

## La energía humana el esfuerzo físico

---

Se llama la atención sobre la energía humana, su importancia como elemento de productividad y como principio ó quizás como fin de la actividad deportiva. Se estudia el máximo esfuerzo físico, así como también algunos conceptos acerca de la energía aeróbica y la energía anaeróbica.

---

**LUIS SUAREZ FLOREZ**  
MS Ingeniería Eléctrica  
Universidad Nacional

### INTRODUCCION

Durante una jornada de 8 horas un obrero desarrolla en promedio el trabajo correspondiente a unas 520 kilocalorías, lo que en términos de energía eléctrica equivale a 0.6 Kw - Hr. Si esta energía se comprara a las Empresas Municipales, la factura sería de menos de 10 pesos, y esto no significa que las tarifas de las empresas de energía sean reducidas, sino más bien que el organismo humano como elemento productor de energía es bastante deficiente. Esta conclusión no es nueva, a ella ya se había llegado en el siglo XVIII, cuando se resolvió mecanizar el trabajo. En cierta medida, la Revolución Industrial y nuestra actual forma de vida se pueden explicar por lo económica que resulta la energía de medios inanimados comparada con la energía humana.

¿Qué importancia tiene estudiar el esfuerzo humano, si aparte de ser insignificante, comparado con el esfuerzo de las máquinas, ha sido en buena parte desplazado por ésta? Hay varias respuestas. En primer lugar, todavía e incluso en países de gran desarrollo hay actividades productivas que dependen y seguirán dependiendo del esfuerzo humano, como buena parte de la construcción de inmuebles, muchas de las labores agrícolas, labores de pesca, etc.

Está también el deporte, cada día son más y más numerosas las personas que se interesan por esta actividad, que en el fondo no es otra cosa que optimizar y buscar el límite del esfuerzo físico. El deportista debe sobrecargar al máximo el motor humano, debe llegar al límite del esfuerzo físico, para ésto se somete a largas sesiones de entrenamiento muscular. Pero también debe ser capaz de optimizar el gasto energético, la actividad deportiva sin que pierda la intensidad debe ser realizada con el mínimo esfuerzo, es con este fin que se entrenan con habilidades y técnicas propias de cada deporte.

De otro lado, quizás algún día se escriba la historia, ya no bajo el punto de vista de los reyes y los generales sino

más bien bajo el punto de vista del trabajo, del esfuerzo humano. Entonces podremos saber cuántos millones de pequeños esfuerzos humanos se necesitaron para construir la gran muralla china o cuántos para construir las murallas de Cartagena.

## ENERGIA AEROBIA Y ANAEROBIA

La energía se desarrolla en el organismo en dos formas. De una parte hay una cierta energía que para su desarrollo necesita de oxígeno, es el proceso aerobio, similar en esto a muchas formas de energía utilizadas en Ingeniería como gasolina, carbón, gas, etc. Para el desarrollo de esta energía se necesita entonces que en las células precisas se provea de suficiente oxígeno, éste es conducido allí por la sangre que a su vez lo obtiene de los pulmones, siendo el aire inspirado el que finalmente suministra el oxígeno.

La energía aerobia, es muy abundante en el cuerpo humano, casi el total de la energía almacenada es de este tipo. En esfuerzos más o menos prolongados, del orden de los 6 o más minutos, el 95% de la energía consumida corresponderá a la energía aeróbica.

Como es evidente el desarrollo de este tipo de energía depende del sistema de acopio y transporte de oxígeno, por lo tanto, dependerá de la capacidad respiratoria, de la capacidad pulmonar y del sistema cardiovascular. Poner a plena marcha este complejo sistema es demorado, por lo tanto, una alta potencia aeróbica no puede desarrollarse en forma instantánea. Al igual que en un motor de explosión, se necesita un cierto tiempo para "calentar" el sistema para ponerlo "a tono". De esta forma la respiración debe aumentar su ritmo, el corazón aumenta también su frecuencia, se suceden ciertos cambios químicos en la sangre que le permiten hacerse más rica en oxígeno y que además la hacen menos viscosa para facilitar su paso por el sistema arterio-venoso, de otro lado, las arterias y las venas se ensanchan permitiendo más paso de sangre.

