

La Mecánica del Karate

Principios de la física aplicados al Karate Do

Ing. Carlos Camacho Soto

Shito Ryu Joruma Kai

San José, Costa Rica



22 de julio de 2008

Resumen

Se realiza un análisis de algunos de los principios fundamentales de la mecánica clásica, rama de la física, que pueden explicar algunas de las técnicas y preceptos del Karate. Este arte marcial da gran énfasis a la velocidad con que se deben realizar las técnicas de tal manera que los movimientos deben ser sueltos y tensar el cuerpo únicamente al momento del impacto. También se enfatiza en adoptar una posición estable y baja que permita adquirir un mejor apoyo y un mayor despliegue de energía.

Muchas de las técnicas usadas en el Karate, sino es que todas, tienen un fundamento físico, que permite explicar la conveniencia de la ejecución siguiendo una forma determinada. Los grandes maestros estudiaron las características del cuerpo humano y sus capacidades

y luego de mucha observación y análisis llegaron a definir una forma óptima para obtener el mayor efecto posible. Por ejemplo, sin expresarlo en términos técnicos, los maestros enfatizaban en que se debía realizar los golpes con velocidad de rayo, porque sabían que para la energía desplegada en un golpe es más importante la velocidad de la técnica que el peso del cuerpo o la fuerza de músculo.

Por otro lado, la importancia de una práctica constante además de dotar al karateka de la velocidad y contundencia en sus golpes, ha de fortalecer su cuerpo para resistir la reacción que sobre su propio cuerpo tienen las fuerzas y golpes que propina.

Se realizan en el documento además, algunas comparaciones que ejemplifican y demuestran estos conceptos de la física implícitos en el desarrollo del Karate Do.

Las culturas orientales utilizan el concepto de energía interna o energía vital, llamada *chi* o *ki* la cual es ampliamente utilizada en sus artes marciales, tanto que el *kiai* es una parte fundamental de cualquier técnica bien ejecutada. Este flujo de energía y su aporte no serán tomados en cuenta en análisis presentado en este documento.

1. Introducción

El karate es un arte marcial cuyos orígenes se remontan al siglo XVII, cuando se amalgamaron los conocimientos milenarios de artes marciales provenientes de diferentes lugares de oriente, principalmente de China.

Los maestros que dieron forma al Karate moderno¹ estudiaron las características del cuerpo humano y su entorno, con lo que desarrollaron un arte de combate que utiliza de la manera más eficiente el cuerpo humano como arma, por lo que en cada movimiento y técnica los principios de la física se encuentran implícitos para obtener el mayor grado de efectividad.

Estaban concientes de que la velocidad de un golpe es más importante que la fuerza muscular que se le imprime, y reconocían la importancia de los puntos de apoyo, el equilibrio y la estabilidad a la hora de apear un golpe. Usaban principios de física como transmisibilidad de las fuerzas, el principio de acción y reacción, la conservación de la energía y cantidad de movimiento,

¹Los precursores de los 4 estilos de Karate Tradicional Japonés Moderno son Kenwa Mabuni fundador del estilo Shito Ryu, Gishin Funakoshi del Shotokan, Chojun Miyagi del Goju Ryu y Hironori Otsuka del Wado Ryu. Estos 4 estilos tienen sus raíces en los estilos de combate de Shuri, Naha y Tomari, originales de Okinawa

aunque no lo refirieran con estos términos.

1.1. Antecedentes

A raíz de los conocimientos adquiridos en mi carrera de ingeniería, mi Sensei Erick García² me propuso que realizara un análisis de los conceptos de la física que se aprovechan en la práctica del karate, como una mejor forma de explicar la pertinencia de muchas de sus enseñanzas, como por ejemplo:

- *...hay que hacer énfasis en la velocidad, hay que realizar las técnicas muy rápido y sin tensión; la tensión o kime se aplica al final del movimiento, en el momento del impacto, por solo un momento ...*
- *...cuando tiren una mawashi, roten el pie de apoyo para mejorar el balance ...*
- *...mantengan el centro de gravedad bajo para tener mayor equilibrio y mejor apoyo ...*
- *...cuando golpeen hay que adoptar una posición baja, con un zenkutsu bien largo ...*
- *...realizar un yori ashi relámpago, para desplazar todo el cuerpo a la máxima velocidad, esto da mayor fortaleza a los golpes ...*
- *...al golpear con tsuki se debe hacer el hikite con la misma velocidad y fuerza para aprovechar el principio de acción-reacción ...*
- *...al ejecutar la ushiro mawashi geri, la pierna que golpea debe ir extendida desde atrás, para aumentar la velocidad y potencia del golpe, además se debe bajar un poco el cuerpo para hacer de contrapeso al golpe ...*

Los grandes maestros del karate, por medio de la observación, la práctica constante y utilizando la prueba y error, aplicaron los principios básicos de la física en el desarrollo este arte, para dotarlo así del poder, eficacia y contundencia con que se le reconoce.

