indebida, pero es exactamente lo que los ingenieros están haciendo!

Un nombre ha sido propuesto. La profesión de Ingeniería debería adoptarlo generalmente; el nombre es el "slug". Luego se podría decir que el automóvil en cuestión tiene una masa de 100 slugs. Es evidente que la masa de cualquier material, en slugs, será igual a su peso dividido por 32.16.

El sistema métrico también tiene inconvenientes. El sistema métrico usado por el Ingeniero Continental tiene que enfrentarse exactamente al mismo problema. El Continental también desea que la relación expresada en la primera ecuación se desarrolle en tal forma, que el factor de proporcionalidad "k" sea la unidad. Con este objeto, él debe escoger su unidad de masa de manera que, una fuerza de un kilogramo produzca una aceleración de un metro/seg<sup>2</sup>; lo que da origen a un bloque que contenga 9.81 veces el material del chunk guardado en París. Esto coloca al pobre hombre en condición peor a la del Británico o el Americano pues ningún nombre ha sido sugerido para su unidad de masa, mucho menos aceptada!

Se ve claro ahora que los chunks guardados en Londres y en París, (una libra o un kilogramo) son para el ingeniero, estrictamente un vehículo para definir mediante la gravedad, su unidad de fuerza. Pero en su sistema la unidad de masa es derivada, y no tiene nada que ver con los chunks. Sin embargo, no es trabajoso encontrar libros en los cuales el chunk en Londres es referido como "el standard de masa". Este intento es el que hace que los chunks sirvan para dos propósitos que causan la confusión. Como se ve, hace el sistema pie-libra y el métrico igualmente difíciles.

Nótese que el físico ha escapado completamente a este tropiezo; cuando él habla de 15 gms, nunca significa una fuerza (de lo contrario hablaría de dynas) sino que, habla de cierta cantidad de materia. De otra manera, cuando, un ingeniero habla de 25 lbs. estará en lo cierto cuando tiene en la mente la idea de fuerza; pero él a menudo usa el mismo término para describir la cantidad de material contenido, caso en el cual debería hablar de slugs. Pero quién puede criticarlo, cuando él encuentra en sus libros que la libra guardada en Londres es el standard de masa?

**Standard y Unidad difieren.** No obstante hay una forma de definir su predimiento. El término "standard" no significa necesariamente lo mismo que "unidad". Así por ejemplo, para el ingeniero electricista, el standard de voltaje es usualmente una celda Weston. Pero su voltaje no significa la unidad de voltaje. Cuando la relación entre el standard y la unidad son conocidos, la unidad puede conseguirse aparte del standard. Además, el hecho de que el chunk guardado en Londres, llamado una libra, sea el standard de masa, no necesariamente tiene que significar que él sea también la unidad.

**El Slug resolvería el problema.** Se ha visto que la unidad de masa para el ingeniero se construye tomando 32.16 de los standards. Si los ingenieros, toda vez que se encontraran la expresión "masa" trataran de visualizar un bloque de material 32.16 veces tan grande como el standard de masa guardado en Londres, y este mayor bloque se marcará con "unidad de masa" o con "un slug", desaparecerían indudablemente muchas de las dificultades.

Hay otro sistema de unidades en el cual la pieza de platino guardada en Londres sirve como la "unidad" y no meramente como un "Standard" de masa. Un hombre que hubiese adoptado este sistema tomaría el chunk en su viaje interplanetario, no como un medio para demostrar su unidad de "fuerza" sino como su unidad de "masa". El difiere de los ingenieros en la misma forma que el físico, puesto que ha escogido longitud, tiempo y masa como sus unidades fundamentales y no fuerza como lo ha hecho el ingeniero.

Así como el físico ha derivado su unidad de fuerza como una que le dé a su unidad de masa la unidad de aceleración, en tal forma que el hombre que use la libra guardada en Londres como la unidad de masa, derivará su unidad de fuerza como una que imparte al chunk llamado una libra, una aceleración de un pie/seg<sup>2</sup>. Esta fuerza se llama el "poundal". En la escala del resorte, un "poundal" equivaldría aproximadamente a media onza.

A esta fuerza puede llegarse de la siguiente manera: un esfuerzo ejercido en el chunk en Londres con una fuerza registrada de una libra en la escala del resorte (fuerza es lo mismo que la ejercida por la gravedad en el chunk) resulta en una aceleración de 32.16 pies/seg<sup>2</sup>. Consecuentemente, si se desea una aceleración 32.16 veces menor, correspondientemente una fuerza menor será necesaria. Y puesto que hay 16 onzas en una libra, ésta será aproximadamente igual a media onza.

El sistema no ha sido muy aplicado, pero es perfectamente lógico y consistente para toda persona que tenga que ver con él. Su princi-

pal inconveniente es lo reducido de la unidad de fuerza que da origen a grandes y engorrosos números cuando expresan fuerzas que se encuentran de ordinario en los cálculos de Ingeniería.

La unidad de fuerza del físico, la dyna, es mucho menor que la libra o el "poundal". Un millón de dynas equivale aproximadamente a dos libras. No hay razón para que los ingenieros si adoptan las unidades del físico, no entren a trabajar con megadynas. Después de todo, ellos usan kilovatios, megavatios y microfaradios.

**Masa y Fuerza clarificadas.** La dificultad con los dos sistemas usados por la Ingeniería radica además en el hecho de que el propósito y significado de los chunks de material guardados en Londres y París son confusos. En Ingeniería, su peso, esto es, la acción de la gravedad en ellos la única cosa importante, puesto que él representa la unidad de fuerza que usa el ingeniero. Tan pronto como el Ingeniero desea preservar el factor de proporcionalidad unidad en las fórmulas: "fuerza = masa  $\times$  aceleración", esos chunks "no pueden posiblemente servir simultáneamente como la unidad de masa". Desafortunadamente el término "libra" se usa indistintamente para describir una "cantidad de material" tal como una libra de mantequilla o una libra de patatas, o como una "fuerza" así sea la ejercida por un resorte o por un campo magnético en un conductor que lleve corriente eléctrica. En un caso, el término libra designa una cantidad de material o una masa; en el otro, significa fuerza solamente.

La unidad de masa para el Británico o el Americano, es entonces una cantidad de material 32.16 veces la del chunk, guardado en Londres. Esta es la razón por la cual tiene que dividir por 32.16 si desea conocer el número de unidades de masa contenidas en una determinada cantidad de material.

Ahora, está esto claro? O volvemos a verlo?

Traducción de un artículo aparecido en la Revista: "Allis Chalmers Electrical Review" — Second Quarter — 1948.

---