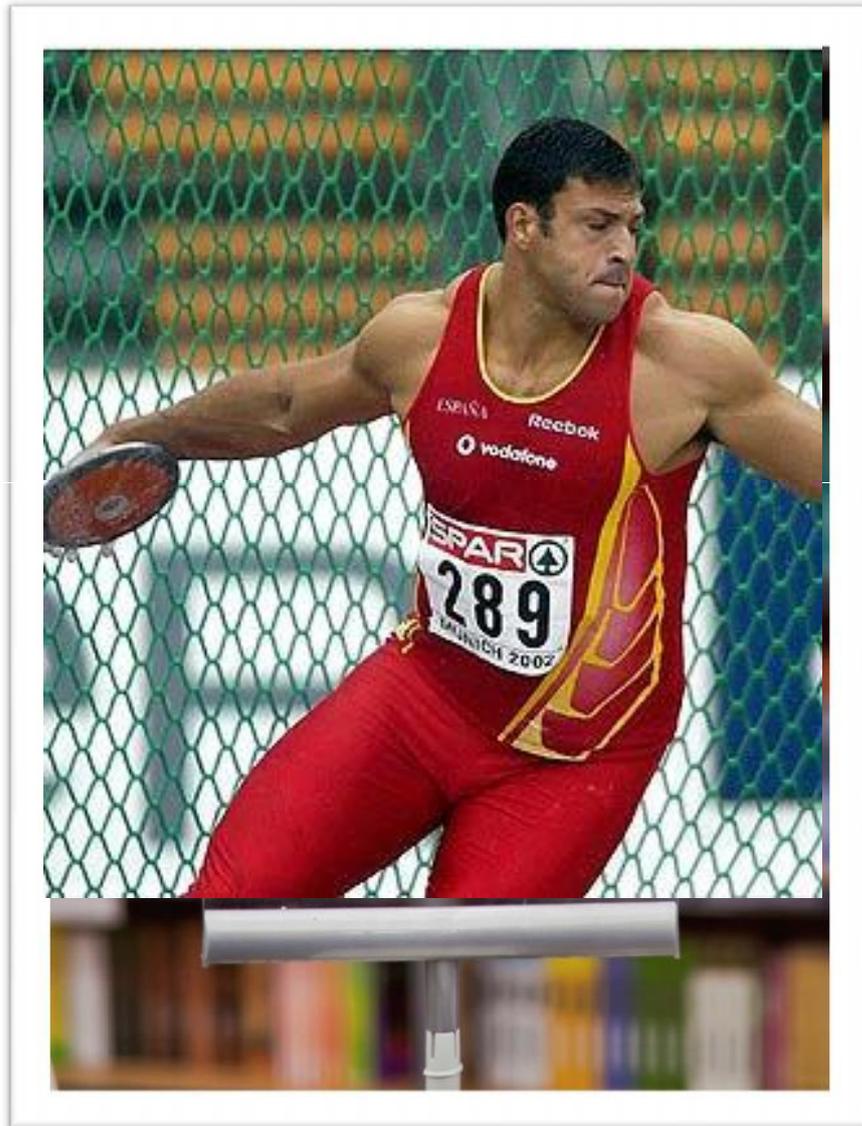
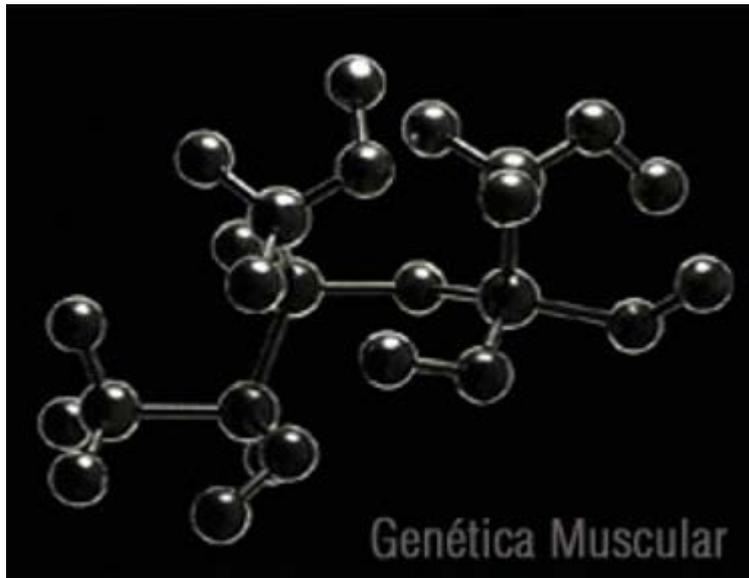


LA FUERZA DESDE LA BIOMECANICA Y LA FISIOLOGIA



Dr. Marcelo Gomez



www.geneticamuscular.com

Acerca del Autor



DR. MARCELO ESTEBAN GOMEZ

Diploma de Honor Universidad de Buenos Aires

M.N.86.148 – M.P. 444.185

Médico Especialista en Medicina del Deporte

Médico Especialista en Biomecánica y Fisiología Deportiva

Médico Especialista en Endocrino-Farmacología y Suplementación Deportiva

Médico Especialista en Traumatología y Ortopedia

Docencia

- Docente a cargo del curso “Farmacología y Suplementación en el Deporte” Human Sport Medicine (1998 - 1999)
- Docente a cargo del curso “Evaluación Fisiológica del deportista de Alto Rendimiento ” - Ciencia Médica Deportiva (CIMDEP) (2000 - 2002)
- Docente del Área Perspectiva Biológica del Profesorado de Educación Física del Instituto Superior Palomar de Caseros (2002 - 2004)
- Docente del Curso “Farmacología General Aplicada al Deporte de Alto Rendimiento” del Centro de Capacitación Master Fitness (2002 - 2004)
- Docente del Curso “Farmacología Deportiva “Instituto CIMA (2003 – hasta la fecha)
- Docente a cargo del curso “Fisiología y Farmacología del Desarrollo Muscular ” (Sociedad Argentina de Medicina del Deporte SAMD) (2003 - 2004)
- Docente de la carrera de “Médico Especialista en Medicina del Deporte “del Colegio Médico de la Ciudad de Buenos Aires - Área Farmacología y Doping Deportivo - (Director Médico: Dr Néstor Lentini) (2003 - hasta la fecha)
- Profesor Adjunto de la Cátedra “Fisiología del Esfuerzo” Profesorado de Educación Física Dr. José Ingenieros - Obras Sanitarias - CABA (2003 – 2004)
- Jefe de Trabajos Prácticos de la Cátedra “ Biomecánica y Análisis del Movimiento ” Profesorado de Educación Física Dr. Jose Ingenieros - Obras Sanitarias - CABA (2003 – 2004)
- Profesor Adjunto de la Cátedra “Entrenamiento Deportivo” Profesorado de Educación Física Dr. José Ingenieros - Obras Sanitarias - CABA (2003 – 2004)
- Docente del Curso de Musculación Deportiva Biodeport (Dr. Mazza 2004)
- Docente del Curso Técnico en Musculación Deportiva Biobodyx (2002 - hasta la fecha)

- Titular de la Cátedra “Farmacología, Nutrición y Suplementación Deportiva “Instituto Biodyx - Investigaciones Médico - Deportivas - (2004 - hasta la fecha)
- Profesor Titular de la Cátedra “Bioquímica Deportiva ” de la Licenciatura en Educación Física con Orientación en Fisiología del Trabajo Físico - Universidad del Aconcagua – Mendoza (Director Médico: Dr. Néstor Lentini - 2005)
- Disertante en el “Simposio Internacional de Fuerza, Potencia y Velocidad en Deportes Competitivos y Seminario de Suplementación en el Deporte de Fuerza y Potencia “ Julio 2005 “Monohidrato de Creatina: Revisión y Fundamentos de su uso en el Deporte de Alto Rendimiento”
- Docente Titular de la Cátedra “Farmacología Deportiva “ Advance Learning Group (ALG - Chile) 2005
- Docente del Grupo Sobre Entrenamiento - Grupo de Recursos sobre Ciencias del Ejercicio (2006 - hasta la fecha)
- Docente de Cursos de Postgrado de la Universidad de Flores UFLO - Buenos Aires 2007
- Director Médico de la Fundación “Saturn Supplements” Organismo Dedicado a la Investigación y Docencia en el Área Médico - Deportiva - Buenos Aires 2007
- Director Médico del Departamento de Biomecánica y Fisiología del Centro de Alto Rendimiento Deportivo en Deportes de Combate **Corpo Sao** Buenos Aires
- Director Médico del Departamento de Biomecánica y Alto Rendimiento del Club Atlético River Plate.

Agradecimientos

Muchas veces medité y me pregunté qué es lo esencial en la vida de los seres humanos.

Hoy siento que, en definitiva todo se centraliza en aquello que sentimos por quienes hacen posible que nuestra existencia cobre sentido.

Por eso, quiero dedicar este humilde trabajo a mi mamá Teresa, que con su presencia e inquebrantable espíritu combativo que compartió a mi lado mis angustias y mis alegrías.

A mi padre Esteban, que a su manera, supo acompañarme y nunca me abandonó .

A mi hija Sofia Agustina, en quién veo una luz brillante de esperanza, que me emociona cuando la veo crecer y que reafirma mi concepto respecto de lo que considero realmente lo más importante en la vida: El afecto y el amor por nuestros seres queridos

Introducción

El desarrollo de la **fuerza** y de la **hipertrofia** es un tema que genera fuerte polémica. La fuerza, como expresión motora es, quizás, una de las manifestaciones más difíciles de entender y aplicar, por su fuerte asociación con la Física y la Matemática.

Es normal escuchar como numerosos atletas y entrenadores utilizan términos como **potencia**, **velocidad y aceleración**, sin un concepto claro y preciso de su significado. Por otra parte, la comprensión profunda de los fundamentos fisiológicos asociados al desarrollo de la fuerza es condición necesaria para todo aquel interesado en planificar correctamente un protocolo de trabajo relacionado con el desarrollo de todas las manifestaciones posibles de la fuerza.

Aunque todavía faltan aclarar numerosas cuestiones, existe material suficiente como para intentar avanzar en la comprensión de los eventos fisiológicos asociados.

Por otra parte, la hipertrofia cobra cada vez más interés, sobre todo por su fuerte incidencia en la sociedad como valor estético, además de las cuestionables prácticas asociadas al uso de sustancias anabolizantes.

Este es el motivo que me lleva a redactar este ebook. Mi propósito es el de brindar de manera clara los fundamentos biomecánicos, físicos y fisiológicos para una mejor comprensión y análisis de las causas que posibilitan la mejora del rendimiento deportivo .

Dr. Marcelo Esteban Gómez

FUERZA: DEFINICIÓN Y CONCEPTO

La fuerza puede tomar dos definiciones; una relacionada con la Física y otra relacionada con la Fisiología.

Desde el punto de vista de la física, decimos que se manifiesta una fuerza cuando hay **algo** que es capaz de iniciar o detener el **movimiento** de un objeto. O que ese “ algo “ es capaz de modificar la **velocidad** de dicho objeto , ya sea aumentándola o disminuyéndola, o cuando se produce algún **cambio de dirección**, o cuando vemos que el resultado de una fuerza produce **deformación** del objeto en cuestión.

En otras palabras, movimiento, velocidad, deformación son términos asociados a la manifestación de la fuerza y que, como veremos más adelante, son conceptos de vital importancia en la comprensión de los eventos mecánicos relacionados con la contracción muscular.

Desde el punto de vista de la fisiología, la fuerza está fuertemente asociada al concepto de **Tensión**.

La tensión representa la deformación provocada por la aplicación de una fuerza y que se manifiesta como **estiramiento / compresión** de las estructuras que soportan dicha fuerza. En otros términos, la tensión representa el grado de estrés mecánico que se produce a lo largo del eje longitudinal del músculo, provocado por las fuerzas internas que intentan estirar o separar las estructuras moleculares tanto de músculos como de sus tendones respectivos.

Revisando los conceptos anteriores, podemos ver que la definición de fuerza desde el punto de vista de la Física Mecánica, está asociada a agentes **externos**, mientras que desde el punto de vista Fisiológico, la definición de fuerza está representada por fenómenos **internos**.

Cuando nos referimos a agentes externos, nos referimos a un objeto y a su estado de **inercia** (estado de movimiento o de reposo), o a la fuerza de **gravedad**, o a la capacidad de un músculo de vencer una **resistencia**.

Por el contrario, la fuerza asociada a fenómenos internos, no necesariamente tiene que ver con las fuerzas gravitacionales, resistencias a vencer o estados de reposo o

movimiento de un objeto, sino que está vinculada a la deformación, aún con ausencia de movimiento.

Por lo tanto no solo ejercemos fuerza cuando tiramos o empujamos de algo, sino que también hacemos fuerza a pesar de no lograr mover un objeto cuando tiramos o empujamos de él. (Isometría = igual medida / sin movimiento aparente)

Uno de los conceptos más importantes que introdujo Newton fue el hecho de relacionar la fuerza con dos variables, a saber: **masa y aceleración**

El concepto de masa suele estar asociado al peso, pero lo cierto es que esta relación se cumple si se respeta la acción de gravedad que ejerce la tierra sobre todos los objetos que se encuentran sobre su superficie. Es bien sabido que el peso disminuye a 1/6 sobre la superficie lunar por la disminución de la fuerza gravitatoria que ejerce la masa lunar sobre la masa de los objetos ubicados en su superficie.

Por lo tanto, la masa es sinónimo de **cantidad de materia**, y no depende de la atracción de masas. Si quiero **comprimir** cierta masa, la misma ejercerá una resistencia a ser comprimida en cualquier lugar del universo del igual magnitud.

La aceleración esta asociada a la velocidad. Recordemos que la **velocidad** (rapidez, cuando no le asignamos dirección y sentido alguno), es la **distancia recorrida en función del tiempo** : $v = d / t$

En otras palabras, para cada unidad de tiempo, corresponderá una cierta cantidad de distancia recorrida.

Pero cuando expresamos la **velocidad en función del tiempo**, nos hallamos frente al concepto de **aceleración**, que representa los cambios de velocidad por unidad de tiempo: $a = v / t$

Para poder ejemplificar esto, imaginemos el desplazamiento de un objeto sin resistencias que se opongan a dicho desplazamiento (en el vacío)

Si la velocidad inicial (V_0 = Velocidad Cero) es modificada por una fuerza, obtenemos un desplazamiento con una velocidad final (V_f = Velocidad Final) que se mantendrá constante hasta que otra fuerza aumente o disminuya su velocidad o directamente lo haga detener.

Por lo tanto **cuando la velocidad es constante, la aceleración es igual a 0**. Para que exista aceleración, necesitamos de una fuerza que produzca cambios de velocidad en función del tiempo. Si hay aceleración (o desaceleración), la velocidad nunca puede ser constante.

Si la fuerza la podemos expresar como el desplazamiento de una masa (ej. mancuerna) con una aceleración determinada, si no hay aceleración, podríamos decir que no se ejerce una fuerza. Pero en realidad, la observación de un desplazamiento es externo al **sistema músculo-tendón-hueso**. A este nivel, existe **acortamiento** del músculo y **alargamiento** del tendón, es decir deformación, por lo tanto, aunque no veamos un desplazamiento, se ejerce fuerza por el estrés mecánico que provoca deformación. A continuación vemos un cuadro que resume los aspectos relacionados con la definición de fuerza.

FUERZA Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

$$\text{FUERZA} = \text{MASA} \times \text{ACELERACIÓN} \quad a = \Delta V / T$$

1- CAUSA CAPAZ DE MODIFICAR EL ESTADO DE REPOSO O DE MOVIMIENTO DE UN CUERPO (INERCIA)

2- CAPACIDAD DE DEFORMAR UN CUERPO:

COMPRESIÓN (INTENTO DE UNIR MOLÉCULAS)

TENSIÓN (INTENTO DE SEPARAR MOLÉCULAS)

FUERZA MUSCULAR : CAPACIDAD DE LA MUSCULATURA PARA

1- DEFORMAR UN CUERPO

2- INICIAR O DETENER EL MOVIMIENTO DE UN CUERPO

3- AUMENTAR O REDUCIR SU VELOCIDAD (ACELERACIÓN)

4- CAMBIO DE DIRECCIÓN

MIOFIBRILLA: ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

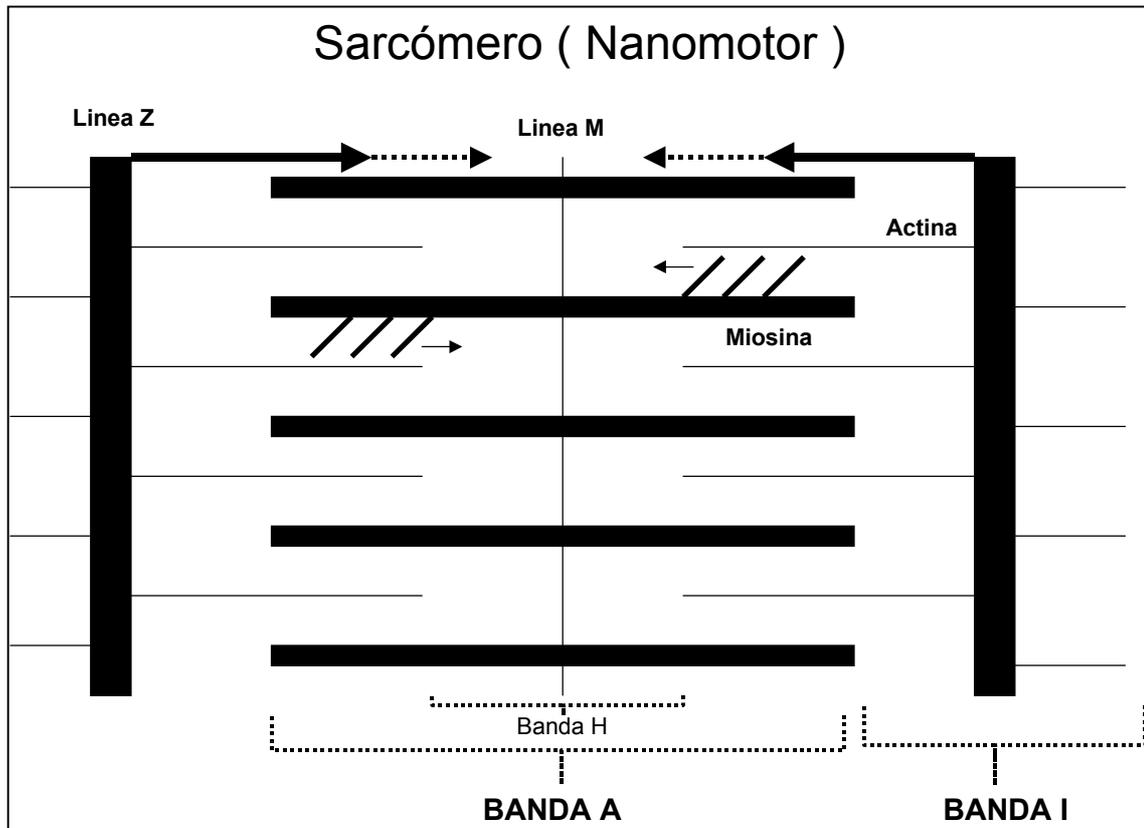
La capacidad de un músculo de generar **tensión** o **fuerza**, radica en la conformación de estructuras fundamentales conocidas como **sarcoméros**.