Ejemplos de la aplicación de dichos principios pueden ser:

²Arq. Erick García Jiménez. Sensei 4^o Dan Karate Do, estilo Shito Ryu. Líder de la Escuela Joruma Kai, San José Costa Rica. e-mail: egarcia@aya.go.cr

- El uso de palancas y puntos de apoyo para la transmisión y aplicación de la fuerza y los golpes.
- El efecto de la velocidad de los movimientos en la potencia y efectividad de las técnicas.
- La relación entre energía, fuerza, velocidad, movimiento y potencia.

Este documento es producto de esa sugerencia, que tiene como propósito ilustrar algunos de los porqué del arte del karate.

1.2. Objetivos

- Describir y analizar en forma breve los principios fundamentales de la física que se pueden identificar en el karate y que explican la razón de ser de algunos de los fundamentos del karate.
- Realizar una descripción breve de algunas técnicas fundamentales del karate, requerida para su análisis a la luz de los principios físicos.
- Realizar un análisis y relacionar los principios básicos de la física, con los del karate de tal forma que demuestre el conocimiento y sabiduría integral de los maestros que desarrollaron el arte.

1.3. Alcances y limitaciones

Este documento no pretende realizar un estudio exhaustivo de la física ni del karate, ya que estos temas por sí mismos constituyen una especialidad a la cual dedicarle varios años de estudio y práctica. Lo que se quiere lograr es ilustrar el conocimiento implícito en los movimientos de karate, con los cuales el cuerpo humano se convierte en una máquina poderosa; y a la postre obtener una mejor dimensión de lo que este eficaz arte marcial conlleva dentro de su filosofía. Claro está que en estos análisis y demostraciones no se va a tocar el tema de la energía vital, llamada chi o ki, que también es un componente nada despreciable de la energía transmitida en un golpe. Esto se debe a la dificultad que tenemos los occidentales en entender esos fenómenos. Los practicantes de ninjitsu afirman que ellos toman la energía de la tierra a través de sus pies y la canalizan hasta que sale por el punto de contacto con su oponente, su puño. Los cálculos y ejemplos presentados en los análisis no tienen el objeto de ser mediciones precisas

2. Karate

El karate es un arte marcial desarrollado a partir de los métodos de combate de las islas Ryukyu, de Okinawa junto con el Kempo y Kung Fú de China. Consiste primordialmente en golpes y bloqueos con el puño, pies, rodillas, codos y técnicas de mano abierta, pero las llaves, volteos, inmovilizaciones y técnicas de lucha también se practican. Es en definitiva un arte de defensa personal en el cual se entrenan en forma sistemática las manos y piernas para convertirlos en verdaderas armas, de tal manera que se puedan controlar los movimientos del cuerpo con libertad, soltura, uniformidad rapidez y potencia.

2.1. Principios del karate: Kihon, Kata, Kumite

El entrenamiento y práctica del karate se fundamenta en tres pilares: el Kihon, la Kata y el Kumite.

El Kihon en japonés significa fundamento. Este término se refiere a las técnicas básicas que se enseñan y son practicadas como base o fundamento de las artes marciales. La práctica y dominio del Kihon es esencial para cualquier entrenamiento avanzado y comprende principalmente las posiciones (Tachi waza), golpes y bloqueos (Atemi Waza y Keri waza). El Kihon debe ser practicado frecuentemente para lograr mejoras en todos los movimientos, incluso los más complejos.

La palabra Kata significa literalmente "forma" y describe un patrón de movimientos de karate realizados en solitario o en grupo. Pero no solo es eso. La Kata es la base y el objetivo del karate. Las katas conllevan una serie de movimientos y técnicas seleccionadas específicamente y tienen un significado consiso y profundo. Los principios primarios y los fundamentos del karate están implícitos en las katas, que van mucho más allá de las posiciones, desplazamientos golpes bloqueos y patadas. Un kata es un combate contra oponentes imaginarios, por lo que los valores morales de los individuos son de gran importancia. Al practicar las katas constantemente uno se da cuenta del verdadero significado de las técnicas. Este conocimiento nos permite la reacción automática correcta en cualquier situación. Además las katas son verdaderas estrategias de combate.

El Kumite es la puesta en práctica de las técnicas del karate: el combate. Es una de las tres secciones del entrenamiento del karate, en la cual se entrena contra un adversario las técnicas que se aprendieron durante el kihon y kata.

3. Física

La física es una rama de las ciencias naturales que se dedica al estudio de las leyes y principios fundamentales que rigen el funcionamiento del universo. Estudia las propiedades de la materia, la energía, el tiempo, el espacio y sus interacciones. En la física se estudia por lo tanto un amplio rango de campos y fenómenos naturales, desde las partículas subatómicas hasta la formación y evolución del Universo así como multitud de fenómenos naturales cotidianos, tales como el movimiento y la interacción de los cuerpos, la atracción gravitacional y caída de los objetos, la transformación de energía mecánica en electricidad, la propagación de la luz y el sonido, etc.