El otro tipo de energía que puede emplear el organismo, es aquella que no necesita de la presencia de oxígeno para su desarrollo. Se conoce como energía anaerobia, y si bien tiene la gran ventaja de no necesitar oxígeno para su formación, adolece de un gran problema: su cantidad es muy reducida, menos del 0.1% de la energía almacenada en el organismo pertenece a esta forma. De ahí que sólo se utilice cuando le es imposible al organismo hacer uso de la energía aerobia, como es el caso de iniciar una actividad más o menos severa. En ese instan-

te las células musculares tienen el oxígeno necesario para la actividad anterior, como la nueva actividad demanda más energía el aporte de oxígeno se queda corto, los músculos utilizan entonces sus limitadas existencias de energía anaerobia, mientras se pone "a punto" el sistema de transporte y acopio de oxígeno.

## BALANCE ENERGETICO EN EL CUERPO HUMANO

Si se estudia el cuerpo humano bajo la óptica de la productividad, se puede hablar de pérdidas y rendimientos. Así pues, al igual que un motor inanimado, el motor orgánico incurre en ciertas "pérdidas" energéticas cuando ejecuta un trabajo. En reposo y aún en estado de sueño, el cuerpo requiere de aportes energéticos para mantener las actividades básicas, tales como la función respiratoria, la función cardiovascular, la función cerebral, etc. Estas actividades básicas demandan una energía horaria del orden de 0.07 KW-Hr. lo que equivale a una potencia continua del orden de los 70 vatios. El suministro de esta energía es absolutamente indispensable, en razón a que es ella la que mantiene con vida a la persona, sin embargo, paradójicamente al hacer la correspondencia con los motores inanimados, hemos de denominarla "pérdidas fijas" ó "pérdidas constantes".

Existe otro tipo de pérdidas que dependen del tipo y de la intensidad del trabajo que se está realizando. Así por ejemplo, si el trabajo es acarrear material sobre un cierto trayecto, por un lado el individuo no sólo transporta el material objeto del trabajo, sino que también tiene que transportar su propio cuerpo. De otra parte, ciertas actividades básicas, como la función cardiovascular, la respiración y otras se aceleran. Todo esto hace que el rendimiento energético alcance valores del 25% e incluso menores.

Usando la conocida relación de que el rendimiento corresponde a la potencia desarrollada, sobre la potencia de pérdidas fijas, más pérdidas variables, más la potencia útil. Se tendría el siguiente cuadro de gasto energético diario para un individuo de costumbres sedentarias:

- Actividades con demandas energéticas muy cercanas al mínimo: dormir, leer, estar recostado. No hay potencia hacia el exterior, sólo la potencia de las actividades básicas.  
70 Watios por 18 horas..... 1.26 KW-Hr.
- Actividades con demandas energéticas medias: caminar, archivar, ducharse, comer.  
50 Watios de potencia hacia el exterior, rendimiento 0.6, 5.5 horas..... 0.84 KW- Hr

- Actividades con demandas energéticas altas: Atletismo, ciclismo.  
150 Watos de potencia hacia el exterior, rendimiento  
0.25, 0.5 hora..... 0.33 KW- Hr
- TOTAL..... 2.43 KW-Hr.  
2.090 kilocalorías

Y estas 2.090 kilocalorías consumidas por el organismo, deben ser restituidas por los alimentos, cualquier desbalance se notaría como una disminución o aumento de peso.

**MAXIMO ESFUERZO FISICO**

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de un atleta sometido a pruebas de esfuerzo máximo durante diferentes tiempos, el sujeto estudiado es un atleta de distancias cortas, con un alto grado de entrenamiento y con condiciones físicas excelentes. Varias cosas vale la pena resaltar en la mencionada figura.

En primer lugar la fuerte dependencia entre el máximo esfuerzo y el tiempo de duración de dicho esfuerzo. Así, durante 10 segundos el atleta alcanza a desarrollar (potencia hacia el exterior) 2.800 watos. Pero si la prueba se prolonga por un minuto, sólo llegaría a 1.000 watos.

Para 120 minutos (60 seg) (7.200 seg), el máximo esfuerzo se reduciría a 300 watos.

Es interesante analizar también el comportamiento de la energía anaeróbica respecto a la aeróbica. En la prueba de los 10 segundos la mayor parte de la energía es de origen anaeróbico, contrastando con lo que sucede en la prueba de los 120 minutos. Los deportistas especializados en pruebas de corta duración: pesas, saltos, lanzamientos, dependen para su desempeño de la energía anaeróbica. Por el contrario, los atletas de fondo: los ciclistas y los nadadores, dependen de la energía aeróbica, deben tener un perfecto desempeño de su actividad cardiovascular y respiratoria, por algo se habla de actividades o deportes de aliento.