Los sarcómeros ocupan la intimidad de la célula muscular (fibra) con un patron regular a lo largo (**en serie**) y a lo ancho (**en paralelo**)

Cada sarcómero ocupa el espacio limitado por estructuras conocidas como **Líneas Z**. Dentro de este espacio se ubican un conjunto de proteínas con características especiales, que reciben el nombre de proteínas contráctiles.

Las más importantes son: Actina – Miosina – Troponina - Tropomiosina

A continuación podemos ver un esquema del sarcómero



El filamento de actina (conocido como **filamento fino**) se encuentra unido a cada línea Z, y se extiende hacia el centro del sarcómero, pero nunca entra en contacto con la línea Z opuesta ni con la línea M

El filamento de Miosina (conocido como **filamento grueso**) se encuentra en el centro de la unidad contráctil, en contacto con la línea M (que divide el sarcómero en dos unidades iguales) pero sin entrar en contacto con la línea Z.

De esta forma quedan delimitadas un conjunto de zonas, conocidas como bandas, a saber:

Banda A: Abarca la longitud del filamento de Miosina. Toma también parte de los filamentos finos de Actina que están superpuestos en los extremos del filamento grueso de Miosina

Banda I: Abarca el espacio comprendido entre los extremos de los filamentos gruesos. Es decir que comprende el espacio ocupado por los filamentos finos y las líneas Z

- Banda H:** Es el espacio comprendido entre los extremos de los filamentos finos de actina, en el centro del sarcómero y dentro de la Banda A.
- Línea M:** Permite el anclaje de los filamentos gruesos y su correcta distribución espacial, evitando superposición y ofreciendo una correcta posición para la mecánica de la contracción muscular.

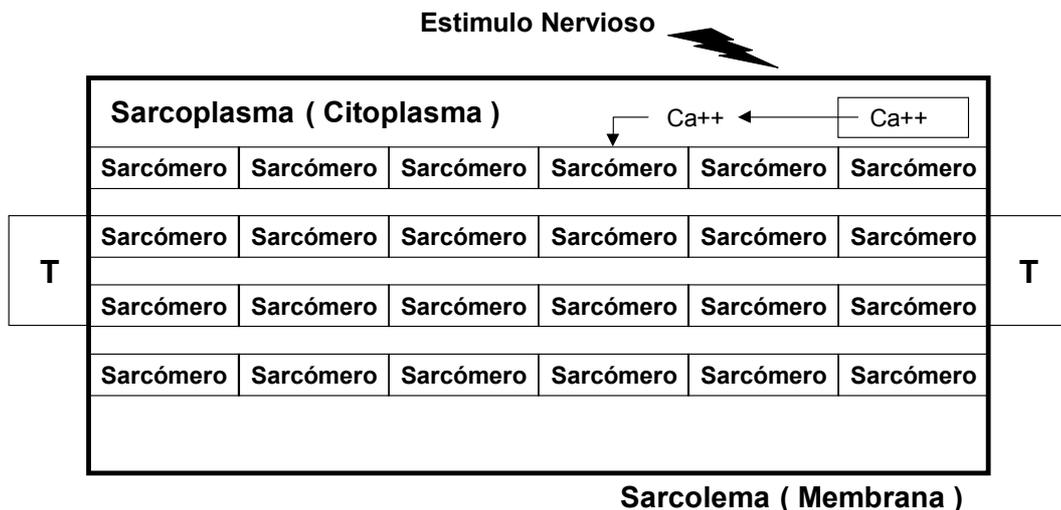
La teoría actual que explica la contracción de cada sarcómero esta representada por la **Teoría del Filamento Deslizante**.

La misma dice que entre la Actina y la Miosina se establecen puentes (puentes de actomiosina) que interaccionan y traccionan desplazándose hacia la línea M. En otras palabras, las líneas Z se acercan, la banda I se achica y la Banda H desaparece.

Cuando se produce la relajación, el proceso se revierte

La señal que provoca esta respuesta es la proveniente del axón que inerva cada fibra y que conforma la **Placa Neuro-motora**. Esta señal es de carácter eléctrico y provoca una alteración electroquímica de la membrana plasmática de la fibra, con cambios en la entrada y salida de iones (K^+ y Na^+) y que afecta el metabolismo del Ca^{++} , principal responsable de la respuesta contráctil.

Estructura de una fibra muscular



- 1- Respuesta de la membrana es del **TODO O NADA (UMBRAL)**
- 2- La descarga de Ca^{++} es **TIEMPO DEPENDIENTE** y no afecta a todos los **sarcómeros** por igual (**Reclutamiento Sarcomérico**)

Como se puede apreciar, la disposición en serie, permite que cada sarcómero pueda

actuar individualmente, y que la suma de las tensiones que provoca cada uno de ellos de lugar a una respuesta gradual, que dependerá de varios, factores entre ellos:

1- Longitud inicial de la fibra . 2- velocidad de anclaje y tracción de los puentes cruzados de acto-miosina. 3- Duración y Frecuencia del impulso nervioso, etc

Hay que recalcar que si bien la respuesta de la membrana plasmática (Sarcolema) al estímulo eléctrico es del **todo o nada**, la respuesta en relación a la capacidad de establecer puentes de actina y miosina es **estímulo-nervioso dependiente**. Es decir que la frecuencia y duración del estímulo nervioso desencadenará una mayor o menor capacidad de generar tensión.

Otro aspecto a recalcar es que el aumento en el área transversal de una fibra, significará un aumento del número de sarcómeros en paralelo, y esto representará una mayor cantidad de unidades contráctiles capaces de desarrollar tensión y acortamiento; en otras palabras, la **hipertrofia sarcoplasmática** (síntesis protéica) inevitablemente produce aumento de la fuerza

Hasta ahora hemos descrito de manera esquemática, una fibra muscular. Pero lo cierto es que desde el punto de vista histológico y funcional, existen dos tipos de fibras:

Fibras de Contracción Lenta (FCL / I)

Fibras de Contracción Rápida (FCR / II)

Las fibras de contracción lenta, tienen un metabolismo más apto para producir energía en presencia de oxígeno. No son capaces de generar o desarrollar tensión en cortas fracciones de tiempo (Explosividad) y tampoco son capaces de generar elevados grados de tensión por unidad de tiempo (Potencia)

Por el contrario, las fibras de contracción rápida, están mejor desarrolladas para producir energía bajo condiciones de anaerobiosis (en ausencia de oxígeno).

Son explosivas y capaces de generar elevados picos de fuerza por unidad de tiempo

Son las verdaderas fibras explosivas. Las FCR se subdividen en 2 subtipos:

Tipo II a: Metabolismo Intermedio : Oxidativo y Glucolítico

Tipo II b : Verdaderas fibras de potencia

La diferencia entre las fibras tipo I y II está esencialmente en la dotación de enzimas capaces de degradar el ATP, molécula esencial para suministrar la energía necesaria para llevar a cabo la contracción.

Estas enzimas (ATPasa) tienen distintas velocidades de degradación, ubicándose las ATPasas lentas en las FCL y las ATPasas rápidas en las FCR
A continuación observamos un resumen de las principales características de las fibras de contracción

TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES

TIPO I =	FIBRAS DE CONTRACCIÓN LENTA (FCL) Metabolismo oxidativo (Fibras Rojas) Resistentes a la fatiga Baja capacidad de desarrollar Potencia
TIPO II =	FIBRAS DE CONTRACCIÓN RÁPIDA (FCR)
II A:	Metabolismo Glucolítico- Oxidativo (Mixto) Baja resistencia a la fatiga Alta capacidad de desarrollar Potencia
II B:	Metabolismo Glucolítico Verdadera fibra de potencia Escasa tolerancia a la resistencia

FUERZA MUSCULAR

En el análisis de la estructura de una fibra muscular, se mencionó que lo que caracteriza a este tejido es su capacidad de producir tensión y acortamiento.

Lógicamente que si esta tensión provocada por el deslizamiento de los puentes de actina y miosina no fuese gradual, la mayoría de los movimientos serían de tipo balístico
La graduación en el desarrollo de tensión es fundamental para comprender en profundidad como hace el músculo para manejar distintas situaciones que se le presentan tanto en la vida cotidiana como a nivel deportivo.

En el siguiente cuadro, vemos un listado de los principales factores que regulan el proceso de contracción y por lo tanto el desarrollo de tensión y fuerza.

FUERZA MUSCULAR

CAPACIDAD DE PRODUCIR TENSIÓN QUE TIENE EL MÚSCULO AL ACTIVARSE

DEPENDE DE

- 1- NÚMERO DE PUENTES CRUZADOS DE ACTO-MIOSINA
- 2- NÚMERO DE SARCÓMEROS EN PARALELO (ÁREA)
- 3- TENSIÓN ESPECÍFICA POR UNIDAD DE ÁREA
- 4- LONGITUD DE LA FIBRA
- 5- TIPO DE FIBRA
- 6- FACTORES REGULATORIOS DE LA ACTIVACIÓN MUSCULAR
- 7- ANGULO ARTICULAR
- 8- RECLUTAMIENTO DE FIBRAS Y DE SARCÓMEROS
- 9- VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO

El número de puentes cruzados que se pueden establecer en cantidad y por unidad de tiempo, es un factor determinante de la capacidad de la fibra de desarrollar tensión. Hay que recordar que un puente cruzado tiene un ciclo determinado por las siguientes fases:

- 1- Acoplamiento
- 2- Tracción concéntrica
- 3- Desacople

La velocidad con que se pueda llevar a cabo estas fases, dará lugar a la generación de potencia ($\text{Potencia} = \text{Fuerza} \times \text{Velocidad}$)

El número de puentes cruzados dependerá por un lado de la dotación genética, y por otro lado de la disposición espacial de los filamentos finos y gruesos.

Una fibra elongada, colocará a los filamentos en una situación espacial desfavorable, lo que se traduce en una disminución importante en el establecimiento efectivo de puentes de Acto-Miosina.

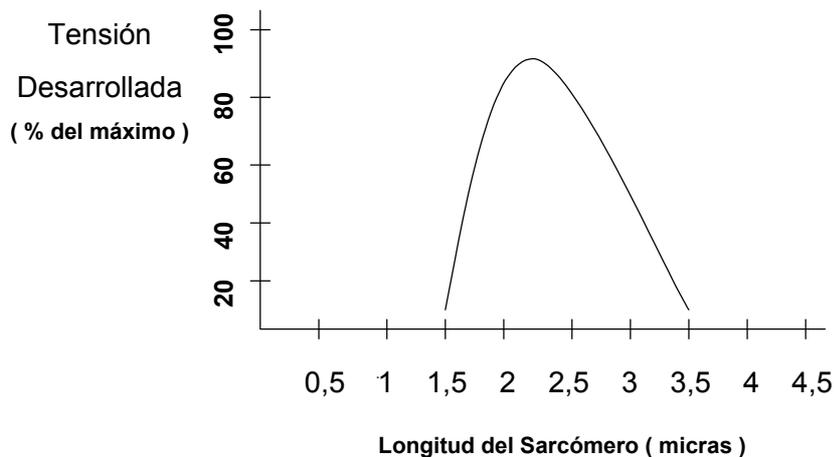
Una fibra acortada, también colocará a los filamentos en superposición, interfiriendo

en los enlaces efectivos entre la actina y miosina

Esto determina entonces una longitud efectiva en donde el desarrollo de tensión es máximo (2 – 2,5 micras)

Contracción Isotónica y factores reguladores de la tensión

1- Relación Longitud / Tensión Muscular



El aumento del número de sarcómeros en paralelo es sinónimo de **hipertrofia**. Es decir que el aumento del área transversal de una fibra depende de la síntesis de nuevas unidades motoras a lo ancho de la fibra. Es lógico deducir que si es mayor la cantidad de nanomotores en condiciones de traccionar, la fuerza tiende a aumentar. La tensión específica por unidad de área transversal, depende de la sumatoria de 2 factores, fuertemente influenciados por factores genéticos:

1- Cantidad de puentes de acto-miosina en condiciones de traccionar

2- Dotación de enzimas relacionadas con la degradación de ATP

Esto significa que **no es fuerte el que quiere sino el que puede**.

El tipo de fibra muscular está también asociado a la carga genética del individuo.

Un atleta con mayor % de Fibras tipo IIb, tenderá a ser más explosivo y musculado con fuertes condiciones para las actividades de potencia y velocidad.

Por el contrario, aquel con mayor % de FCL, tendrá condiciones favorables para el desarrollo de actividades de larga duración

Los factores regulatorios que tiene el Sistema Nervioso Central (SNC) sobre la Neurona Motora y sus respectivas fibras (Unidad Motora) es un aspecto importante

asociado a la fase de desarrollo de **vías de conducción nerviosa estimuladoras e inhibitorias** relacionadas con la regulación íntima de la “ activación muscular “
Entendemos por activación muscular al estado en el que se encuentra la fibra muscular, producto de la tensión desarrollada como consecuencia del estímulo eléctrico que recibe.

Por lo tanto la predominancia de una vía inhibitoria o estimuladora determinará en definitiva la respuesta muscular final

El tipo de reclutamiento de fibras, el ángulo articular y la velocidad de ejecución de un movimiento también determinan el desarrollo de la fuerza.

Pero son características asociadas a factores externos más que a internos

SISTEMAS ENERGÉTICOS

La importancia en la comprensión de los mecanismos de producción de energía es de vital importancia para la correcta interpretación de las causas asociadas al desarrollo de la fatiga, tanto central como local

Clásicamente se habla de la existencia de 3 sistemas que funcionan en forma simultánea pero con clara predominancia de uno sobre los otros dos, dependiendo del tiempo de duración de la actividad en cuestión.

A continuación podemos ver un cuadro que resume las características de estos tres sistemas

Sistemas Energéticos

1- Sistema de los Fosfágenos

ATP - Pcr

Potencia Máxima 6 ´´

Duración Máxima 30 - 45 ´´

2- Sistema del Lactato

Glucólisis Anaeróbica Láctica (Acumulación importante)

Potencia Máxima 45 ´´

Duración Máxima 30 - 180 ´´

3- Aeróbico

Baja acumulación de Lactato

A partir del 3 - 4 ´ hasta 6 o más horas

El primer sistema, no provoca acumulación de lactato y su rol fundamental está relacionado con el hecho de ser el primer sistema que aporta combustible y el único capaz de sostener altas demandas energéticas asociadas a altas intensidades, durante los primeros 6 a 10 segundos de actividad.

Extendiéndose hasta los 30 seg. aproximadamente, es el principal sistema que entrega energía en la mayoría de las series que componen una rutina clásica y que no se extienden más allá de las 10 repeticiones (a 3 seg. por repetición, esto daría lugar a un tiempo de 30 seg. para una serie)

A partir de los 6 segundos y hasta los 45 seg. la producción de lactato no logra ser compensada por la remoción (utilización del lactato como combustible), motivo por el cual comienza a acumularse en sangre con la consiguiente disminución del pH y la acidez respectiva.

Quiere decir que sumado al primer sistema, ambos logran cubrir la demanda energética de una serie tipo, provocando una considerable acumulación de Ácido Láctico al finalizar la serie.

Finalmente el tercer sistema, es más importante en la fase de recuperación entre serie y serie, ya que la recuperación del sistema de los Fosfágenos y la remoción del lactato dependen de un sistema enzimático y mitocondrial altamente desarrollado que sea capaz en poco tiempo (pausas de 1,30 min – 2 minutos) de restaurar ambos sistemas para comenzar una nueva serie.

Tanto la producción de lactato como el consumo de oxígeno, son indicadores del trabajo desarrollado y del grado de intensidad con que se ha entrenado.

TIPOS DE ACCIONES MUSCULARES

La tendencia del sarcómero, y por consiguiente de la fibra muscular es la de contraerse. Pero dependiendo de la voluntad del individuo y de la carga que se moviliza, se pueden dar las siguientes situaciones

- 1- Que el músculo se acorte venciendo la resistencia (Dinámico Concéntrico)
- 2- Que el músculo se alargue siendo vencido por la resistencia (Dinámico Excéntrico)
- 3- Que el músculo permanezca aparentemente inmóvil (Estático Isométrico), aunque a nivel interno, el músculo se contrae y los tendones soportan tensión por estiramiento
- 4- Que el músculo primero se alargue (elongación) y luego de un período corto de

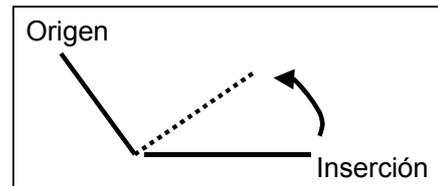
de contracción estática, se produzca la contracción dinámica concéntrica. A este tipo de movimiento se lo conoce como ciclo de Estiramiento-Acortamiento (CEA) o también conocido como Pliometría

A continuación vemos un esquema que resume lo dicho anteriormente

ACCIONES MUSCULARES

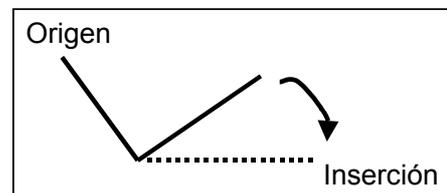
1- DINÁMICA CONCÉNTRICA

Puntos de origen e inserción se acercan



2- DINÁMICA EXCÉNTRICA

Puntos de origen e inserción se alejan



3- ESTÁTICA

Puntos de origen e inserción permanecen inmóviles

4- CICLO ESTIRAMIENTO ACORTAMIENTO (CEA)

Existe un alargamiento previo a la contracción

RELACIÓN ENTRE FUERZA Y ACELERACIÓN

Anteriormente habíamos expresado que uno de los aportes más importantes que hizo Newton fue el hecho de relacionar la Fuerza con la Masa y la Aceleración.