A su vez, la mecánica es la rama de la física que estudia las leyes que rigen el comportamiento de los cuerpos sometidos a fuerzas, es decir a los efectos de unos sobre otros, así como las leyes que determinan el movimiento y deformación de los cuerpos. La estática estudia las fuerzas que intervienen en el reposo y la dinámica estudia el movimiento.

El análisis realizado en este documento toma como base los principios de la mecánica clásica, también conocida como mecánica newtoniana, y para los efectos de este documento, será referida simplemente como Mecánica.

Algunos conceptos importantes de la mecánica son:

Fuerza cantidad física de tipo vectorial que representa la acción de un cuerpo sobre otro. La fuerza se mide en newtons $[N]$

Vector es representación de una cantidad física cuya característica principal es que tiene además de magnitud, una dirección y un punto de aplicación.

Masa cantidad de materia que constituye un cuerpo, la cual se mide en kilogramos $[Kg]$

Velocidad es la rapidez con que un cuerpo cambia de posición, o sea la rapidez con que se mueve. Las unidades de la velocidad son $[\frac{m}{s}]$, o sea cuantos metros avanza por cada segundo transcurrido. Por lo tanto cuando un objeto se mueve a velocidad constante, la ubicación de dicho objeto dependerá del tiempo transcurrido, según la siguiente fórmula: $x = vt$, donde x es la ubicación, v es la velocidad, y t es el tiempo transcurrido.

Aceleración es la tasa de cambio de la velocidad, o sea la rapidez con que aumenta o disminuye la velocidad, y sus unidades son $[\frac{m}{s^2}]$. La velocidad de un cuerpo en un instante determinado está dada por $v = v_0 + at$, en donde v es la velocidad del cuerpo en un instante t y v_0 es la velocidad inicial. Si el cuerpo está acelerado, la ecuación de la ubicación es $x = v_0t + at^2$. Para dar un ejemplo de como funciona la aceleración suponga una esfera que se sostiene en la mano a una altura de $2m$ sobre el suelo, que se suelta y se deja caer. Por efecto de la gravedad la esfera experimenta una aceleración de $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$. La distancia recorrida es de $x = 2m$ y la velocidad inicial es $v_0 = 0$, porque parte del reposo. Por lo tanto, si $x = at^2$, despejando, $t = \sqrt{\frac{x}{a}}$, o sea que el tiempo que dura la esfera en llegar al suelo es $t = 0,45s$; y la velocidad con que la esfera choca con el suelo es de $v = 0 + 9,81 \cdot 0,45 = 4,43 \frac{m}{s}$. Ahora bien, si se aumenta la altura inicial de la esfera, digamos al doble, o sea $x = 4m$, los resultados serían: $t = 0,63s$ y $v = 6,26 \frac{m}{s}$.

Peso La fuerza que ejerce la gravedad sobre un cuerpo, la cual depende de la masa, según la siguiente ecuación: $W = mg$, en la cual m es la masa del cuerpo y g es la aceleración debida a la atracción gravitacional.

Energía La energía se puede definir como la capacidad que tiene un objeto de realizar un trabajo y sus unidades son los julios $[J] = Kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m$. Esa capacidad para realizar trabajo puede entenderse como la capacidad para moverse, caer, chocar, deformar otro cuerpo, etc. Un julio equivale a 0,62 calorías.

Cantidad de movimiento Esta magnitud mide el ímpetu o impulso que tiene un cuerpo en movimiento, y es el producto de su masa por su velocidad. La cantidad de movimiento puede ser **lineal** si se mueve en línea recta, o **angular** si está en rotación. Si m es la masa del cuerpo, y v es su velocidad lineal, entonces la cantidad de movimiento es mv . La cantidad de movimiento angular es $I\omega$, en donde I es el momento de inercia angular (que es una magnitud relacionada a la masa del cuerpo) y ω es la velocidad angular.

3.1. Principios fundamentales de la mecánica

En el estudio de la mecánica, existen seis principios que son considerados los fundamentales.

Estos principios de la mecánica clásica se aplican para los cuerpos que sometidos a fuerzas experimentan deformaciones que son despreciables en relación a otros efectos como la aceleración y velocidad. A estos cuerpos se les llama cuerpos rígidos. El cuerpo humano no es un cuerpo rígido, sin embargo, se puede asumir que se comporta como tal en determinadas situaciones, tales como las analizadas en este documento.

3.1.1. Principio del paralelogramo de fuerzas

Este principio establece que las fuerzas se comportan como vectores, de tal forma que si a un cuerpo se le aplica una fuerza F_a , que desplaza al cuerpo del punto A al B, vease la Figura 1, y luego se le aplica una fuerza F_b que desplaza al cuerpo del punto B al C, el resultado sería el mismo que aplicar una fuerza $F = F_a + F_b$, o sea que el cuerpo se desplazaría de A hasta C.

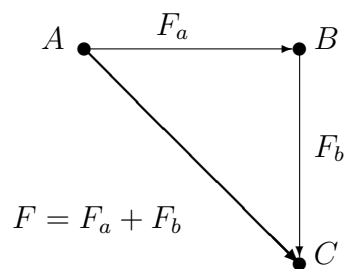


Figura 1: Paralelogramo de fuerzas.