Finalmente, es de ver que el organismo solo puede desarrollar potencias altas por muy cortos periodos de tiempo, la potencia desarrollada en el esfuerzo de los 30 minutos es solo la séptima parte de la potencia de los 10 segundos.

Los altos niveles de potencia sólo se pueden alcanzar con energía anaeróbica pero agotada ésta, se entra a depender solamente de la energía aeróbica y ésta tiene un límite muy preciso dado por la cantidad de oxígeno que puede absorber el individuo. En el caso del atleta

**TABLA 1**  
**Gasto energético para diferentes actividades<sup>1</sup>**

ACTIVIDAD	GASTO ENERGETICO		
	Lts Oxígeno/Min	Kilocal/Min.	(Watos) <sup>2</sup>
Carrera 16 km/Hr.	4.1	20.0	1400
Caminar 6 Km/Hr.	1.0	5.0	350
Caminar 3 km/Hr.	0.6	2.9	200
Manejar automóvil.	0.4	2.0	140
Fútbol.	1.5	7.3	510
Subir escaleras.	3.0	14.8	1030
Dibujar.	0.4	1.9	120
Llevar carretilla.	1.2	6.0	415
Laborar con pala.	1.6	7.9	550
Cortar árboles con sierra.	2.1	10.3	720
Cortar árboles con hacha.	3.0	14.8	1030
Dormir.	0.2	1.0	70
Estar sentado.	0.3	1.6	110
Ducharse.	0.5	2.4	170

<sup>1</sup> Energía consumida por un sujeto para hacer la actividad estudiada.  
<sup>2</sup> Se debe suponer una potencia continua. De esta forma ducharse una hora requerirá 170 Watos/hora.  
 Data tomado de: "Fisiología del trabajo físico; Astrand Rodahl.