Entendemos como aceleración a los cambios de velocidad en función del tiempo. Es decir que por cada unidad de tiempo, la velocidad debe modificarse, tanto a favor (Aceleración Positiva) como en contra (Aceleración Negativa – Desaceleración)

El factor fundamental es el **cambio de velocidad**.

Tomando los tipos de movimientos anteriormente expuestos, podemos ver que se da una condición de aceleración o **superación** de la resistencia en los movimientos dinámicos concéntricos

En cambio en lo movimientos dinámicos excéntricos, la resistencia supera la fuerza

muscular y solamente se puede **resistir**, lo que provoca una desaceleración de la fuerza gravitatoria que actúa sobre el objeto, por ej. una mancuerna. (aceleración provocada por la fuerza de gravedad = $9,82 \text{ Newton} \cdot \text{s}^{-2}$)

Finalmente en los casos de movimientos estáticos, la fuerza entra en equilibrio con la resistencia (en realidad son los momentos de la fuerza y de la resistencia los que entran en equilibrio) y no hay ni acortamiento ni alargamiento del músculo involucrado; solo se mantiene la posición. En este caso, no podemos decir que la fuerza actúa acelerando un objeto. Pero si podemos afirmar que se está produciendo deformación de las estructuras que participan del movimiento, siendo esta la otra forma de manifestación de una fuerza

Relación entre Fuerza y Aceleración

Fuerza = Masa Inercial x Aceleración

Si la **resistencia es superada por la fuerza**, se produce movimiento **acelerado**

Isotónico Dinámico Concéntrico - Positivo - Miométrico - **Superar**

Si la **resistencia supera a la fuerza**, se produce movimiento **desacelerado**

Isotónico Dinámico Excéntrico - Negativo - Pliométrico - **Resistir**

Si la **resistencia iguala a la fuerza**, **aceleración = 0 ; DEFORMACIÓN +++**

Isométrico - Estático - **Mantener**

CONCEPTO DE TRABAJO MUSCULAR

La mecánica define al trabajo como al producto de la fuerza por la distancia. En otras palabras, si se moviliza una barra de 100 kg hasta una altura de 1 metro, se ha realizado un trabajo, en este caso un trabajo igual a 100 kgm o Julio (unidad de medición)

Un concepto importante es que la definición de energía esta fuertemente ligada con el concepto de trabajo (Energía = **capacidad** para producir trabajo).

De estas definiciones se desprende que una forma de valorar la cantidad de trabajo realizado en el gimnasio es no solo tomando la cantidad de kilogramos movilizados (lo que suele definirse como **volumen de entrenamiento o tonelaje**) sino que podemos tomar en cuenta la distancia que hemos recorrido con estos kilos, y aplicar la definición de trabajo de manera mas apropiada.

Pero las dificultades inherentes a estos cálculos radica en que el desarrollo de la fuerza no es constante. De hecho la fuerza varía de instante a instante, lo que obliga a utilizar cálculos matemáticos (Integrales) para resolver lo que aparentemente era una simple multiplicación (Fuerza x Distancia)

Además, si la fuerza que se ejerce no es en el sentido del desplazamiento del objeto desplazado, el ángulo formado entre la trayectoria de aplicación de la fuerza y la dirección de desplazamiento del objeto, conforma un triángulo rectángulo.

Por lo tanto a la definición de trabajo = fuerza x distancia, hay que agregarle el valor real de la magnitud de la fuerza, que surge del agregado de la función coseno del ángulo en cuestión a la formula original, quedando la siguiente expresión:

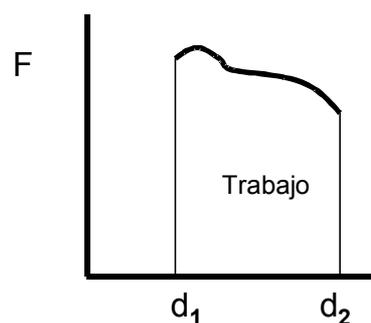
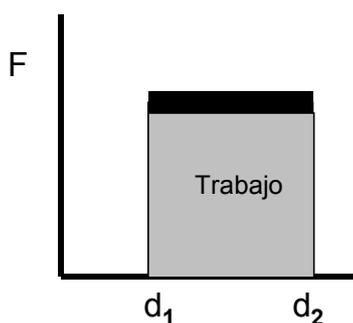
$$T = F \times D \times \text{coseno } \theta$$

Otro hecho importante radica en la posibilidad de relacionar el trabajo con el gasto calórico y con el consumo de oxígeno

TRABAJO

“ EL PRODUCTO DE LA MAGNITUD DE LA FUERZA APLICADA
 SOBRE UN OBJETO, POR LA DISTANCIA QUE EL OBJETO
 RECORRE DURANTE LA APLICACIÓN DE ESA FUERZA ”

Trabajo = Fuerza (Kg) x Distancia (metro) = Julio
1 kcal = 426,4 kgm = 0,2 L O₂ // 1 L O₂ = 5 kcal / min



$$T = \int_1^2 d F \times \Delta d$$

Esto permite hacer un cálculo del consumo calórico en una rutina de entrenamiento por medio de la transformación del trabajo (medido en Kgm) en Kilocalorias.

FUERZA APLICADA: CONCEPTO

El concepto de fuerza aplicada se desprende de la relación entre la fuerza generada en el músculo (**tensión / fuerza interna**) y la movilización tanto de una carga (masa) que ofrece resistencia, como la fuerza que determina la aceleración de nuestro centro de gravedad (**fuerza externa**)

FUERZA APLICADA

“Es la relación que se establece entre las fuerzas internas

(tensión muscular) y las fuerzas externas (resistencias)”

SE MIDE A TRAVÉS DE

- 1- CAMBIOS DE ACELERACIÓN**
- 2- DEFORMACIÓN**
- 3- PESO A MOVILIZAR**
- 4- DESPLAZAMIENTO DEL CENTRO DE GRAVEDAD**

Esto significa que la capacidad de generar tensión puede ser muy alta, pero la capacidad de acelerar / desacelerar un cuerpo puede no serlo.

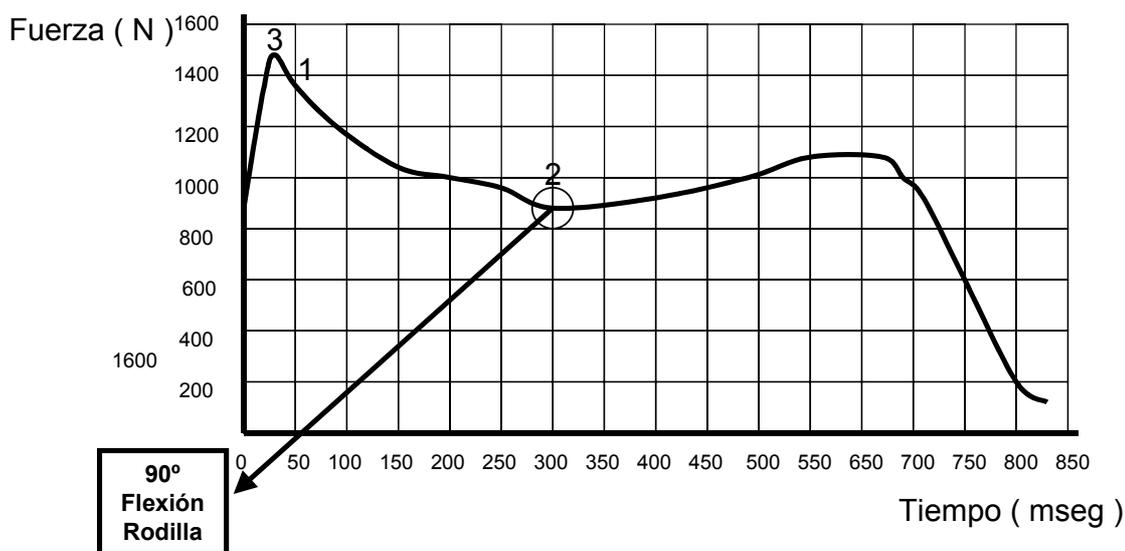
La relación entre el desarrollo de tensión y fuerza externa depende, entre otras cosas, de los brazos de palanca de la resistencia y de la fuerza.

Como la mayoría de las palancas del organismo son de 2º género, el brazo de fuerza más favorable, en donde se está en condiciones de desarrollar la máxima fuerza, está siempre acompañado del mayor momento de la resistencia (resistencia, multiplicada por la distancia perpendicular que va desde la recta determinada por el sentido de aplicación de la resistencia y el eje de rotación)

Esto quiere decir que el brazo de fuerza siempre va a ser menor que el brazo de la resistencia, y esto se evidencia por el marcado descenso en la velocidad de ejecución del movimiento, lo que se traduce en una pobre aceleración (recordemos que la definición de fuerza era igual al producto de la masa por la aceleración)

Analizemos el ejemplo siguiente

Fuerza Aplicada en Sentadilla



1- 50 mseg = Fuerza media : 1300 N // Aceleración 4,6 m . s⁻²

2- 300 mseg = Fuerza media : 907 N // Aceleración 0,27 m . s⁻²

3- Pico de Fuerza = 23 mseg : 1455 N

En una fase concéntrica de sentadilla, partiendo desde una posición de cunclillas, se observa que en los primeros milisegundos (50 mseg) se registra la máxima fuerza (representada por la aceleración de la barra), para luego disminuir su velocidad (aceleración negativa) en un ángulo cercano a los 90 °, para posteriormente, al salir de la situación desfavorable, volver a aumentar la velocidad de ascenso de la barra, representado por un segundo pico de fuerza (el primer pico se observa a los 23 mseg aprox.)

Recordemos que la fórmula de fuerza = masa x aceleración, puede ser también expresada de la siguiente forma

$$\text{Fuerza} = \text{masa} \times \frac{\text{velocidad}}{\text{tiempo}}$$

Por lo tanto si la velocidad disminuye o el tiempo necesario para movilizar la carga aumenta, esto disminuye la fuerza resultante.

$$\begin{array}{c} \downarrow \downarrow \\ \text{Fuerza} = \text{masa} \times \frac{\text{velocidad}}{\text{tiempo}} \\ \uparrow \end{array}$$

Además, podemos observar en el gráfico de fuerza en función del tiempo, que existe un período de tiempo que se da desde que se activa la fibra muscular hasta que se produce el pico máximo de fuerza. Esto es importante, porque no solo importa la carga máxima que se pueda movilizar (lo que representaría la Fuerza Dinámica Máxima (1 Repetición Máxima)), sino en que tiempo se alcanza dicho pico máximo, teniendo en cuenta que la mayoría de los gestos deportivos no superan los 300 mseg de duración. Por ello se puede deducir que se puede ser muy fuerte bajo condiciones ideales de tiempo, pero en la práctica, estas condiciones están representadas por el tiempo que demanda la realización del gesto deportivo (a veces hasta 100 mseg)

Además, se puede ser muy fuerte por el hecho de movilizar cargas máximas con el tiempo necesario para ello, pero se debe tener en cuenta la **velocidad de ejecución** de ese movimiento, teniendo en cuenta que la velocidad es inversamente proporcional a la fuerza y a la carga movilizada (a mayor carga, menos velocidad)

Esto quiere decir que no necesariamente el ser más fuerte en 1 RM, signifique que se es más fuerte con cargas submáximas,. Por ello es importante evaluar que velocidades se alcanzan con dichas cargas submáximas, es decir que potencia es alcanzada con cada resistencia en cuestión.

Podemos ver entonces como la velocidad y el tiempo son variables fundamentales a la hora de evaluar la fuerza aplicada en el ámbito deportivo

FATIGA

La determinación de la fatiga puede hacerse desde un plano objetivo o subjetivo.

En general se expresa la fatiga en el plano subjetivo como la “ **incapacidad de sostener un esfuerzo deseado o esperado** ”

Pero para poder objetivar su presencia, necesitamos contar con variables fisiológicas que no puedan ser objeto de modificaciones en cuanto a su magnitud, por las sensa-

ciones o pareceres del atleta.

Tal es así que suele mencionarse a la acumulación de Ácido Láctico, como uno de los parámetros sanguíneos más utilizados para seguimiento y control de la fatiga.

Pero para poder comprender un poco mejor estos conceptos, es necesario profundizar en las distintas causas que llevan a la disminución del rendimiento físico.

A continuación vemos un cuadro que enumera las principales causas de fatiga

FATIGA

- 1- Falta de activación de la Corteza Cerebral
- 2- Fallo en los procesos de neurotransmisión
- 3- Disminución de la excitación de las Motoneuronas
- 4- Enlentecimiento en la conducción del nervio motor eferente
- 5- Fallo en la Sinapsis Neuromuscular
- 6- Fallo en la excitabilidad de la membrana plasmática
- 7- Fallo en la excitación de los Túbulos T
- 8- Fallo en los mecanismos de la Triada
- 9- Fallo en la liberación del Calcio⁺⁺
- 10- Disminución de la Afinidad del Calcio⁺⁺ por la Troponina
- 11- Deficiencia de los puentes cruzados para traccionar
- 12- Deficiencia de la bomba de Calcio⁺⁺

En reglas generales podemos hablar de una fatiga que se relaciona con el Sistema Nervioso Central (SNC), tanto desde su inicio en la Corteza Cerebral, pasando por la conducción del impulso, la actividad de las motoneuronas en el asta anterior de la médula, velocidad de conducción del impulso por el axón de la neurona motora, a la que denominaremos en forma genérica como **fatiga central**, existiendo otras causas más asociadas a la fibra muscular, ya sea a nivel de la membrana plasmática, en los retículos endoplásmicos que contienen Calcio, en la liberación y recaptación de dicho ión, en la actividad enzimática responsable de la producción energética como así también en los sustratos energéticos necesarios para la obtención de energía y en la capacidad para traccionar a nivel de los puentes cruzados de acto-miosina. A todos estos factores se los suele asociar con el concepto de **fatiga local**.

Vemos a continuación un cuadro que intenta resumir las variables asociadas a este concepto

Fatiga Muscular Local

- 1- A nivel SNC : Señales inhibitorias provocadas por factores locales
- 2- A nivel de la Placa NeuroMuscular: Disminución de la liberación de Ach
- 3- A nivel del Mecanismo Contráctil
 - a- Acumulación de Ácido Láctico: Inhibición de la liberación de Ca⁺⁺
Inhibición de la Troponina C
Inhibición de la PFK
 - b- Disminución de ATP y Pcr (Fosfágenos)
 - c- Agotamiento de Glucógeno
 - d- Pobre consumo de Oxígeno
 - e- Flujo sanguíneo inadecuado

El concepto de **Fallo Mecánico**, intenta expresar la incapacidad del músculo para ejercer tensión y lograr desplazar una resistencia.

Otros tipos de conceptos asociados a la fatiga , como **Fallo Metabólico** y **Fallo Neuro-muscular**, son intentos de clasificar en distintas categorías los eventos que se han descrito anteriormente y que resumen todas las causas posibles de disminución de rendimiento.

Pero si recordamos que el concepto de Trabajo está fuertemente ligado al de Energía, en definitiva, todos los mecanismos anteriormente expuestos tienen como base de su generación a la **demanda de energía no satisfecha**, que dependerá de los niveles de intensidad de la actividad física en cuestión.

Por lo tanto, **fallar** en una repetición dada en una serie dada, marca el límite de capacidad de esa fibra para satisfacer la demanda energética que le permita superar la resistencia.

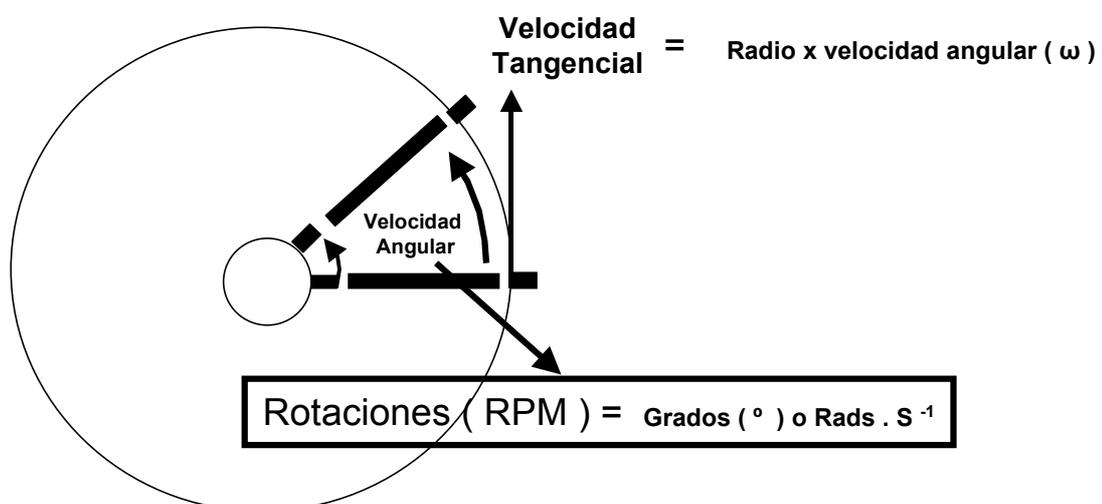
LA FUERZA RELACIONADA CON LOS FACTORES VELOCIDAD Y TIEMPO

Anteriormente habíamos mencionado que la fuerza como manifestación única, no era

suficiente para lograr un rendimiento deportivo máximo. Dependiendo de la velocidad de ejecución del movimiento y del tiempo necesario para expresar esa fuerza, se obtenían relaciones entre la Fuerza y el Tiempo y la Fuerza y la Velocidad que brindaban información muy importante sobre la capacidad real de rendimiento de esa fibra muscular.