3.1.2. Principio de transmisibilidad de fuerzas

Una fuerza se puede aplicar sobre un cuerpo rígido a lo largo de cualquier punto sobre una línea de acción y el efecto de dicha fuerza será el mismo.

O sea que una fuerza aplicada sobre un cuerpo rígido es independiente del punto de aplicación; solamente depende de la línea de acción de la fuerza. Esto quiere decir que para un cuerpo rígido es igual ser halado que ser empujado.

3.1.3. Primera Ley de Newton

Se conoce como la *ley de la inercia*, y establece que un cuerpo que se encuentre en estado de movimiento o reposo, tenderá a mantenerse en mo-

vimiento o reposo hasta que una fuerza externa lo cambie. Dicho de otra forma, para mover un cuerpo en reposo hay que aplicarle una fuerza, o para frenar un objeto en movimiento hay que aplicarle una fuerza. La magnitud de la fuerza dependerá de la cantidad de movimiento que tenga el objeto.

3.1.4. Segunda ley de Newton

La segunda ley de Newton se define con la siguiente ecuación:

$$F = ma \quad (1)$$

y establece que cualquier fuerza es igual a la masa del cuerpo multiplicada por la aceleración que este experimenta. Es decir que si un cuerpo en reposo de 70Kg de masa se somete a una fuerza lateral de 1000N, experimentará una aceleración de $14,3 \frac{m}{s^2}$. Si esa fuerza se mantiene por 2s, al cabo de ese tiempo el cuerpo viajará a $28,6 \frac{m}{s}$ lo que equivale a $100 \frac{Km}{h}$.

3.1.5. Tercera Ley de Newton

Esta ley se conoce como el principio de acción y reacción, y establece que toda acción produce una reacción igual y opuesta, es decir que cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, el otro cuerpo estará en forma simultánea aplicando una fuerza igual y opuesta sobre el primero. Cuando se golpea con determinada fuerza el efecto de esa fuerza se recibe con igual magnitud, por lo tanto se debe tener preparado el cuerpo para soportar tanto dar como recibir golpes.

3.1.6. Ley de la gravitación Universal

La ley de la gravitación universal establece que existe una atracción entre todos los cuerpos del universo que es debida a la masa. Objetos con mayor masa tendrán mayor fuerza. Las fuerzas gravitacionales son muy leves, por lo que cuerpos del tamaño de personas, vehículos y edificios tendrán poco efecto entre si, sin embargo el efecto de los planetas y estrellas, en vista de su inmenso tamaño y masa si son apreciables. La fuerza que ejerce la tierra sobre nosotros si es apreciable, y es la que nos mantiene en su superficie y es la responsable de la caída de objetos. La fuerza y la energía de la acción gravitacional está dada por

$$W = mg \quad (2)$$

En donde W es la fuerza de la gravedad, o sea el peso del cuerpo, m es la masa de dicho cuerpo y g es la constante gravitacional $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.

$$U = mgh \quad (3)$$

U es la energía que tiene el objeto en términos de su ubicación h con respecto de un nivel de referencia. Para ejemplificar esta energía, un objeto de $1Kg$ colocado en el suelo tiene energía potencial $U = 0J$, pero ese mismo objeto, colocado en una mesa a $1m$ del suelo tendrá $U = 1Kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot 1m = 9,81J$ de energía potencial, o sea casi 10 veces más energía, que puede ser usada, para obtener velocidad, si se deja caer ese objeto desde esa altura la energía potencial se convertirá en cinética y el objeto chocará con el suelo a $4,4 \frac{m}{s}$ o sea $16 \frac{Km}{h}$.

3.2. Conservación de la cantidad de movimiento

En el choque de cuerpos se transfiere energía e impulso de un cuerpo a otro. La transferencia de energía de un cuerpo a otro se da durante el tiempo del impacto en términos de intercambio de cantidades de movimiento. Si un objeto 1 de la Figura 2 cuya masa es de $10Kg$ viaja a $1 \frac{m}{s}$ tendrá una cantidad de movimiento $mv = 10Kg \cdot \frac{m}{s}$. Luego, si este objeto choca con un objeto 2 de $5Kg$ que se encuentra en reposo de tal forma que el objeto 1 rebota con una velocidad de $0,5 \frac{m}{s}$, la transferencia de cantidad de movimiento hará que el objeto 2 salga expelido a una velocidad de $3 \frac{m}{s}$. Lo que se puede inferir es que un cuerpo de menor tamaño que viaja a mayor velocidad tiene el mismo efecto que un objeto mayor viajando a menor velocidad. Esto implica además que no hay que despreciar el peso del oponente, pero que con velocidad se puede equiparar fuerzas.

3.3. Energía

La energía es una cantidad física que representa la capacidad que tienen los objetos de realizar un trabajo, como por ejemplo caer o chocar. Hay varios tipos de energía "almacenada" en los objetos: cinética: energía del movimiento, potencial: energía de la posición, térmica, gravitacional, luminosa eléctrica, nuclear y otras. La energía total del universo se puede transformar de un tipo a otro, pero en total la energía no se crea ni se destruye; para usar energía hay que tomarla de otra parte.