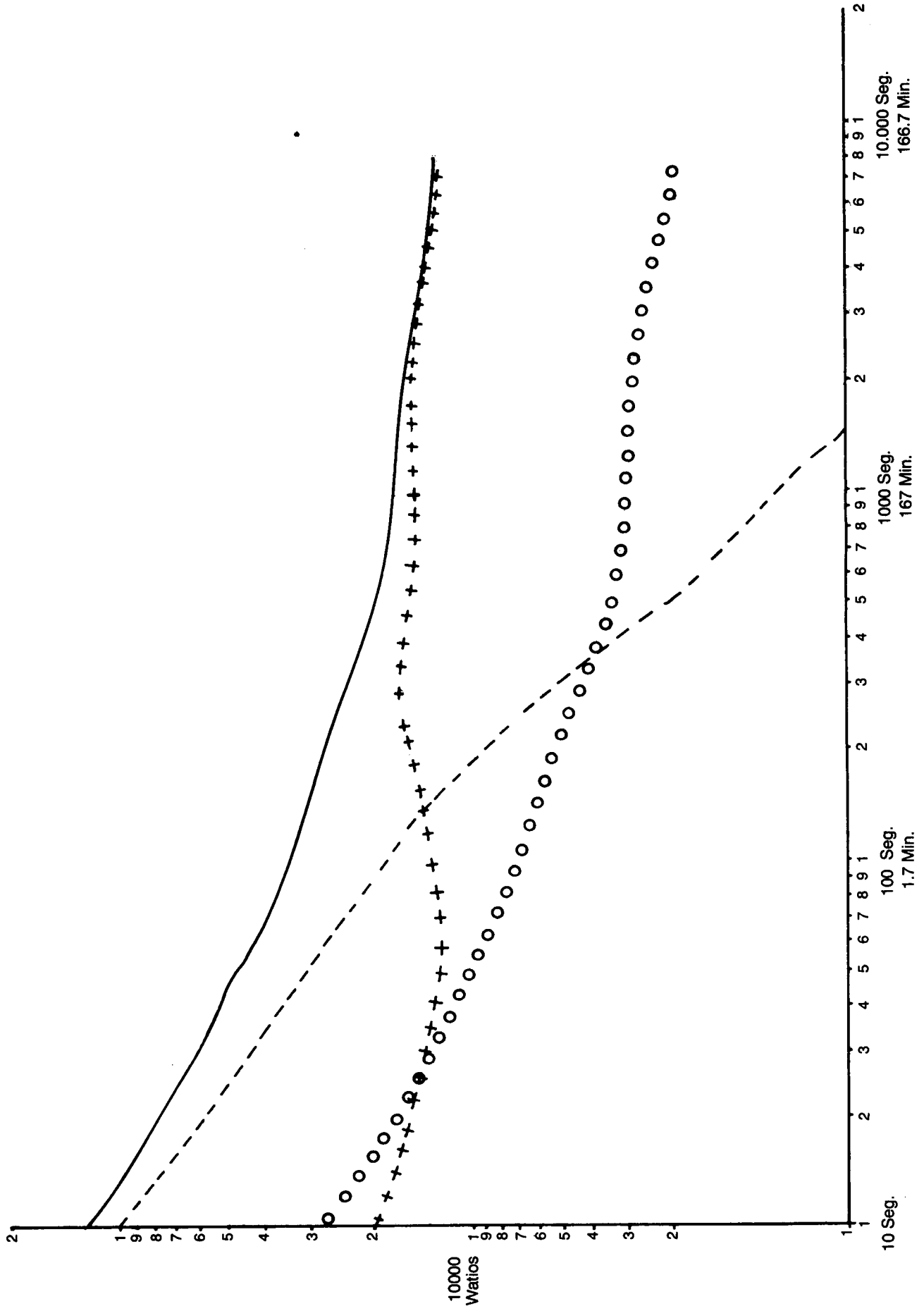


FIGURA 1.

estudiado este límite sería de alrededor de los 1.600 vatios, una persona sin entrenamiento llegaría a los 700 vatios. Durante una jornada laboral se estima que una persona puede producir hacia el exterior sin cansancio excesivo 75 vatios, lo que da un requerimiento de 350 vatios, suponiendo un rendimiento total de 21,7.

### **COSTO ENERGETICO SEGUN ACTIVIDADES**

Hasta la presente se han estudiado las posibilidades del cuerpo humano para producir trabajo: Los máximos niveles de potencia a que se puede llegar, y lo que podríamos llamar la potencia de régimen: 75 vatios. Para completar el cuadro, es bueno tener idea del costo energético para ejecutar ciertas tareas, y es con este fin que se muestra la Tabla 1.

En esta tabla se especifica para cada actividad el costo energético: en litros de oxígeno por minuto, en kilocalorías por minuto, y la correspondiente potencia en vatios. Las dos primeras columnas corresponden a la forma clásica como se presentan estos datos en la literatura relacionada.

De una publicación a otra estos costos energéticos presentan variaciones del 50% e incluso más. Esta altísima dispersión en los datos se debe, a que la Tabla se construye, no haciendo un estudio exhaustivo de cada uno de los movimientos involucrados en la actividad estudia-

da, sino que se mide directamente el consumo de oxígeno de un individuo que realiza la actividad en estudio. Ahora, dado que el consumo de oxígeno se correlaciona fácilmente con la energía aeróbica, y que ésta es la casi totalidad de la energía desarrollada, se puede asegurar que el gasto energético de la actividad corresponde al consumo de oxígeno medido, o a su equivalente en kilocalorías o cualquier otra unidad energética.

Una característica importante que se desprende de lo anterior, es que el gasto energético medido, corresponde a la energía que consume el individuo y no la que despliega hacia el exterior. Para hallar ésta, sería necesario tener en cuenta el rendimiento.

Ahora, si bien la medición del consumo de oxígeno se hace con una alta precisión (2%), el ensayo depende por entero de las cualidades del individuo. Así por ejemplo, si el sujeto tiene gran habilidad y técnica para realizar la tarea, pues va a optimizar el gasto de energía, y por ende dará un consumo energético bajo, encontraríamos que la actividad realizada tiene un gasto de energía anormalmente bajo. La configuración anatómica y el nivel de entrenamiento del individuo, influyen poderosamente. Así, daría alto el gasto energético de una carrera de 30 minutos si como sujeto se emplea un pesista, por el contrario daría anormalmente bajo, si se emplea un maratonista.

---

### **BIBLIOGRAFIA**

1. Fisiología del trabajo físico, Astrand Rodahl, Editorial Panamericana, 1985.
2. Text book of Medical physiology, Best and Taylor, Editorial Saunders, 1988.