Pero antes de iniciarnos en el análisis de estas curvas, debemos recalcar que los movimientos de las palancas óseas son movimientos circulares, que recorren ángulos determinados por los distintos segmentos corporales y que determinan velocidades angulares, medibles en grados $\times \text{seg}^{-1}$ o rads $\times \text{seg}^{-1}$, y momentos de resistencias variables según el ángulo en cuestión y funciones asociadas a tales ángulos, entre ellos el seno y el coseno.

Movimiento Circular



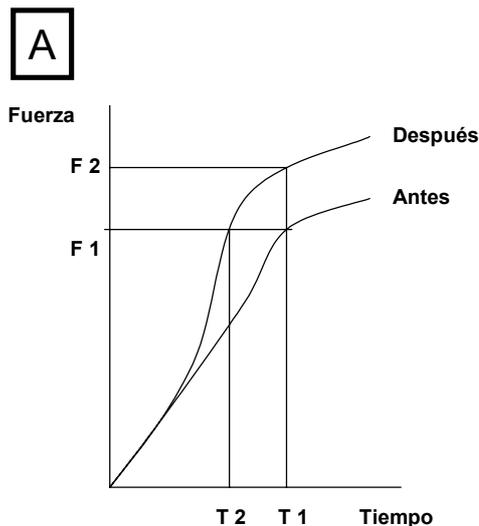
Por lo tanto, se debe pensar en todo momento en movimientos circulares de los distintos segmentos corporales y de la variabilidad existente en los momentos de las fuerzas y de las resistencias, conceptos que trataremos más adelante.

Tanto la velocidad como el tiempo necesario para alcanzar el pico máximo de fuerza, son funciones (dependen) de la fuerza.

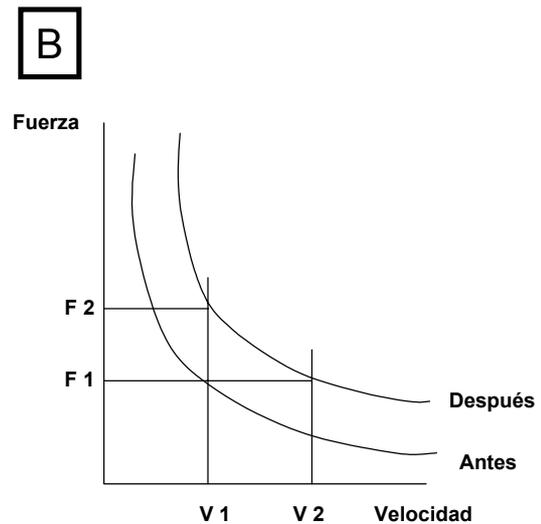
La misma suele expresarse como el kilaje desplazado cuando no se cuenta con instrumentos de precisión (por ej. acelerómetro)

A continuación vemos dos gráficas que son las curvas Fuerza-Velocidad y Fuerza-tiempo

CURVA FUERZA-TIEMPO Y FUERZA-VELOCIDAD



$$\text{Explosividad} = F * s^{-1}$$



$$\text{Potencia} = F * d * s^{-1}$$

En el gráfico A, lo que se intenta mostrar es el desplazamiento de la curva hacia la izquierda. Esto significa que si tomamos el Tiempo 1 (T1), la fuerza siendo inicialmente F1, pasa a ser mayor, F2.

Otra forma de leer este gráfico es tomando la fuerza 1, que inicialmente se realizaba en un tiempo 1, la misma pasa a ser realizado en un tiempo 2 (menor tiempo)

En el gráfico B, relaciona la fuerza con la velocidad (potencia). Al igual que en el gráfico anterior, a igual velocidad (V1), la fuerza pasa de F1 a F2, o a igual F1, la velocidad aumenta de V1 a V2

Si relacionamos ambas gráficas, podemos decir que se aumenta la fuerza y se disminuye el tiempo, lo que es lo mismo que decir que se aumenta la fuerza y también la velocidad.

La curva fuerza-tiempo, podría descomponerse en 3 áreas:

1- Fuerza inicial : La que va desde que se inicia la aplicación de la fuerza, hasta que

comienza el movimiento. Dentro de esta área, encontraremos siempre a la **fuerza explosiva máxima**.

- 2- Fuerza de aceleración: Cuando se inicia el movimiento y hasta alcanzar el pico máximo de fuerza
- 3- Pico máximo de fuerza Dinámica: La máxima manifestación de la fuerza

De la clasificación anterior se desprende que la fuerza explosiva no depende del movimiento, como si depende la fuerza de aceleración

En otras palabras, antes de que se pueda visualizar el movimiento, ya se ha alcanzado la Fuerza Máxima Explosiva

Cuando se decide mejorar esta fuerza explosiva, que es el factor diferencial de la mejora del rendimiento, no siempre es suficiente entrenar el pico máximo de fuerza (por medio de cargas máximas)

Si tenemos un atleta que moviliza en sentadilla 100 kg y salta 40 cms, y luego de su entrenamiento aumento en 20 kilos la carga de sentadilla y en 10 cms su salto, podemos afirmar que cumplió con su objetivo de aumentar su salto a expensas del aumento de la fuerza utilizando el menor tiempo posible.

El tiempo utilizado para desarrollar la fuerza es menor, porque la altura del salto depende de la velocidad de despegue, y si el tiempo es menor, la velocidad es mayor.

Recordemos que el tiempo utilizado para realizar la contracción concéntrica de los cuádriceps es lo que se considera como factor determinante de la mejora del salto.

La fuerza ha aumentado porque siendo la misma masa (peso del individuo), pudo aumentar la velocidad.

Pero si nuestro atleta logra aumentar la carga en sentadilla, pero no mejora el salto, podemos decir que fracasó en mejorar la fuerza explosiva, porque no pudo acortar el tiempo necesario para la aplicación de la fuerza, a pesar de ser más fuerte (mueve más carga)

GRADUACIÓN DE LA FUERZA

Si no existiera capacidad de graduar el desarrollo de la fuerza, los movimientos corporales serían todos de tipo Balísticos.

Afortunadamente esto no sucede, debido a que existen factores que regulan la expresión de la fuerza

A continuación vemos un cuadro que enumera las principales características

GRADUACIÓN DE UNA FUERZA

1- RECLUTAMIENTO: a- Sincrónico b- Asincrónico

2- ESTIMULO NERVIOSO: a- Frecuencia b- Duración

MAYOR **DESARROLLO** DE TENSIÓN (Fuerza)

1- RECLUTAMIENTO MÁXIMO SINCRÓNICO

2- MÁXIMA FRECUENCIA DE DESCARGA (Limite : Tetania)

MAYOR **DURACIÓN** DE LA TENSIÓN DESARROLLADA

1- Metabolismo Energético

2- Duración de las Frecuencias de Descarga de los impulsos

MAYOR **VELOCIDAD** DE DESARROLLO DE LA CONTRACCIÓN

1- Actividad de la MiosinATPasa

2- Ciclo de Liberación / Recaptación de Ca⁺⁺ (relajación)

Vemos como los factores primordiales son el tipo de reclutamiento y el tipo de estímulo nervioso. Reclutar significa llamar a trabajar a las unidades motoras y sus respectivas fibras que inervan (tipo I o II)

El reclutamiento tiene relación directa con la intensidad del esfuerzo y con la velocidad de ejecución del movimiento

Vemos entonces que si la velocidad del movimiento lo permite, a intensidades crecientes, el orden de reclutamiento es el siguiente

1- Fibra I

2- Fibra II a

3- Fibra II b

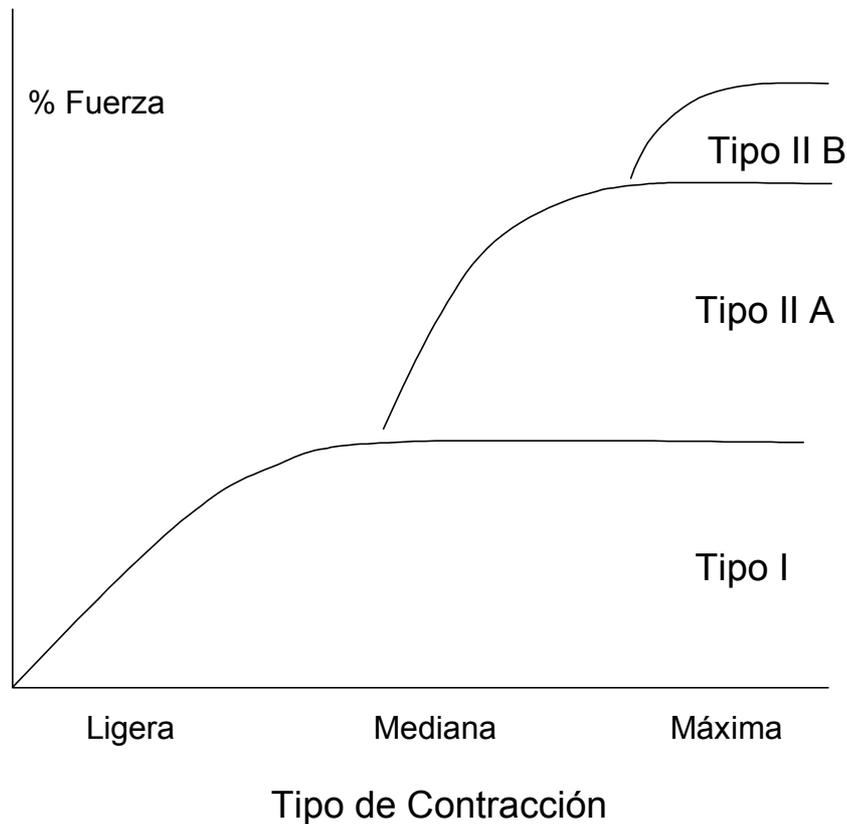
Las fibras tipo I solamente podrán actuar si la velocidad de ejecución del movimiento lo permite (reclutamiento gradual)

Si la ejecución es de tipo explosiva, altas velocidades y alto grado de desarrollo de fuerza, este orden no se cumple y directamente son reclutadas las fibras tipo IIb.

Pero no es cierto que movimientos rápidos recluten fibras tipo II b; deben ser contracciones potentes (combinación de FUERZA y VELOCIDAD) .

Reclutamiento de Fibras

Hennemanny Col., 1965



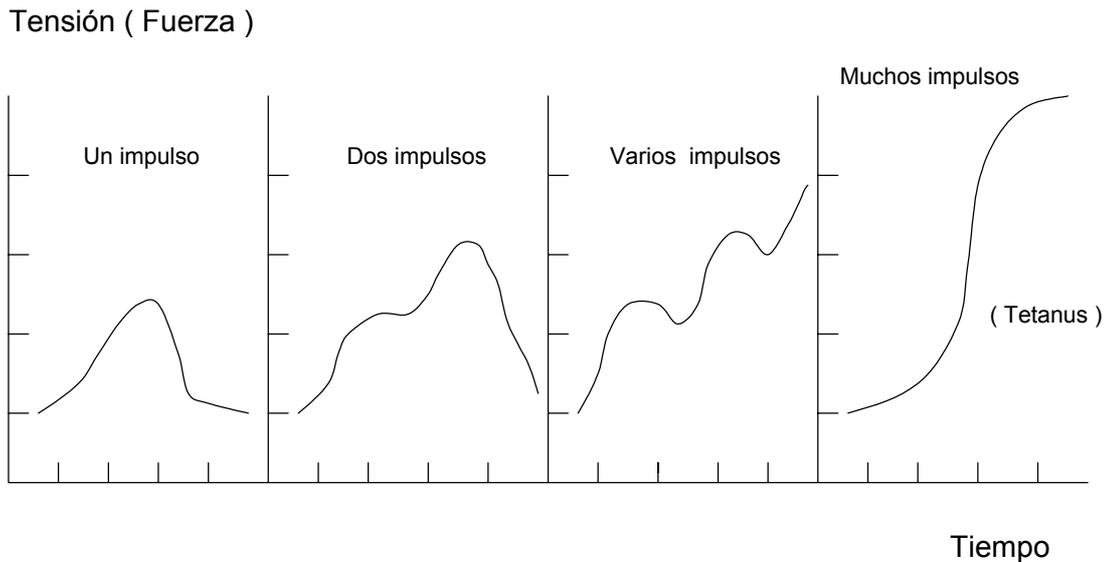
El otro factor a considerar es la participación del estímulo nervioso. El mismo tiene dos componentes : **Frecuencia e Intensidad**

La frecuencia es la cantidad de estímulos que se desencadenan por unidad de tiempo. Cuando los estímulos se suceden con cortos intervalos de tiempo, la respuesta de la fibra contráctil es de tipo sumatoria. Es decir, que un estímulo que logra llegar a la fibra antes de que esta vuelva a su situación de reposo, logra desencadenar mayor tensión de la misma. Si la sucesión de estímulos es muy alta, la respuesta contráctil alcanza un estado de contracción semipermanente conocido como TETANIA. La intensidad tiene relación con la capacidad de desencadenar una respuesta de la membrana excitada (potencial de acción)

Cuando dicho estímulo es capaz de desencadenar este potencial de acción, el mismo se propaga a lo largo de toda la fibra de manera completa, conociéndose a este tipo de respuesta como de **Respuesta de TODO O NADA**.

Es importante comprender que **la respuesta de la membrana** es del tipo todo o nada **La respuesta contráctil de la fibra no lo es**. La contractilidad dependerá del tiempo que la fibra esté bajo estímulo (frecuencia de descarga) y de la liberación de Calcio, además de otros factores como tipo de fibra, dotación enzimática, etc

FRECUENCIA DE DESCARGA DEL IMPULSO NERVIOSO



Existen otros factores que regulan el desarrollo de la tensión / fuerza de la fibra muscular :

- 1- Longitud de la fibra
- 2- Cantidad y actividad de la enzima ATPasa

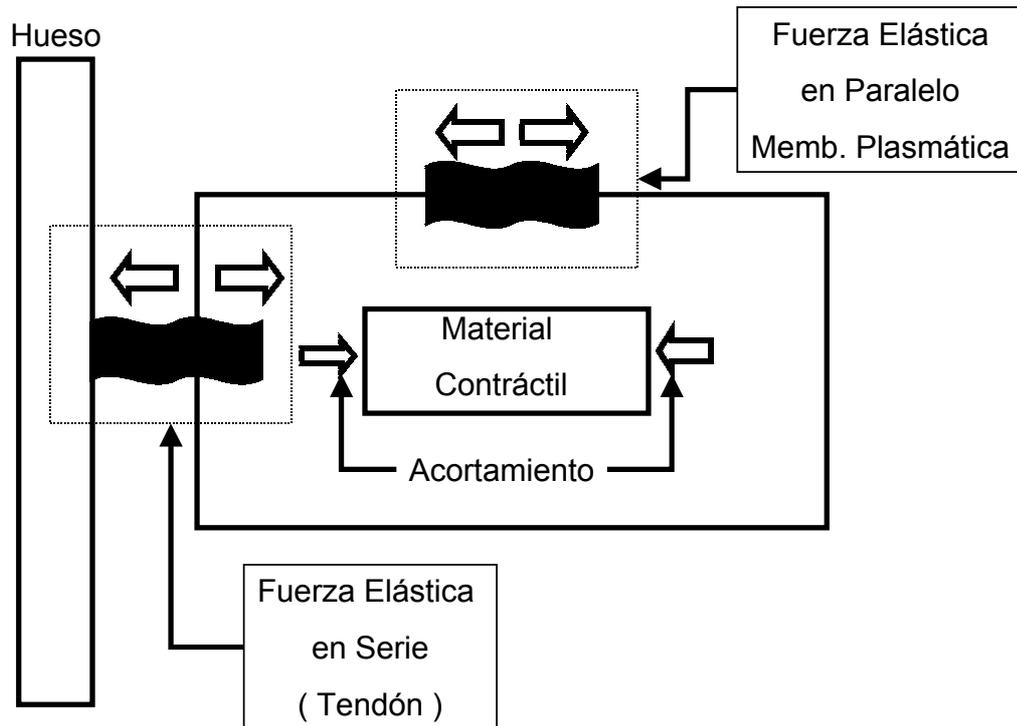
La longitud de la fibra es uno de los conceptos que ha dado lugar al estudio de las fuerzas elásticas.

Al material contráctil lo rodea un citoplasma compuesto por un citoesqueleto que se comporta como material **elástico en paralelo**, junto a la membrana plasmática.

Por otra parte, los tendones, son los principales elementos elásticos **en serie**, capaces de acumular energía durante su alargamiento (energía potencial) que se sumaría a la fuerza desarrollada por el material contráctil, y que se expresará como mayor tensión desarrollada.

El esquema siguiente resume lo expuesto hasta ahora

Fuerzas Elásticas



Por otra parte, existe una longitud óptima de la fibra en donde la disposición espacial de los filamentos de actina y miosina es tal que el número de puentes de acto-miosina es máximo

Longitudes mayores o menores a esta longitud óptima, disminuyen el número posible de puentes, ya sea por alejamiento físico (los puentes no se pueden conformar, situación que se da cuando la fibra se alarga demasiado), o por superposición de los filamentos finos, unos sobre otros (cuando el acortamiento es máximo).