Para el estudio presente nos interesan 2 tipos de energía: la potencial y la cinética.

La energía potencial se debe a la altura que tiene un objeto con respecto al suelo, y está dada por:

$$E_v = m \cdot g \cdot h \quad (4)$$

En donde m es la masa de un cuerpo, g es la aceleración que experimentan los cuerpos debida a la atracción de la gravedad y h es la altura a que se encuentra el objeto. Por ejemplo un objeto de un kilogramo que se encuentra a 1 metro sobre el suelo, digamos en una mesa, tiene una energía potencial de $E_v = 9,81J$, pero si el cuerpo se encuentra a $10m$ de altura, su energía será $E_v = 98,1J$.

La energía cinética que tiene un cuerpo en movimiento está dada por la ecuación:

$$E_k = \frac{1}{2}m \cdot v^2 \quad (5)$$

En donde m es la masa del cuerpo y v es su velocidad. La energía total de los cuerpos es una constante. Así, el objeto sobre la mesa del ejemplo anterior, como está inmóvil tiene energía cinética de $E_k = 0J$, por lo que su energía total es $E_t = E_v + E_k = 9,81J$. Si el objeto sobre la mesa se deja caer al suelo, su energía potencial se convertirá en cinética a medida que cae, de tal forma que al llegar al suelo toda su energía potencial se habrá convertido en cinética. Si se despeja la velocidad tenemos que en el instante del impacto el objeto irá a $v = 4,43 \frac{m}{s}$ que equivale a $v = 16 \frac{Km}{h}$. Por otro lado, si dejamos

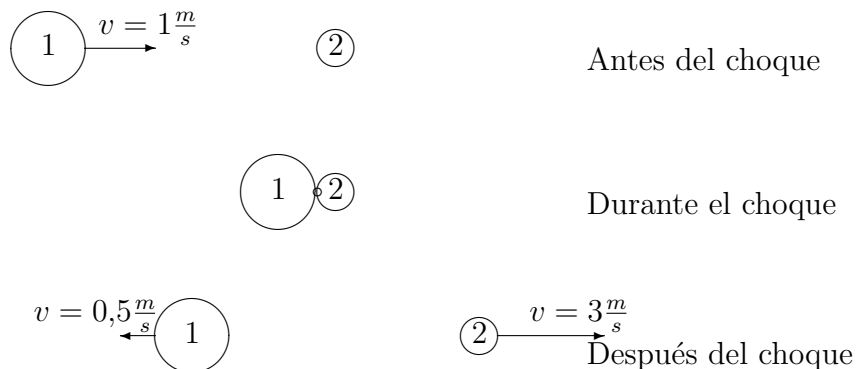


Figura 2: Choque de objetos.

caer el objeto que se encuentra a 10m de altura, su velocidad de impacto será $v = 14 \frac{m}{s}$, más o menos $v = 51 \frac{Km}{h}$. Esta es la razón por la que caer desde una altura de más de 10 metros es mortal.

4. Física y Karate

Con el fin de ilustrar los conceptos físicos del Karate, se expondrán a continuación algunas de las técnicas más comunes y se realizará un análisis de los conceptos implícitos en la técnica cuando se ejecuta en forma correcta.

La fuerza de la persona que ejecuta los golpes de karate es importante, pero lo que nos interesa aquí es demostrar cuales conceptos se usan en karate para incrementar la eficacia y eficiencia de las técnicas. Los golpes de los boxeadores, basados en la fuerza muscular del ejecutante pueden ser devastadores, sin embargo en el karate se persigue lograr efectividad no solamente basado en la fuerza sino en el aprovechamiento de la velocidad y la energía. Como se van a analizar las energías y fuerzas de los golpes con algunas partes de cuerpo, en Cuadro 1 se muestran los valores promedio de los porcentajes de peso de partes del cuerpo para hombres y mujeres.

Cuadro 1: Peso porcentual de las partes del cuerpo.

Parte del cuerpo	Hombre	Mujer
Cabeza	6,94	6,68
Tronco	43,46	42,57
Brazo	2,71	2,55
Antebrazo	1,63	1,38
Mano	0,61	0,56
Muslo	14,17	14,78
Pantorrilla	4,33	4,81
Pie	1,37	1,29

Fuente: Walker[6]

4.1. Golpe de karate con la mano

Cuando se realiza un tzuki, se busca que el movimiento de la mano sea muy suelto, de tal manera que el puño se desplace a la mayor velocidad y

que solo en el momento del impacto se tensen los músculos para dotar al golpe de una mayor fuerza, o sea el kime. El fundamento de esta técnica es la conservación de la cantidad de movimiento lineal, que estipula que la fuerza de un impacto se debe a 2 componentes principales: la masa del cuerpo y la velocidad que lleva. Un golpe es más fuerte si tiene mucha mása o si se logra gran velocidad, o ambas cosas. Es poco lo que se puede hacer para que nuestro puño sea más pesado, pero con entrenamiento si podemos aumentar la velocidad de los golpes. Con respecto a la energía, la velocidad tiene aún mayor importancia ya que la energía de es función del cuadrado de la velocidad. Para demostrar la importancia de la velocidad de la técnica se muestra el Cuadro 3.