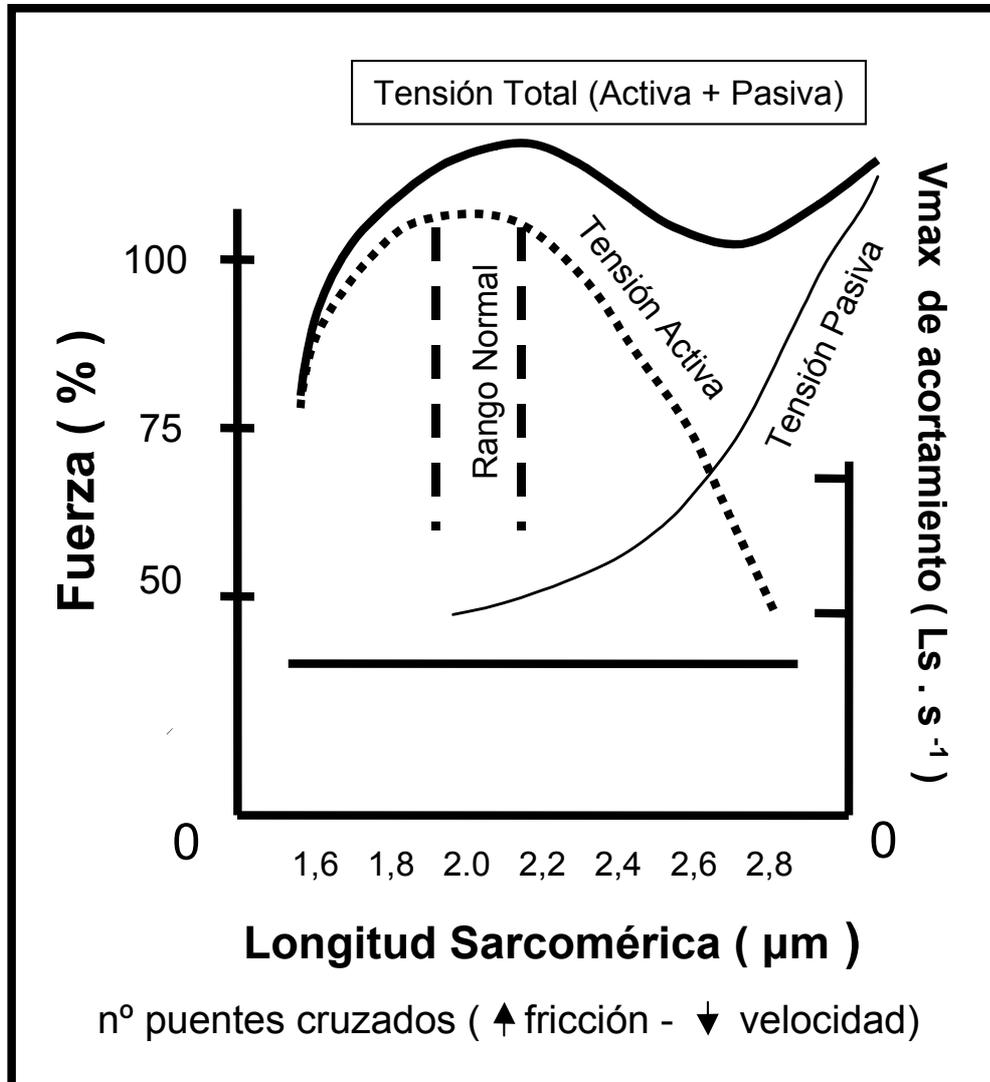
En el caso de un aumento en la longitud de la fibra, si bien la fuerza decae inicialmente, si se continua elongando la fibra, aparece un aumento de la tensión, que correspondería al papel que juegan las fuerzas elásticas

En otras palabras, a cierta longitud, el elongamiento de los componentes elásticos se hace presente y cuando se estimula la fibra para desarrollar tensión, la tensión resultante es la suma de la tensión neta más la tensión elástica

$$\text{Tensión Total} = \text{Tensión Neta} + \text{Tensión Elástica}$$

A continuación vemos un gráfico que representa lo expresado.

Fuerza - Longitud

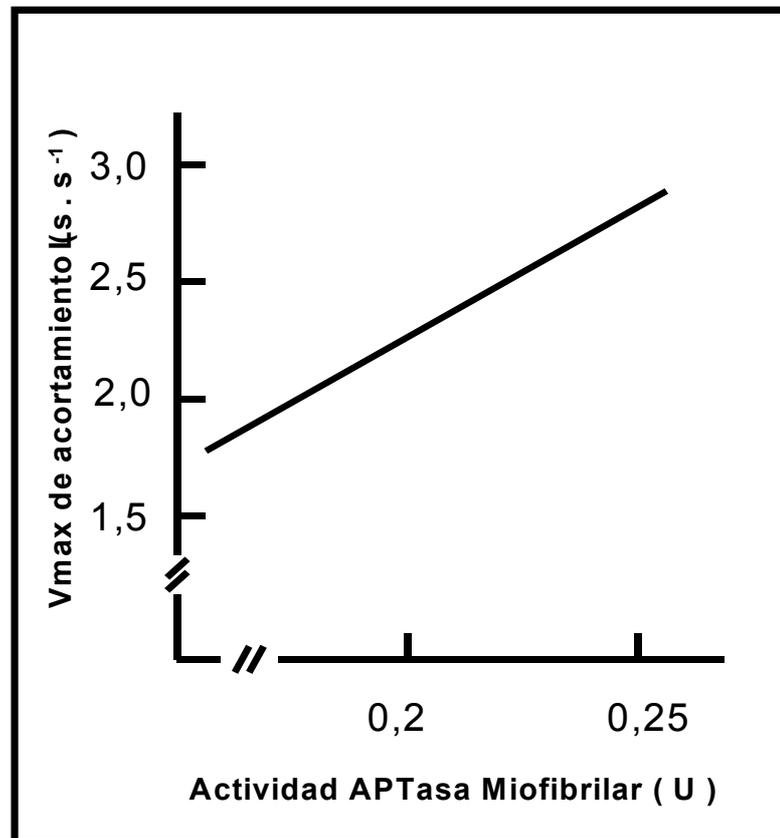


La velocidad de contracción (expresada en el eje vertical izquierdo), como se puede observar, permanece constante, independientemente de la longitud del sarcómero. Esto da lugar a la afirmación de que la velocidad de acortamiento, no depende tanto de la fuerza y longitud de la fibra, sino de la cantidad de enzima APTasa capaz de asegurar rapidez en el ciclo unión – tracción – liberación de cada uno de los puentes cruzados.

Por lo tanto, la relación existente entre concentración de enzima y velocidad de con-

tracción del sarcómero es directamente proporcional, tal como se puede observar en el siguiente gráfico

Velocidad de Contracción y Actividad Enzimática



LEY DE HILL

La curva fuerza-velocidad y su relación con las distintas manifestaciones de la fuerza se la conoce como Ley de Hill.

En la misma se establece, en un diagrama de ejes cartesianos, a la fuerza en el eje de Y y a la velocidad en el eje X.

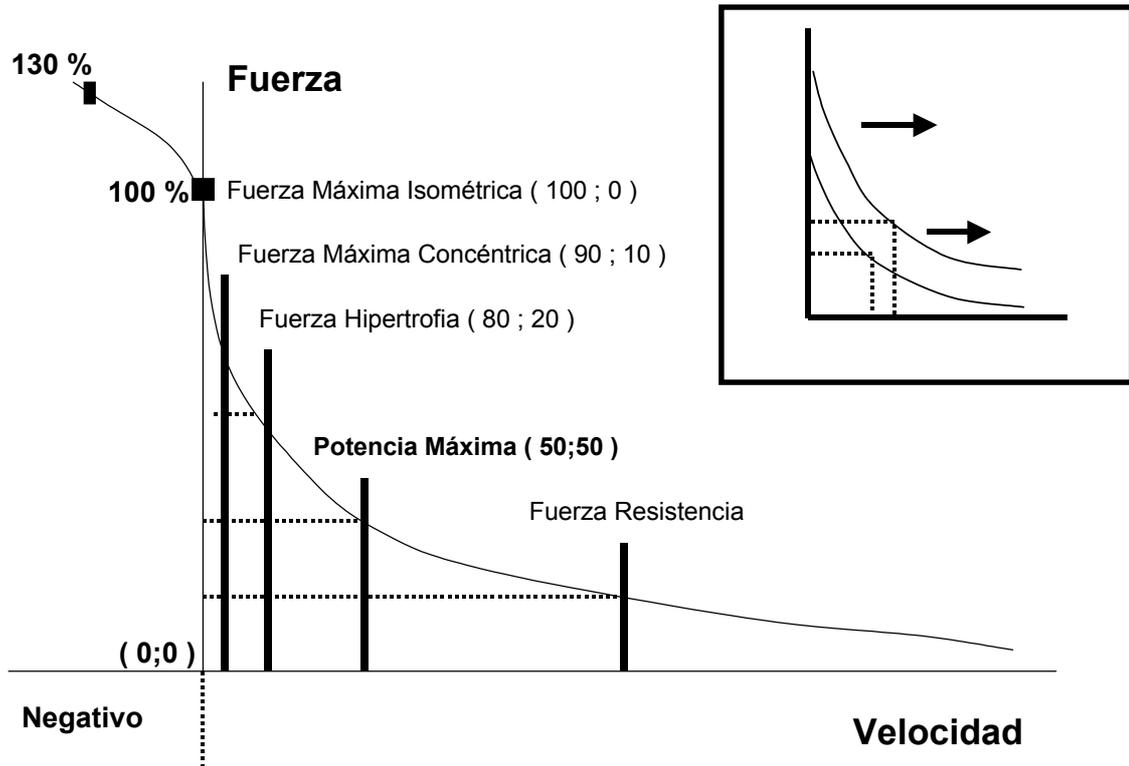
El punto (0,0) corresponde a la velocidad inicial igual a 0 y la fuerza igual a 0.

A medida que avanzamos sobre cada eje, se aumenta la fuerza o la velocidad, las que están relacionadas de manera **inversamente proporcional**.

Es decir que a mayor fuerza sobre el eje Y, menos velocidad sobre el eje X.

Veamos el siguiente esquema:

Ley de Hill



A cada punto de esta curva, le corresponde un valor de Y (Fuerza) y de X (Velocidad). El punto de máxima fuerza, se corresponde con la intersección de la curva en el eje Y siendo $X = 0$.

Este es el punto de **Fuerza Isométrico Máxima**, donde la velocidad es cero.

A partir de allí, la fuerza decae a medida que aumenta la velocidad. Recordemos que la fórmula de **Potencia = Fuerza x Velocidad**, y que el área bajo la curva representa dicho parámetro. Por lo tanto, el punto en donde la velocidad sea máxima y la fuerza para esa velocidad también lo sea, representará la **Potencia Máxima**, y se corresponde con un área cuadrada. (la figura geométrica que representa la mayor superficie es el cuadrado; mayor superficie es mayor área bajo la curva).

Valores por encima o por debajo de este punto, no logran alcanzar el estado de máxima fuerza y máxima velocidad: Si estoy por encima de este punto, prevalece la fuerza sobre la velocidad y a medida que me desplazo hacia valores mayores de fuerza, se obtienen parámetros de fuerza y velocidad identificados con el desarrollo de la Hipertrofia, y a valores más altos de fuerza y más bajos de velocidad, entrenamientos asociados con el desarrollo de la fuerza máxima.

Por el contrario, si estoy por debajo de este punto referido como el de Potencia Máxima, prevalece la velocidad sobre el desarrollo de la fuerza y las características del entrenamiento están asociadas al desarrollo de la **fuerza resistencia** (capacidad de sostener por un período de tiempo una magnitud de fuerza dada)

Por último, vemos que existe una fuerza que sobrepasa a la Fuerza Máxima Isométrica (130 %) y con **signo negativo** en el eje de la velocidad. A este parámetro se lo conoce como **Fuerza Dinámica Excéntrica** (negativa).

PALANCAS

Una palanca es un sistema que tiene como finalidad cambiar la dirección y sentido de una fuerza o de aumentar la magnitud de la misma

Toda palanca esta compuesta por un punto de apoyo, una fuerza, una resistencia y los brazos de fuerza y resistencia

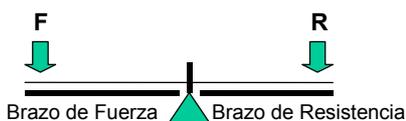
Un brazo de Fuerza / Resistencia es la distancia desde el punto de aplicación de la fuerza / resistencia hasta el punto de apoyo

Existen 3 tipos de palancas

PALANCAS

1º Género:

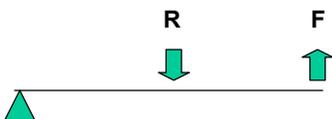
El punto de apoyo se sitúa entre la aplicación de la fuerza y la de la resistencia



Brazo Potencia = Brazo Resistencia
Eficacia Mecánica = 0 = EQUILIBRIO

2º Género (Inter-potente)

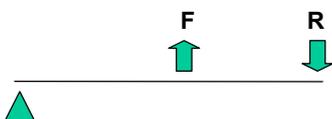
La aplicación de la resistencia se sitúa entre el punto de apoyo y el de la fuerza



Brazo Potencia > Brazo Resistencia
Eficacia Mecánica > 1 - Palancas de Fuerza

3º Género (Inter-resistente)

La aplicación de la fuerza se sitúa entre el punto de apoyo y el de la resistencia



Brazo Potencia < Brazo Resistencia
Eficacia Mecánica < 1 - Palancas de Velocidad

En las palancas de primer género, los brazos de las fuerzas y de las resistencias pueden tomar valores tales que algunas veces prevalezca uno sobre otro y viceversa. Pero en las palancas de segundo género, el brazo de la potencia siempre será mayor que el de la resistencia (palanca inter-potente; porque en un extremo está el punto de apoyo y en el otro el de potencia), lo que le permitirá movilizar grandes resistencias durante cortos trayectos (palancas de fuerza)

En cambio en las palancas de tercer género, el brazo de la resistencia será siempre mayor que el de la fuerza (palanca inter-resistente; porque en un extremo está la resistencia y en el otro el punto de apoyo), por lo que la fuerza a desarrollar deberá ser muy alta para movilizar una resistencia mucho menor, pero a gran velocidad (palancas de velocidad). La mayoría de las palancas del ser humano son de tercer género.

MOMENTO DE UNA FUERZA / RESISTENCIA

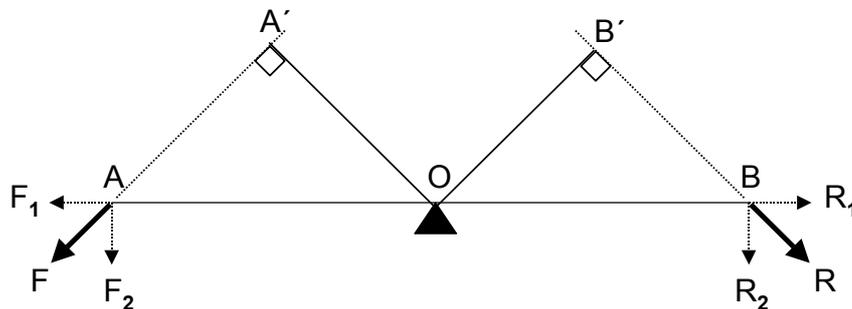
Momento de una Fuerza y Momento de una Resistencia

EFFECTO DE ROTACIÓN PRODUCIDO POR UNA FUERZA / RESISTENCIA QUE PROVOCA DESPLAZAMIENTO DE UN OBJETO SOBRE UN EJE

MAGNITUD DEL MOMENTO DE UNA FUERZA / RESISTENCIA DEPENDE DE

- 1- MAGNITUD DE LA FUERZA
- 2- BRAZO DE PALANCA

Distancia **perpendicular** a la línea de acción de la fuerza desde el eje de rotación



Es importante comprender que si el producto del brazo de resistencia por la resistencia es igual al producto del brazo de fuerza por la fuerza, no existe momento, es decir no hay desplazamiento. Se está en equilibrio.

$$\text{Fuerza} \perp \times \text{Brazo de fuerza} = \text{Resistencia} \perp \times \text{Brazo de Resistencia}$$

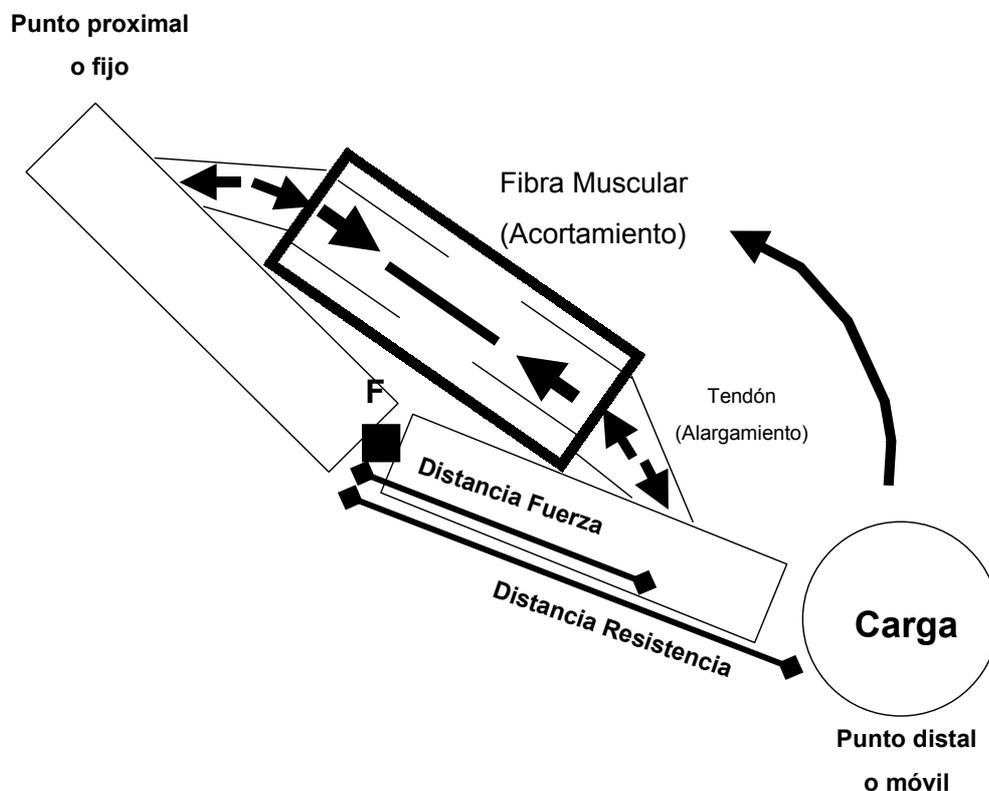
El signo \perp indica perpendicularidad, es decir que importan la fuerza o resistencia perpendicular al brazo respectivo. Por lo tanto si la fuerza o resistencia que se aplica es diagonal a dicho brazo, habrá que descomponer en sus componentes horizontales y verticales y tomar el valor del vector perpendicular a dicho brazo.

Otro detalle importante es comprender que si uno de los parámetros de la igualdad aumenta, el otro debe disminuir para mantener la igualdad.