Del Cuadro 3 se puede observar claramente como la masa tiene influencia sobre la energía del golpe, por lo tanto a la hora de acestar un tzuki, hay que tratar de golpear con *todo el cuerpo*, es decir usando mas masa, utilizando la energía del puño, del brazo, caderas y tronco. Pero lo más visible es que un pequeño aumento de la velocidad produce gran aumento de energía. Por esta razón una bala siendo tan pequeña y de tan poco peso puede matar a una persona, al igual que ser atropellado por un vehículo aún a la velocidad de 25Kph correspondiente a zona escolar o una bicicleta de carreras.

En los Cuadros 4 y 5 se calcula la energía teórica máxima desarrollada por un maestro, que tiene suficiente concentración o *kime* para transmitir gran parte de su energía al golpe, de tal forma que en el momento del impacto todo su cuerpo se comporta como un solo *cuerpo rígido*. Se desprecia la masa de la cabeza porque no interviene en el impacto, y la de las piernas porque

Cuadro 2: Velocidad de algunas técnicas de karate en $\frac{m}{s}$.

Técnica	v_{min}	v_{media}	v_{max}
Tzuki	5,7	7,75	9,8
Otoshi tetsui uchi	10	12	14
Otoshi shuto uchi	10	12	14
Mae geri	9,9	12,15	14,4
Yoko geri	9,5	11,95	14,4
Mawashi geri	9,5	11,75	14
Ushiro geri	10,6	11,3	12

Fuente: Diacu[4]

su masa colabora en el equilibrio y no en el golpe (al menos no totalmente). Nótese que la velocidad del puño se ve aumentada por la velocidad del tronco del karateka, al igual que la del brazo.

Cuadro 3: Energías cinéticas de algunos cuerpos.

Cuerpo y acción	m	v	M	E
Puño hombre 70Kg	0,43	5,7	2,45	6,98
Puño hombre 90Kg	0,43	7	3,01	10,5
Puño maestro 70Kg	0,43	9,8	4,21	20,6
Pie hombre 70Kg	0,96	9,9	9,49	47
Pie hombre 90Kg	1,23	9,9	12,21	60,4
Pie maestro 70Kg	0,96	15	14,39	107,9
Bala calibre .38	0,14	180	24,3	2187
Corredor velocidad	70	10	700	3500
Caer de 10m de altura	70	14	980	6867
Ciclista a 50Kph	75	16,67	1250	10420
Automóvil a 25Kph	1000	7	7000	24500

Fuente: el autor.

m=Masa en $[Kg]$, v=Velocidad en $[\frac{m}{s}]$, m=cantidad de movimiento en $[Kg \frac{m}{s}]$ y E=Energía en $[J]$

Cuadro 4: Energía de un tzuki por un karateka maestro de 70Kg, masculino.

Componente	m	v	E
Puño	0,43	19,8	84,25
Brazo	1,89	19,8	371,44
Tronco	30,42	10	1520,96
Total	-	-	1976,65

Fuente: el autor

Cuadro 5: Energía de un tzuki por una karateka maestro de 70Kg, femenina.

Componente	m	v	E
Puño	0,39	19,8	76,84
Brazo	1,79	19,8	349,9
Tronco	29,8	10	1489,95
Total	-	-	1916,69

Fuente: el autor

De la revisión de los Cuadros 4 y 5 se nota que el poder del *tzuki* no yace en el puño, que representa un porcentaje pequeño, sino en la transferencia de la energía cinética del cuerpo del karateka hacia el punto de impacto que es el puño. Es evidente que más potente será el golpe cuando mayor velocidad adquiera el karateka en el desplazamiento y cuanto mayor tensión aplique en el momento del contacto que permita enfocar una mayor porción de su energía en el punto de contacto: los *daikentos*. Si el karateka no logra tensar sus músculos lo suficiente, parte de la energía se disipará en forma de amortiguamiento en las articulaciones de codos, hombros y muñeca.

4.2. Golpe de karate con el pie

Cuando se ejecutan técnicas de pie, el solo hecho de contar con una mayor masa hace que estos golpes sean más poderosos. Sin embargo si no se cuenta con un buen apoyo, a la hora de golpear habrá un desequilibrio de fuerzas que hace menos efectiva la patada. Si se rota el pie de tal forma que se mejore el apoyo, el efecto de la patada hacia adelante no se convertirá en retroceso y pérdida de fuerza, sino mayor impacto. Así las cosas la patada más fuerte que se puede dar está limitada por la fuerza y equilibrio del pie de apoyo.

En el caso de patadas rotatorias como la *ushiro mawashi geri*, gran parte de su fortaleza radica en agregar al componente de velocidad y fuerza del pie un componente extra, la energía rotacional. La conservación de la cantidad de movimiento angular conjuntamente con cantidad de movimiento lineal son las responsables de que estas patadas sean aún más fuertes. El cuerpo al rotar en una fracción de segundo adquiere una energía rotacional que se transmite a la hora del choque. Para un karateka de $70Kg$, que tiene un momento de inercia aproximado de $I_k = 4,5 \frac{Kg}{m^2}$, y que puede girar en un $\frac{1}{4}seg$, la energía total aplicada en una *ushiro mawashi geri*, calculada según la ecuación 6, puede ser devastadora, tanto como caer de una altura de $10m$:

$$E = \frac{35}{2} \cdot 14^2 + \frac{4,5}{2} \cdot 4,5 \cdot \frac{2\pi}{0,25s} = 4860J$$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I_w\omega^2 \quad (6)$$

4.3. Golpes con desplazamiento

Al desplazar nuestro cuerpo hacia adelante mientras se ejecuta una técnica, estamos agregando un componente de fuerza y energía a los golpes producto de la energía cinética de nuestro cuerpo y la cantidad de movimiento

adicional. Si el cuerpo pesa $70Kg$ y nos desplazamos en yori ashi a una velocidad de $5\frac{m}{s}$ estaremos agregando una energía extra de $E = \frac{1}{2}70 \cdot 5^2 = 875J$. Esto equivale a un 45 % extra de energía. la energía aplicada a un golpe se puede incrementar aún más si se realizan técnicas de salto la velocidad que se puede adquirir por un maestro puede llegar hasta los $10\frac{m}{s}$, con lo que la energía agregada a la técnica podría llegar a $3500J$, o sea más de 150 %. La velocidad es importante.

4.3.1. Efecto de una buena posición

Si se tiene un centro de gravedad bajo, la fuerza de apoyo con el suelo aumenta, y este apoyo es el soporte contra el cual se contrarresta el efecto de retroceso en el intercambio de golpes, que ocurre por el principio de acción - reacción. Si aplicamos una fuerza, la del golpe, el objeto golpeado nos ejerce una fuerza igual y opuesta. Si no contamos con un buen apoyo, esa fuerza reactiva nos empujaría hacia atrás perdiendo la contundencia del golpe y hasta el equilibrio. Con un buen apoyo, "pie de amigo", se logra que la reacción sea transmitida al suelo: logrando mejor balance y estabilidad en las técnicas.

4.3.2. Efecto de la velocidad

Recordando que la ecuación para la energía cinética o de movimiento que posee un cuerpo está dada por la ecuación:

$$K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (7)$$

se puede observar que la energía de un golpe depende del peso del puño y de la velocidad con que viaja dicho puño antes de impactar. Poco o nada podemos hacer para aumentar la masa de nuestro puño, sin embargo podríamos aumentar muchísimo la energía de nuestros golpes con solo mejorar su velocidad. Es importante notar que la energía cinética depende del cuadrado de la velocidad, esto es que si duplicamos la velocidad de nuestros golpes estaríamos cuatriplicando la energía desarrollada en ellos.

Por ello una persona que parece endeble, liviana o poco fuerte físicamente, puede a base de un incremento en su velocidad golpear tanto o más fuerte que una persona corpulenta. Por ejemplo suponga un karateka hombre de $90Kg$ de peso, cuyo puño pesa aproximadamente $0,43Kg$, que desarrolla

un tsuki de $5,7\frac{m}{s}$ de velocidad, lo cual es normal en los principiantes. Con esta velocidad y su peso, su puño desarrolla una cantidad de movimiento de $mv = 0,43Kg \cdot 5,7\frac{m}{s} = 2,45Kg\frac{m}{s}$ y una energía de $E = 0,43Kg \cdot (5,7\frac{m}{s})^2 = 6,98Kg\frac{m}{s^2}$. Ahora suponga una mujer maestra en karate de $60Kg$ quien tiene en promedio una velocidad en sus tzukis de $9,8\frac{m}{s}$. Con un peso de puño de solamente $0,34Kg$, desarrollará a causa de la velocidad de sus técnicas una cantidad de movimiento de $mv = 0,34Kg \cdot 9,8\frac{m}{s} = 5,49Kg\frac{m}{s}$ y una energía de $E = 0,34Kg \cdot (9,8\frac{m}{s})^2 = 26,89Kg\frac{m}{s^2}$. O sea la mujer un tercio menos corpulenta que el hombre puede desarrollar un golpe de una fuerza 2.25 veces mayor y de una energía 3.85 veces mayor que la del hombre si entrenamiento.

La energía potencial de pasar de heiko a zenkutzu dachi se agrega a la energía cinética del impacto. Al bajar o pasar de heiko dachi a un zenkutzu dachi largo, el centro de gravedad "cae" al menos unos 30cm. Para una persona de $70Kg$ esto representa una energía potencial extra de $206J$ añadida al impacto en forma de energía cinética. Esta energía extra representa de un 10 a un 15 % más de efectividad.

5. Conclusiones

A partir de los postulados de la física se pueden obtener las siguientes conclusiones en términos de la aplicación al Karate y otras Artes Marciales..