Es decir, que si la distancia del brazo de fuerza es pequeña, la fuerza \perp deberá ser lo suficientemente mayor para seguir manteniendo la igualdad.

Por ello, cuando queremos movilizar un peso importante, hacemos palanca con una barra tomándola lo más distal posible del punto de apoyo, lo que me permitirá movilizar dicha carga un corto trayecto (el recorrido que debo hacer es más grande que el que recorre la resistencia)

Acortamiento Muscular y Palancas



En este gráfico vemos que el punto de inserción del músculo (biceps) está en posición

interna con respecto al punto de aplicación de la resistencia (carga).

Por lo tanto, es una palanca de tercer género, con un brazo de resistencia mayor que el brazo de potencia.

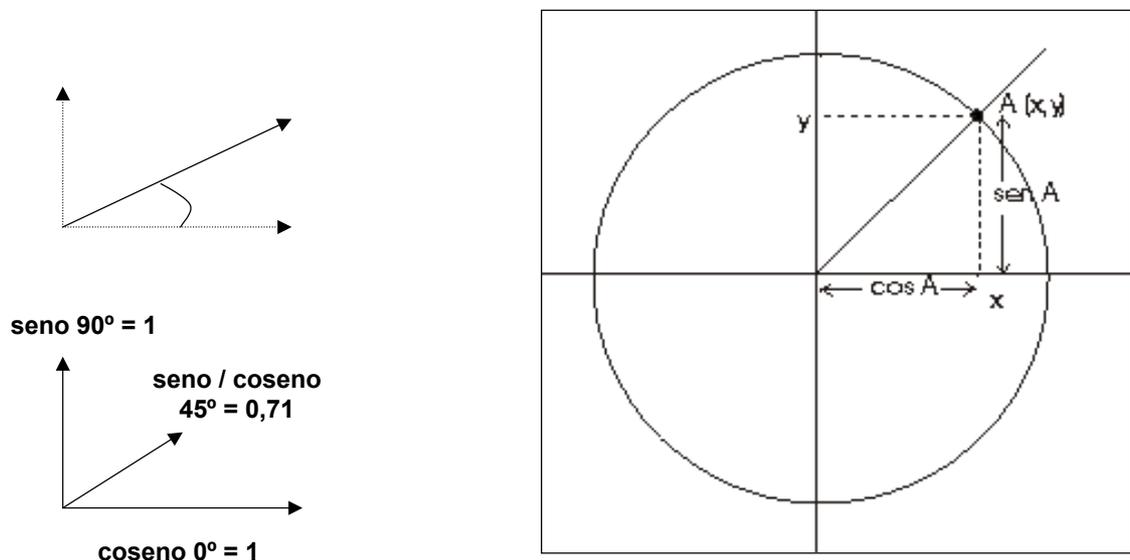
Por otra parte, los brazos de potencia y resistencia describen movimientos circulares, es decir que recorren una distancia que es medible en ángulos.

Esto importa porque aplicando funciones trigonométricas, se obtienen valores de los brazos de fuerza y resistencia que varían según el ángulo de que se trate. En otras palabras, los brazos de fuerza y de resistencia **no son constantes sino variables**

Las funciones trigonométricas más comúnmente usadas son el **seno** y el **coseno** de un ángulo.

Recordando la definición de trabajo como la fuerza que se emplea en movilizar algo durante una distancia determinada ($W = \text{fuerza} \times \text{distancia}$), esto sucederá siempre y cuando la trayectoria de la fuerza y de la resistencia estén en la misma dirección y sentido. Pero si la fuerza es oblicua a la dirección de desplazamiento o la dirección es oblicua a la vertical que determina la fuerza de gravedad, habrá que agregar a estas formulas las funciones trigonométricas respectivas

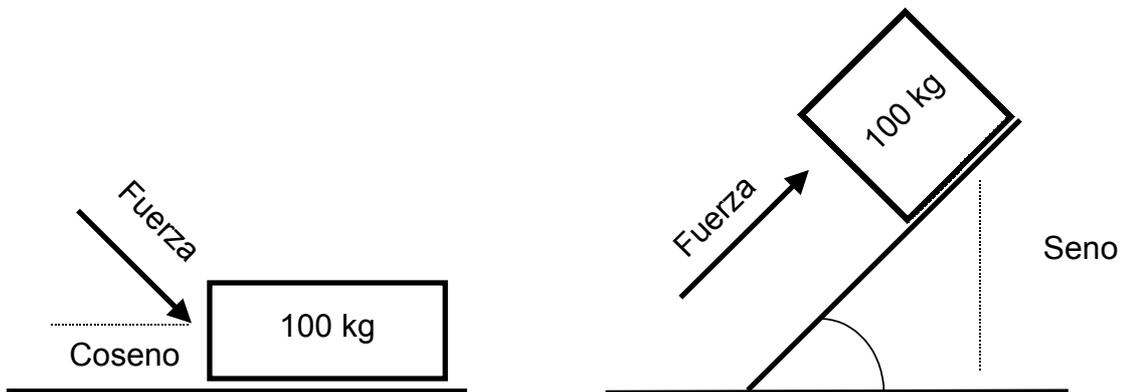
T = F x D x Función Trigonométrica (seno o coseno)



Por ejemplo, si quiero desplazar una caja de 100 kg y aplico una fuerza oblicua (45°) sobre dicha caja, necesito determinar el vector (vector componente horizontal en este caso) que tenga la misma dirección y sentido que tiene el desplazamiento de la caja. Por el contrario, si la fuerza aplicada tiene el mismo sentido que tiene el despla-

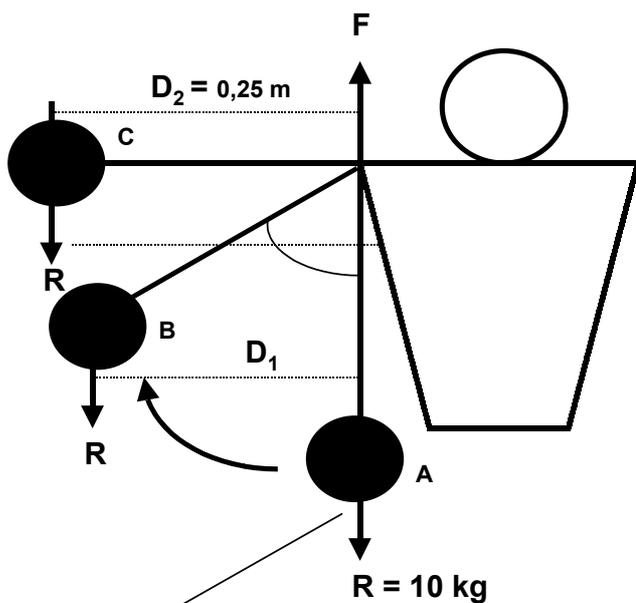
miento de la caja, pero la dirección es oblicua a la vertical (dirección de acción de la fuerza de gravedad), tengo que encontrar el vector (vector componente vertical en este caso) que represente la línea de acción de dicha fuerza de gravedad

Trabajo = Fuerza (100 kg) x Distancia (pendiente) x func. θ (45 °)



DESPLAZAMIENTOS ANGULARES

Hemos definido el significado de palanca y de momento de una fuerza / resistencia. A continuación analizaremos un ejercicio como vuelos laterales para aplicar estos conceptos.



Distancia = 0 ; No existe brazo de resistencia

<u>Momentos de Resistencias (Nm)</u>	
$A = F \cdot D \cdot \text{sen } \theta$	
$= 10 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m} \cdot 0 = \mathbf{0}$	
<hr/>	
$C = F \cdot D \cdot \text{sen } \theta$	
$= 10 \text{ kg} \cdot 0,25 \cdot 1 = \mathbf{2,5}$	

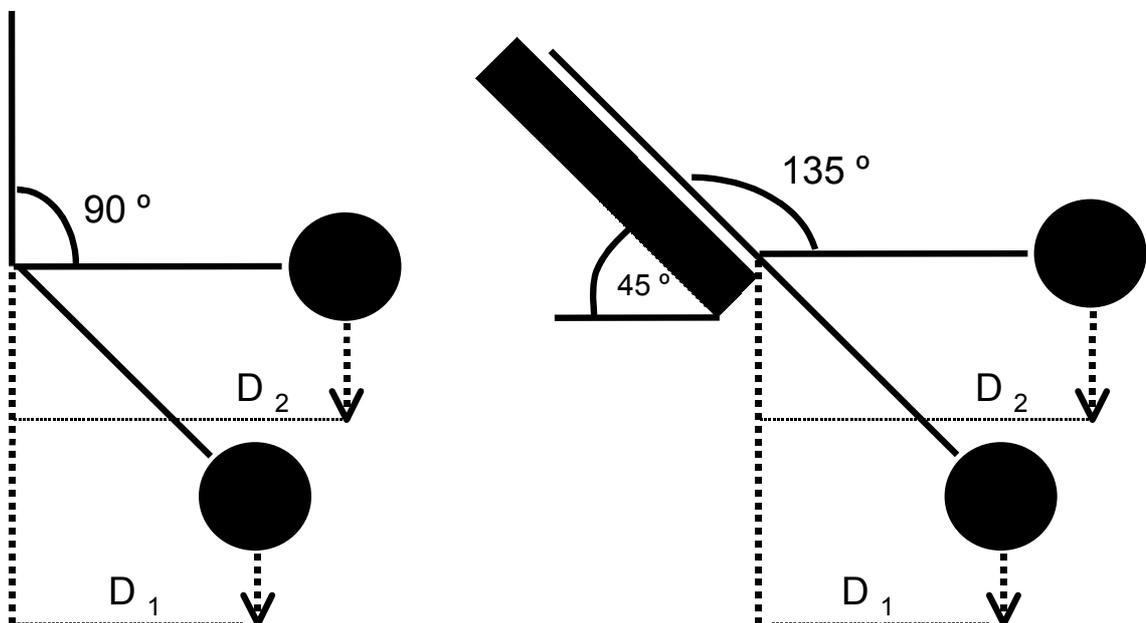
Cuando se parte de la posición de reposo, la resistencia se alinea con el eje de rotación ubicado a nivel del hombro (punto de apoyo), determinando un ángulo entre el brazo de la resistencia y la vertical igual a 0 (el seno de un θ de 0° es igual a 0)

Observese que el triángulo que se considera es el formado por la vertical (acción de la fuerza de gravedad) que toma el valor del coseno (cateto adyacente), la horizontal, que toma el valor del seno (cateto opuesto) y la hipotenusa que está representada por el brazo de resistencia que alcanzará su valor máximo cuando se sitúe en los 90° con respecto al eje del cuerpo, en donde el valor del seno será igual a 1 y que dicho seno tendrá un valor igual a 0 cuando el valor del ángulo sea igual a 0 (reposo)

Por lo tanto, el cálculo del trabajo, será en este caso

$$\text{Trabajo (W)} = \text{Resistencia (kg)} \times \text{Distancia (longitud del brazo)} \times \text{sen } \theta$$

Algo similar podemos analizar cuando comparamos un trabajo de Biceps parado a 90° contra un trabajo en Banco Scott a 45° .



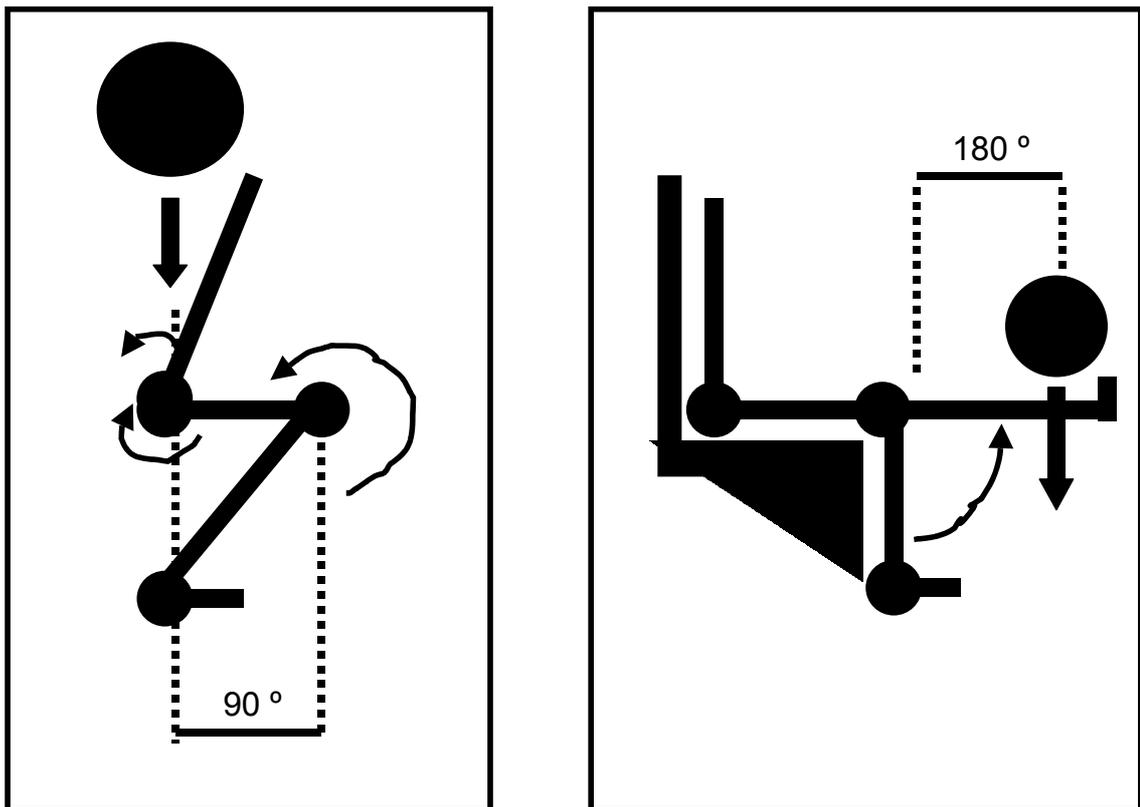
Siempre se considerará la carga (resistencia) por el brazo de resistencia (longitud del antebrazo en este caso) por el seno del ángulo que forman el brazo y el antebrazo.

Es necesario comprender que el máximo momento de la resistencia será cuando

el brazo de la resistencia sea máximo y esto sucederá cuando el valor del seno (o del coseno, según el caso) sea = 1.

Siguiendo el mismo análisis, podemos comparar por ejemplo, un trabajo de extensores de pierna, cuando efectuamos un movimiento de Sentadillas vs un movimiento en Sillón de Cuádriceps

SENTADILLA vs SILLÓN DE CUADRICEPS



Lo importante a destacar es que dependiendo del tipo de movimiento, se puede alcanzar el máximo momento de resistencia tanto en flexión de 90° (en sentadilla) como en 180° (extensión en sillón de cuádriceps). Es decir los máximos momentos se alcanzan a distintos ángulos sobre la misma articulación.

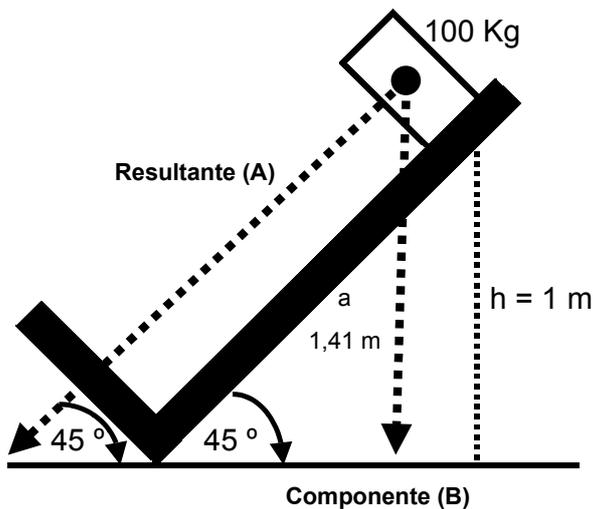
Para finalizar, haremos un análisis biomecánico del trabajo en prensa a 45°

Vemos que la carga total no recorre una dirección vertical sino que es oblicua respecto a la línea de acción de la fuerza de gravedad

Por lo tanto es de nuestro interés obtener el vector componente (vertical en este caso) que represente el valor real de la carga que se está movilizand

Es de destacar que como la magnitud de la carga a movilizar respecto al eje vertical disminuye, la distancia que recorre esta carga debe aumentar para mantener constante la fórmula de trabajo

ANÁLISIS BIO-MECÁNICO - PRENSA A 45 °



Determinación de la altura

$$\begin{aligned} \text{sen } \theta &= \text{Op (h)} / \text{Hip (a)} \\ \text{Hip (a)} &= \text{op (h)} / \text{sen } \theta \text{ 45} \\ \text{Hip (a)} &= 1 / 0,71 = 1,41 \text{ m} \end{aligned}$$

Determinación de la carga

$$\begin{aligned} \text{sen } \theta &= \text{Op (B)} / \text{Hip (A)} \\ \text{sen } \theta \text{ 45} \cdot \text{Hip (A)} &= \text{Op(B)} \\ 0,71 \cdot 100 &= 71 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$W = F \cdot D$$

$$100 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m} = \underline{100 \text{ Kgm}}$$

$$71 \text{ kg} \cdot 1,41 \text{ m} = \underline{100 \text{ kgm}}$$

TRABAJO NEGATIVO

El trabajo negativo (excéntrico) es aquel en el que se realiza tensión, pero la fibra muscular se elonga (los puntos de origen e inserción se alejan)

Habitualmente se suele mencionar a este tipo de trabajo como aquél en el que se puede manejar más carga (peso) y por ende, se interpreta que se es más fuerte.

En realidad, el individuo siempre es el mismo, lo que cambia es la forma de medición en que se realiza la fuerza.

Recordemos que los movimientos son de recorrido angular, y que la distancia que compone el momento de la resistencia se ve representada por el valor que surge de multiplicar el brazo de la resistencia por el seno/coseno del ángulo en cuestión y que varía a lo largo de todo el recorrido del movimiento

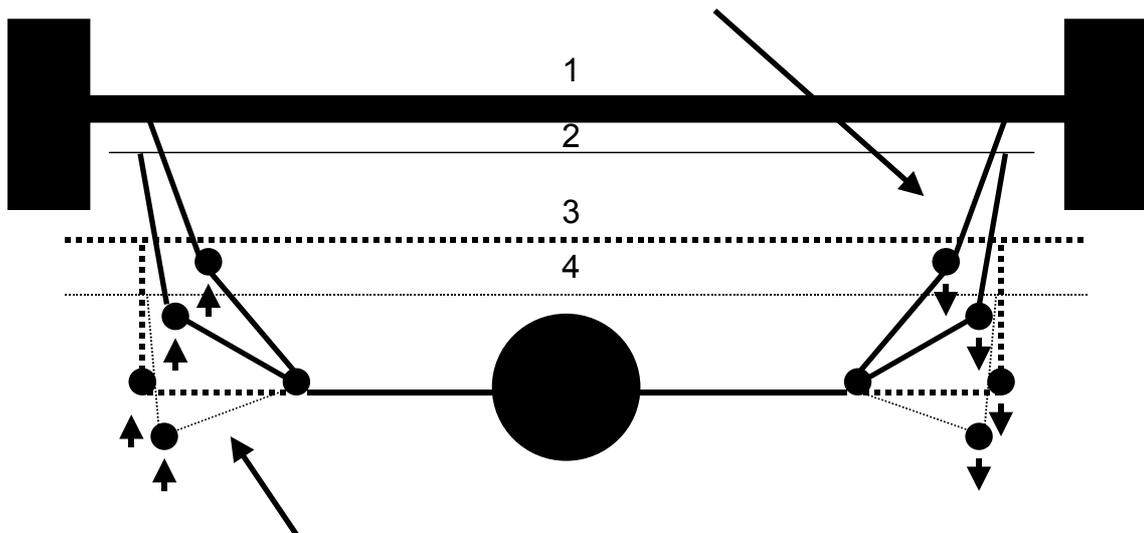
Esto determina momentos favorables para movilizar una carga, que será aquel en el

que el momento de la resistencia sea menor, y momentos desfavorables para movilizar la misma, cuando dicho momento sea mayor.

Veamos el siguiente ejemplo

Trabajo Negativo (Excéntrico)

Parte de una posición favorable y avanza hacia una desfavorable



Trabajo Positivo (Concéntrico)

Parte de una situación desfavorable y avanza hacia una favorable

Cuando cargamos la barra con 100 kilos, y hacemos un movimiento concéntrico, vemos como partimos de una posición desfavorable (hay que superar el máximo momento de la resistencia) para avanzar a la extensión completa de brazos.

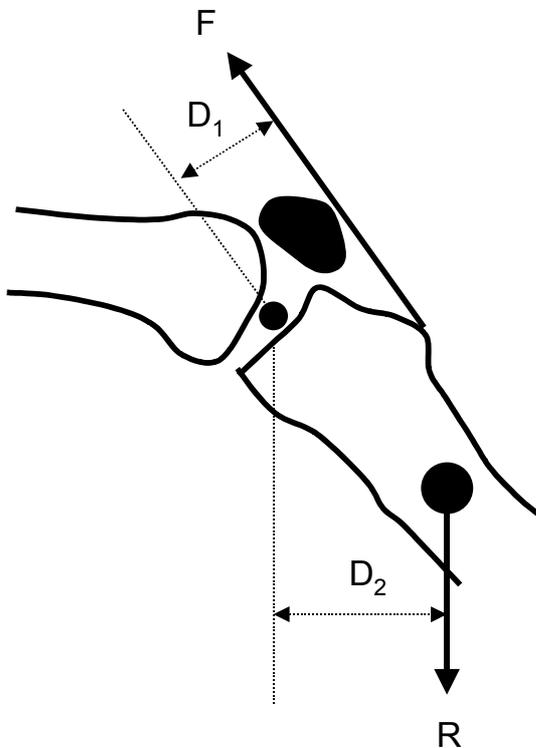
Por el contrario, si iniciamos el movimiento desde extensión completa de brazos e iniciamos el descenso, se parte de una situación tal que el momento de la resistencia es mínimo y nuestro control sobre el descenso es máximo. Pero a medida que avanzamos con el recorrido del movimiento, el momento de la resistencia se vuelve cada vez mayor a un punto tal que será imposible movilizar dicha carga en un trabajo positivo, dado el momento máximo de resistencia y el aumento del kilaje a mover (30-40 % más)

POLEAS

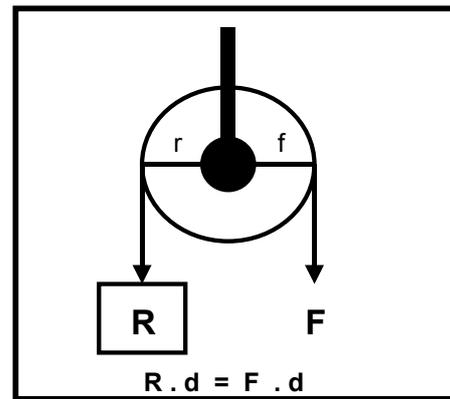
Las poleas son dispositivos que permiten modificar la dirección de la fuerza, multipli-

carla, y en el caso de las poleas excéntricas, **variar** el momento de la resistencia.

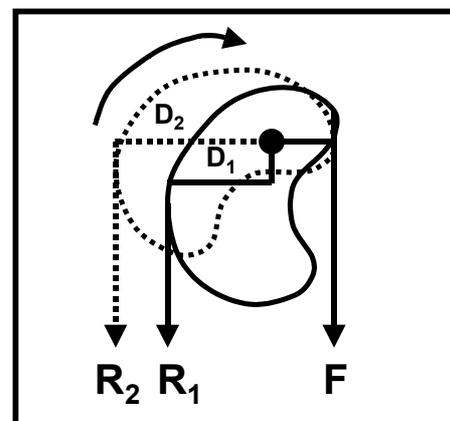
Poleas



Concéntrica



Excéntrica



Las poleas pueden ser representadas en nuestro cuerpo, como vemos en el caso de la rodilla.

Aquí la rótula **umenta** la distancia que va desde la recta que representa la trayectoria de la fuerza y el punto de apoyo o giro a nivel del centro articular de la rodilla.

La distancia D_1 mayor, aumentará el momento de Fuerza, por lo que huesos grandes, en este caso, suelen ser favorables mecánicamente para mover mayores cargas.

A la izquierda del gráfico vemos dos tipos de poleas:

- 1- Polea circular
- 2- Polea arriñonada (excéntrica)

La polea circular se comporta como un palanca de primer género, donde se establece un equilibrio entre la fuerza y su distancia al centro de giro, y la resistencia y su distan-

cia a dicho centro. Por lo tanto $Fuerza \times Distancia = Resistencia \times Distancia$.

En otras palabras, no hay aumentos en los momentos de fuerza y resistencia

Pero en la polea arriñonada, el centro de giro de la misma es excéntrico, es decir que a medida que gira, modifica el radio, es decir la distancia desde el sitio de apoyo y la aplicación de la resistencia / fuerza.

Por lo tanto, este tipo de poleas suelen ofrecer un mecanismo de adaptación al movimiento circular, de manera tal que cuando el momento de la resistencia a nivel articular es máximo, dicho momento a nivel de la polea es mínimo (ofrece el menor radio posible). Por el contrario, cuando el momento de la resistencia a nivel articular es mínimo, la polea ofrece su mayor radio para aumentar el momento a nivel de la polea. A este tipo de dispositivos se los conoce como dispositivos de **resistencia variable**.

INJURIA MUSCULAR

Durante el desarrollo embrionario, el desarrollo de órganos y tejidos es un proceso caracterizado por una alta tasa de hiperplasia (aumento del número de células) y por un alto grado de especialización, entendiéndose esto como el grado de diferenciación y capacitación que hacen de la célula, una entidad apta para el desarrollo de la tarea para la cual fue capacitada, por ejemplo, células especializadas en el transporte de impulsos eléctricos : Neuronas.

El tejido muscular no es ajeno a este proceso de aumento del número de elementos que van a conformar en el tejido muscular, como tampoco es ajeno al desarrollo de capacidades (especialización) que lo hacen apto para llevar a cabo tareas específicas, en este caso, capacidad de contracción y generación de tensión / fuerza.

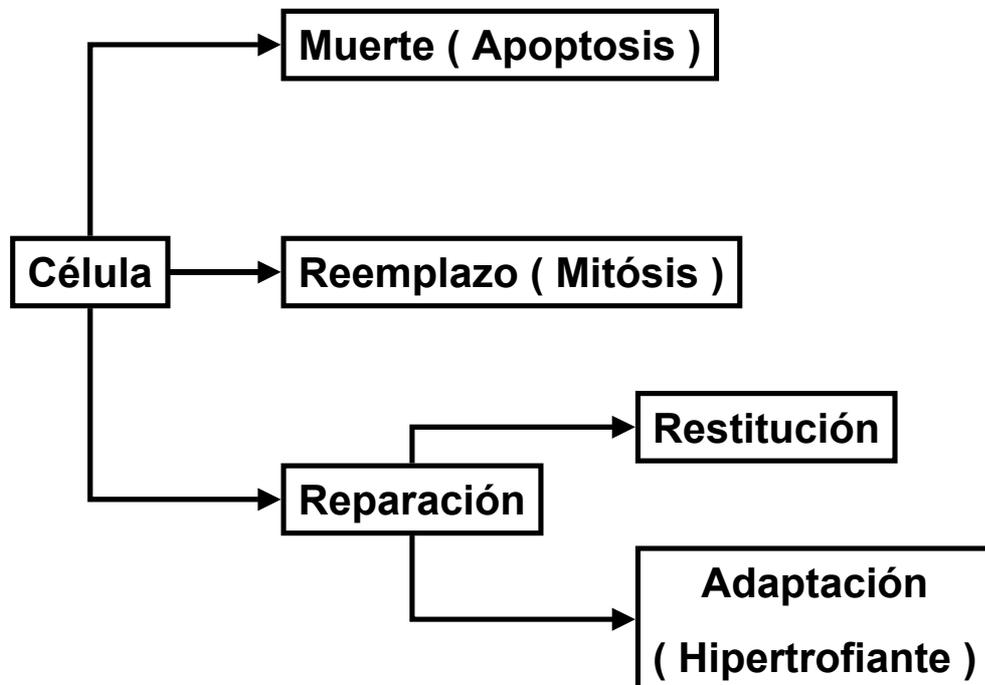
Por otra parte, cada una de nuestras células sufre un proceso de desgaste producto de su relación con agentes externos e internos, que da lugar a lo que se denomina

Fases de supervivencia.

En resumen, una célula puede seguir una serie de opciones en relación a su ciclo vital:

- 1- Muerte Celular : Apoptosis (muerte celular programada)
- 2- Reemplazo Celular : Mitosis
- 3- Reparación celular:
 - a- Restitutiva: Se restablece la situación anterior de la célula sin proceso adaptativo
 - b- Adaptativa : Se produce adaptación compensatoria (Sobre-compensación)

Fases de Supervivencia Celular

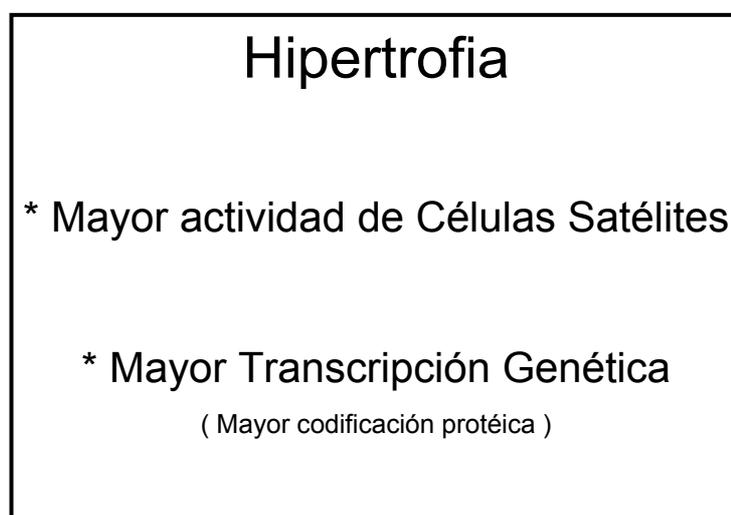


HIPERTROFIA

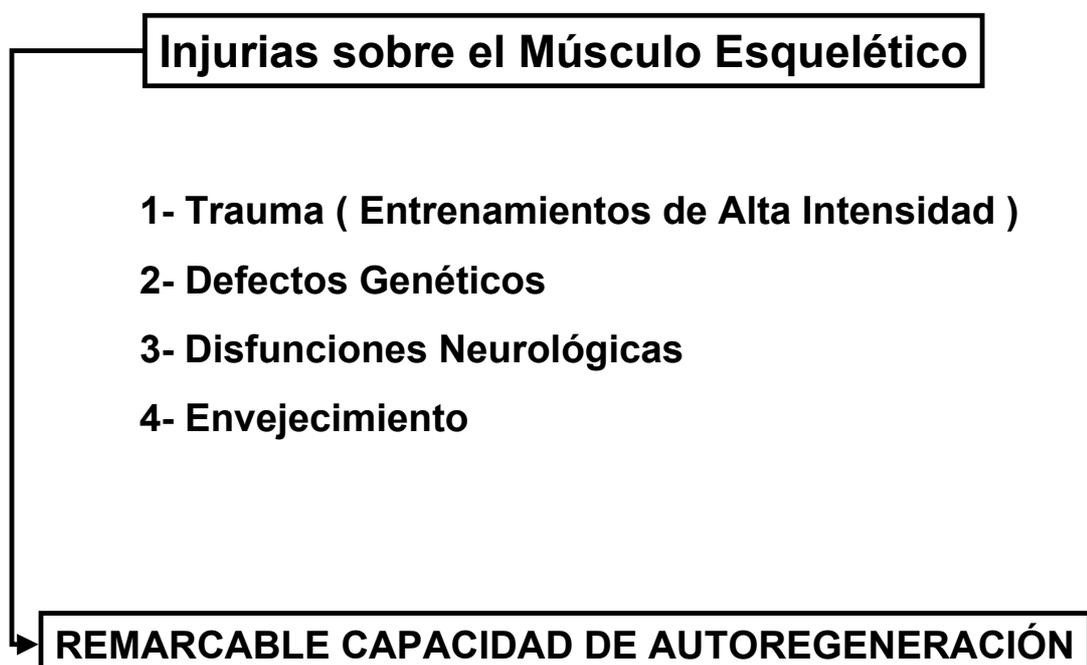
Es muy frecuente el pensar en hipertrofia en términos de aumento del volúmen. (aumento de la síntesis protéica). Esto lógicamente sería así, si la célula solamente sufriera cambios en su tamaño, y ninguna otra alteración de su morfología en general. Pero lo cierto es que el proceso de entrenamiento de por sí, provoca lesiones microscópicas en la membrana de la fibra muscular y en el citoesqueleto, lo que obliga a la misma a poner en juego mecanismos de reparación que permitan restituir la integridad de la célula

Este proceso involucra la participación de unos elementos conocidos como **células satélite**. Estas células, al igual que las **Células Madres**, son elementos indiferenciados, capaces de adoptar especializaciones de diversos tejidos, precisamente por su carácter de indiferenciación. En otras palabras, una célula madre, puede desarrollarse como neurona o como fibra muscular, dependiendo del medio ambiente y de las necesidades que requieran de una u otra célula especializada en un momento dado.

La diferencia entre célula madre y célula satélite, es que esta última permanece más localizada y con más limitaciones a la hora de especializarse en una estirpe celular. Dicho de otra forma, una célula satélite en tejido muscular, puede adoptar la especialización de cualquier tipo celular, pero que **pertenezcan a ese tejido** y no a otro. Por ejemplo, una célula satélite de tejido muscular, puede transformarse en fibra muscular, células de tejido conectivo o en elementos del componente circulatorio, pero de ese tejido. Por lo tanto, la hipertrofia no sólo respondería a un aumento del tamaño a expensas de la síntesis protéica, sino que además involucra la actividad de las células satélites



Por lo tanto lo que caracteriza al tejido muscular, no sólo es su capacidad de desarrollar tensión, sino su marcada capacidad de **autoregeneración**



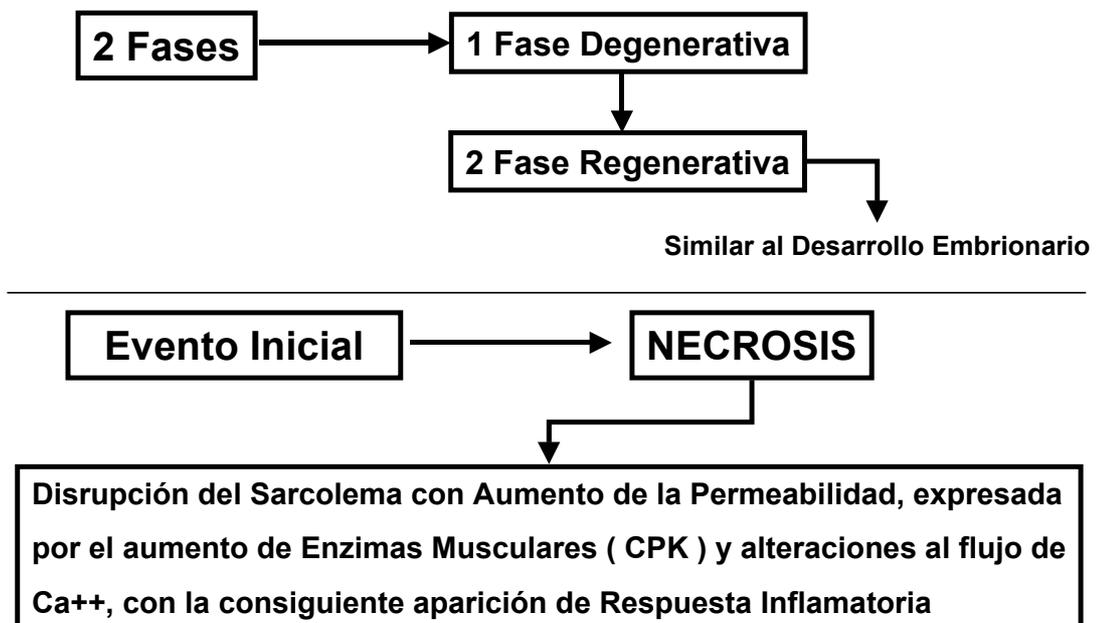
CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE REGENERACIÓN MUSCULAR

El proceso de regeneración muscular conserva las mismas características que el proceso de desarrollo a nivel embrionario.