- Entre mas grande sea la masa del cuerpo, ya sea brazo, puño, pierna o pie, mayor es la energía generada y transferida en el golpe. O sea que nunca hay que despreciar el tamaño del openente. Sin embargo es poco lo que podemos hacer para ganar masa.
- Entre mayor sea la caída mayor es la energía desarrollada. Cuando se realiza un gyaku tzuki, al pasar de heiko dachi a zenkutzu dachi bien bajo, la distancia que el cuerpo baja o cae, representa una cantidad de energía potencial que se convierte en cinética y de la cual una parte se transfiere en el golpe dándole más poder, el cual será mayor entre más se baje en el zenkutzu.
- Entre mayor sea la velocidad de la técnica mayor será la energía y la contundencia del golpe. La velocidad tiene mayor importancia que la

masa, en vista de que la energía es proporcional al cuadrado de la velocidad, esto significa que si se logra duplicar la velocidad de una técnica su efecto se cuadriplicará. Esto denota la importancia que reviste el entrenamiento de la técnica correcta, con soltura, movimiento de caderas y aplicando el kime solo al final en el preciso momento del impacto, cuando se ha logrado adquirir gran velocidad en el puno o pie.

- Entre más larga la trayectoria del golpe, mayor es la velocidad y por lo tanto mayor la energía. Esto significa que para lograr el mayor efecto, se debe tratar de dar el golpe cuando el brazo o pie esté lo más extendido posible, para garantizar que el golpe sea el mayor posible. Además implica que el golpe es mayor si se parte desde una posición retraída, como el hikite, o en las patadas cuando se parte desde atrás o realizando resorteo del pie: en mae geri lo mejor sería levantar la rodilla, pegar el talón a los glúteos y soltar la patada, para que la trayectoria sea más larga y llegar con más velocidad. Esta es la razón por la cual una parada ushiro geri o ushiro mawashi geri tienen tanta potencia, la trayectoria que describe el pie es más larga y se desarrolla de tal forma que al contacto la velocidad del pie es muy alta, más que en cualquier otra patada, y más aún si tomamos en cuenta la energía rotacional del tronco del cuerpo, que también se transmite al impacto.
 - Entre más larga la trayectoria, mayor es el tiempo. Esto implica que intentar dar un golpe contundente puede hacer que la técnica tome más tiempo, y por lo tanto que se nos pueda aventajar. Patear con la pierna de atrás es más poderoso, pero toma más tiempo que patear con la de adelante, que a pesar de ser menos potente es más sorpresiva y hay grandes posibilidades de impactarla con éxito. Lo mismo ocurre con el kizami y el gyaku tzuki, el primero es más rápido pero menos poderoso que el segundo. Cuando un oponente tiene miembros más cortos, la realización de las técnicas será más rápida, pero tiene menos alcance y potencia.
 - Entre más firme es la posición mayor efectividad tienen las técnicas. Si la posición es enbeble, el cuerpo no tendrá capacidad para soportar la reacción que sobre el cuerpo se ejerce. Cuando golpeamos al contrincante, recibimos una fuerza igual y opuesta, que si es superior a nuestra estabilidad nos tenderá a tirar hacia atrás, desperdiciando toda
-

la energía de nuestro golpe o bloqueo. No se puede golpear más fuerte de nuestra propia estabilidad.

- Se puede transmitir la energía cinética del movimiento del cuerpo a los golpes, tratando de tensar los músculos del cuerpo la fracción de tiempo durante la cual ocurre el impacto. De esta forma se puede aprovechar la naturaleza vectorial de la fuerza y la cantidad de movimiento. El solo golpe del puño no es suficiente, pero si se le añade el componente muscular del brazo, el peso del hombro y el tronco, la energía de movimiento del cuerpo y su peso y el movimiento de cadera se tiene el resultado del golpe de karate contundente, capaz de romper una tabla o ladrillo.

Referencias

- [1] Beer, F. Johnston, E. **Mecánica Vectorial para Ingenieros: Estática**. 4ªEd. McGraw-Hill, USA, 1984.
- [2] Beer, F. Johnston, E. **Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica**. 5ªEd. McGraw-Hill, USA, 1990.
- [3] Demura, Fumio. **Shito Ryu Karate**. Black Belt Books, Ohara Publications, USA, 1971.
- [4] Diacu, F. **On the dynamics of karate** Pi in the Sky, Vol 6, p. 9-11, 2003
- [5] Nakayama, M. **Karate Superior: Compendio**. Ediciones Tutor, Madrid, 1977.
- [6] Walker, J. D. **Karate Strikes** AJP Vol. 43, 10, Oct. 1975
- [7] Chananie, J **The physics of karate strikes** Journal of How Things Work, Vol.1, University of Virginia, 1999.
- [8] Gutiérrez, R. Rubio, A. Palao, L. **Karate Shito Ryu 5 Katas Superiores**, Los Puntos Esotéricos de Trángulaci3n de Sanchin. Editorial Alas, Espa1a, 1984.