Este proceso se caracteriza por una primera etapa en donde se produce una injuria, seguido de una etapa de reparación.

El evento inicial es la necrosis de un sector de la fibra, con la alteración de la permeabilidad expresada por aumento de la enzima Creatina Fosfo Quinasa (CPK) y alteraciones en el flujo de calcio, seguido inmediatamente por una fase de respuesta inflamatoria aguda.

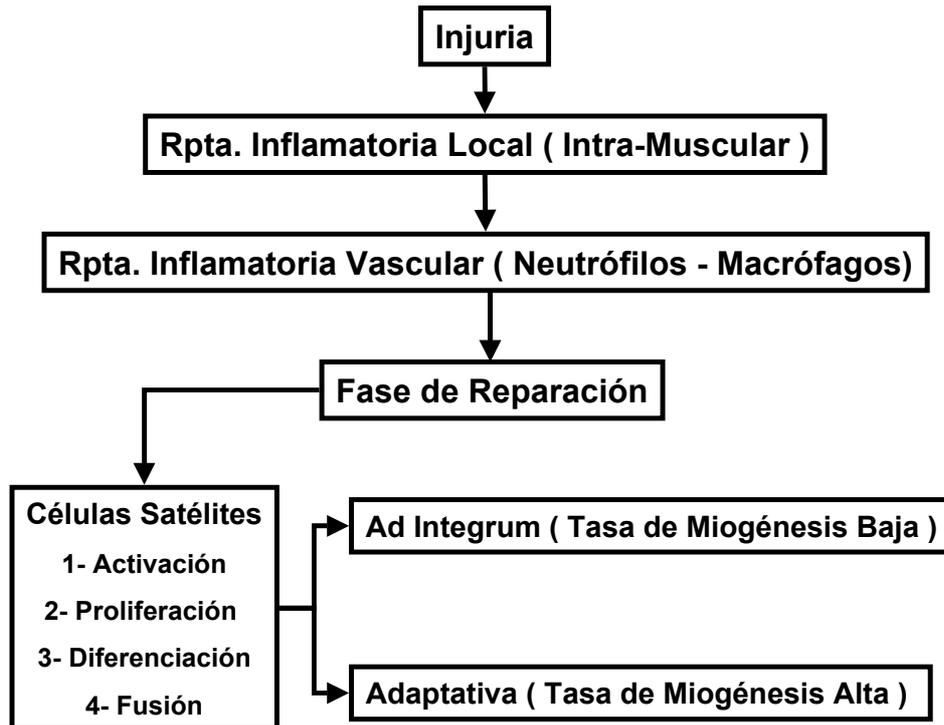
Características Morfológicas de la Regeneración Muscular



Esta fase de respuesta inflamatoria estimula de alguna forma a las células satélites para que inicien su activación y lleven a cabo el proceso de reparación, que dependiendo de las características de estímulo que provocó la injuria, esta podrá ser de tipo reconstitutiva (Ad Integrum) o como un proceso adaptativo sobrecompensatorio (Hipertrofia)

Debe rescatarse aquí la importancia del estímulo que provoca la injuria como principal disparador del tipo de respuesta regenerativa.

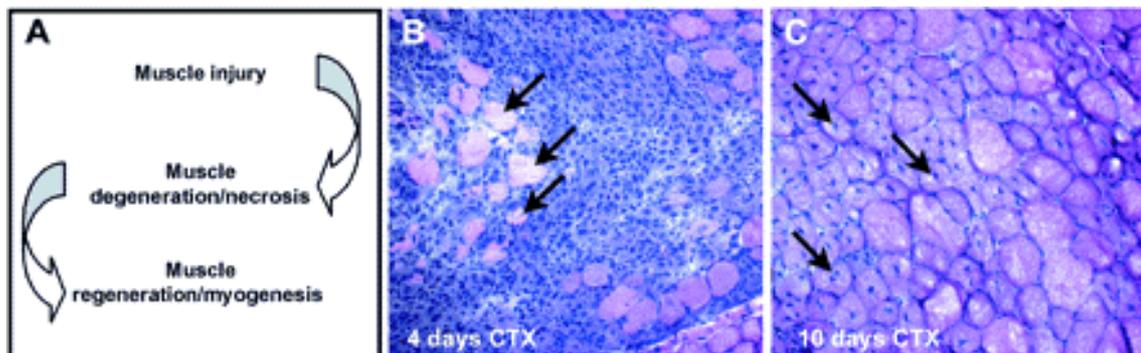
Esto cobra vital importancia en los trabajos con sobrecarga, en donde el daño mecánico, como veremos más adelante, es capaz de direccionar el tipo de respuesta final



ESTADIOS PROLIFERATIVOS DE LAS CÉLULAS SATÉLITES

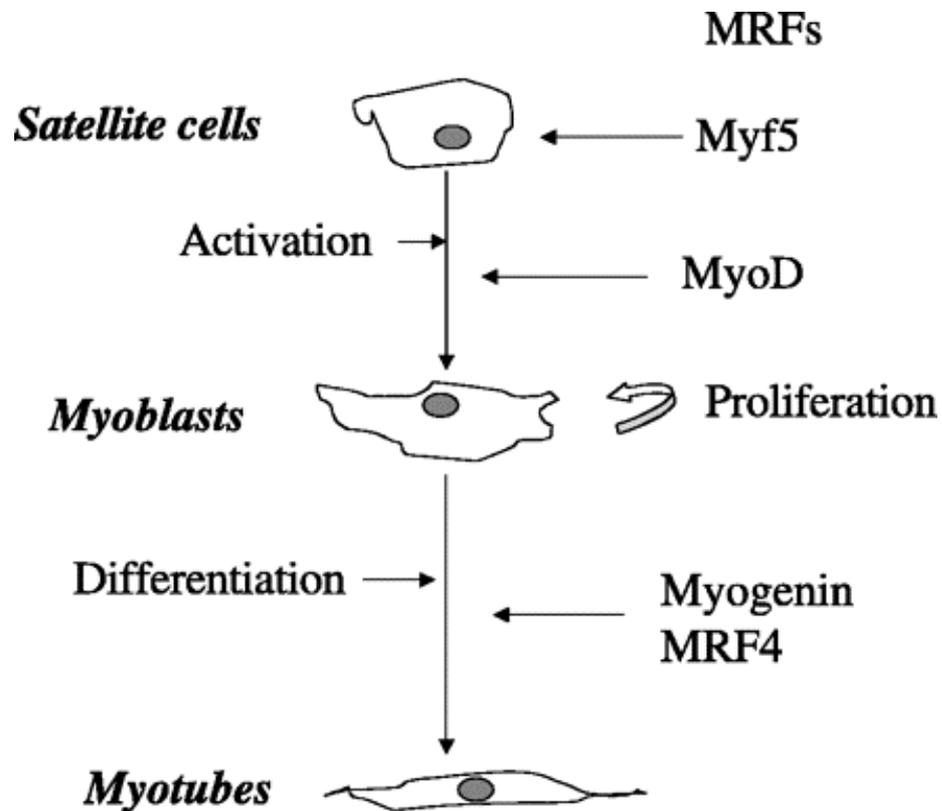
La proliferación de células satélites, o para ser más exáctos, la activación, proliferación, diferenciación y fusión de las células satélites, es un proceso complejo que requiere de una serie de elementos conocidos como **Factores reguladores de la Miogénesis (MRF)** y los **Factores de Crecimiento**.

En la siguiente figura, vemos como la acción de una sustancia citotóxica provoca un elevado daño en el tejido muscular de una rata (A – B), el que luego de 10 días alcanza una completa restitución evidenciada por la presencia de nuevas fibras, caracterizadas por la presencia de núcleo central (las fibras adultas poseen núcleos periféricos –C)



Esta evolución seguida por las células satélites está representada en la siguiente figura

Estadíos Proliferativos de Células Satélites



En este proceso se puede ver claramente tres sub-estadios:

- 1- Células Satélites
- 2- Mioblastos inmaduros (Miocitos)
- 3- Mioblastos Maduros (Miotubos)

Durante el proceso de activación de las células satélites, son los Factores Reguladores de la Miogénesis (MRFs) los responsables del desarrollo del mismo.

Entre ellos, tanto el **Myf5** como el **MyoD**, participan principalmente como **activadores y estimuladores de la proliferación**.

Por otra parte, **Myogenin y MRF4**, son responsables de la **diferenciación y fusión** de los miotubos a las fibras dañadas.

MECANISMO DE TRADUCCIÓN MECÁNICO – QUÍMICO

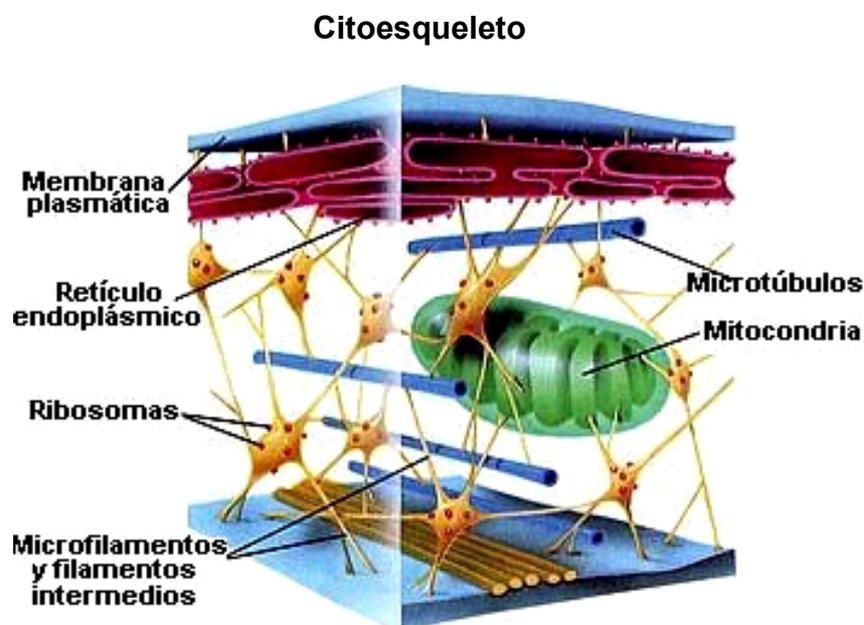
Hasta el momento se hablo de que dependiendo del estímulo que recibe la fibra muscular, esta es capaz de responder de dos maneras distintas:

- 1- Con Restitución Ad Integrum
- 2- Con Adaptación Hipertrofiante

También se mencionó que eran las células satélites las encargadas de responder ante la injuria celular producto del estrés del entrenamiento, estimuladas por los factores regulatorios de la miogénesis

Pero para que la injuria pueda traducirse en hipertrofia, es necesario que exista un sistema de señalización que sea capaz de especificar claramente el tipo de respuesta a generar y que además ese mensaje llegue a las células satélites.

Este dispositivo es de tipo mecánico, y está asociado al citoesqueleto, conjunto de fibras de tejido elástico-conectivo, ubicado en el interior de la célula, conformando una malla reticular y cuya finalidad es mantener la estructura y forma de la fibra muscular



Cuando la acción sobre la fibra produce sobrecarga o alargamiento, la misma respon-

de con producción de un factor de crecimiento conocido como **Factor Mecánico de Crecimiento (MGF)**.

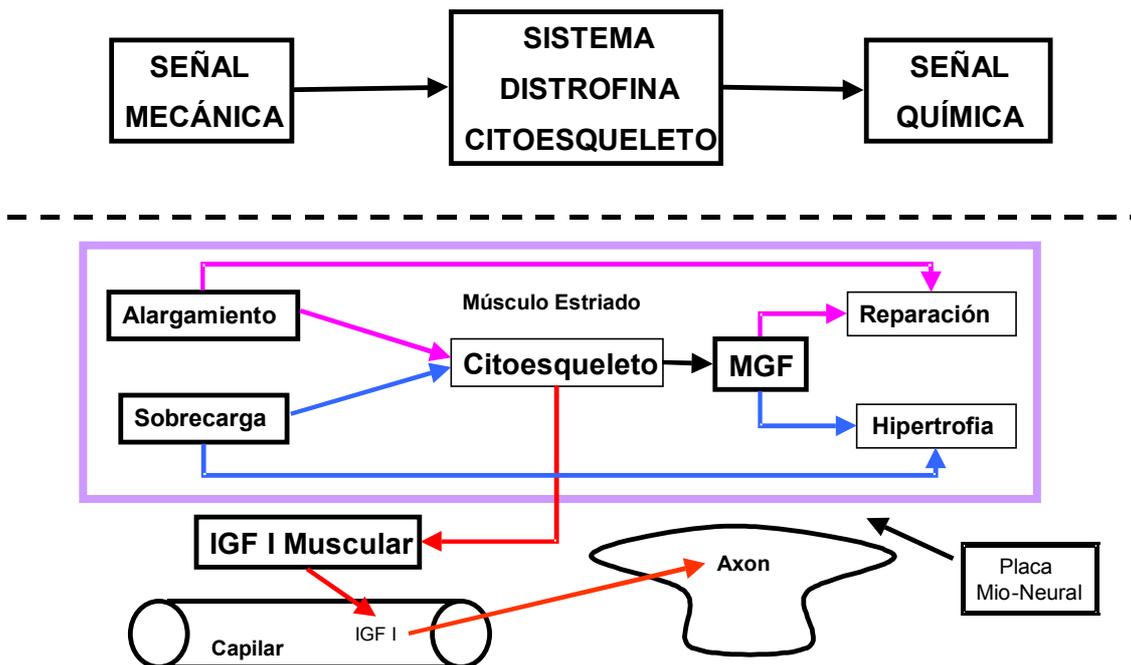
Este MGF es similar al **IGF I**, Factor de crecimiento similar a la Insulina Tipo I, pero de actividad local intramuscular.

Aunque aún no está claro como hace la fibra para reconocer la diferencia entre tensión por sobrecarga o alargamiento (probablemente participen los Husos neuro-musculares y los órganos tendinosos de Golgi), lo que sí se ha podido evidenciar es que si la injuria es producto de un mecanismo asociado a sobrecarga, el MGF activa la respuesta adaptativa provocando una restitución de la fibra con **Hipertrofia**.

Por el contrario, si el mecanismo que provoca la injuria es de tipo alargamiento, la respuesta es de reparación Ad Integrum, **sin hipertrofia**.

Probablemente esto explique porqué los trabajos excéntricos no son responsables de hipertrofias significativas

Mecanismo de Traducción Mecano-Químico



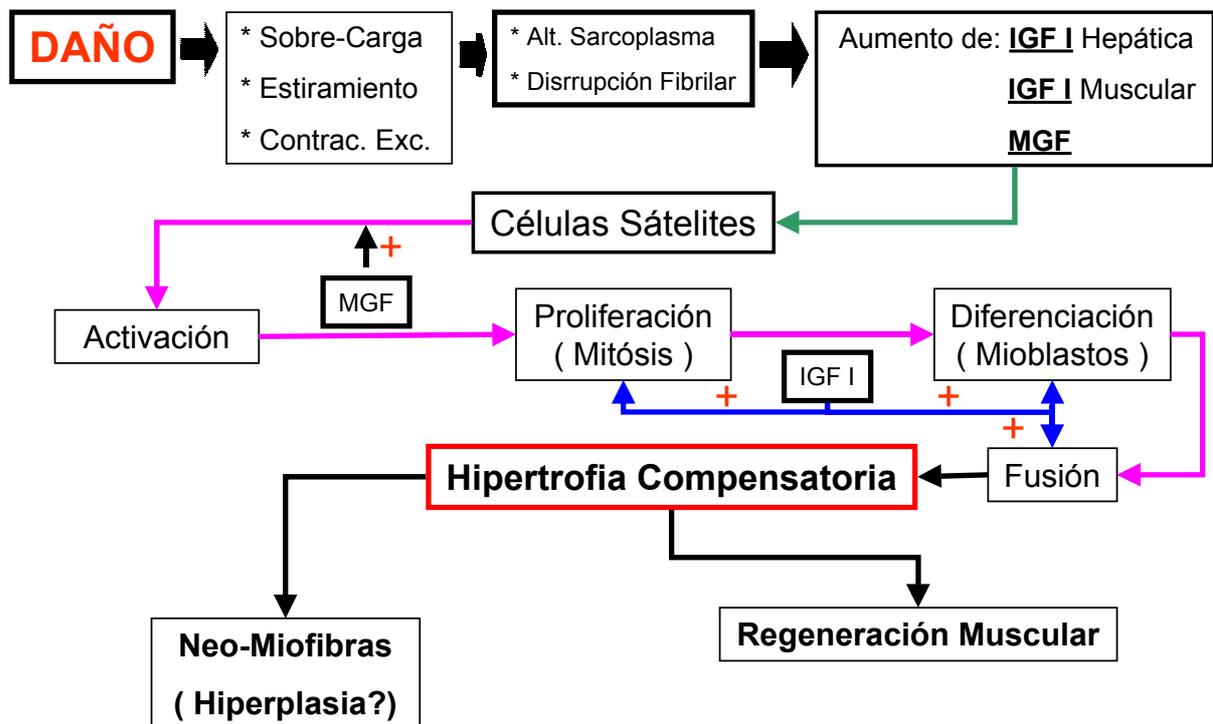
Por otra parte, el aumento de IGF I también es importante por su participación en la fusión de los mioblastos maduros a las células dañadas.

Se podría decir que la participación de MGF es fundamental para iniciar la respuesta de las células satélites, pero sin la presencia de IGF I, el proceso no se completa.

Además, si el proceso solamente es el de reparación, pero la misma es llevada a cabo por mecanismos de proliferación de células satélites (hiperplasia transitoria) y su posterior fusión con la fibra dañada, cabe la posibilidad de que algunos de estos mio-blastos maduros, no se fusionen y queden como entidades nuevas, aumentando el número de fibras musculares (**Hiperplasia definitiva**)

A continuación vemos un gráfico que resume lo dicho hasta el momento

IGF I y Adaptación Muscular



Hasta qué punto estos factores de crecimiento y de regulación de la miogénesis influyen en el desarrollo de la masa muscular?

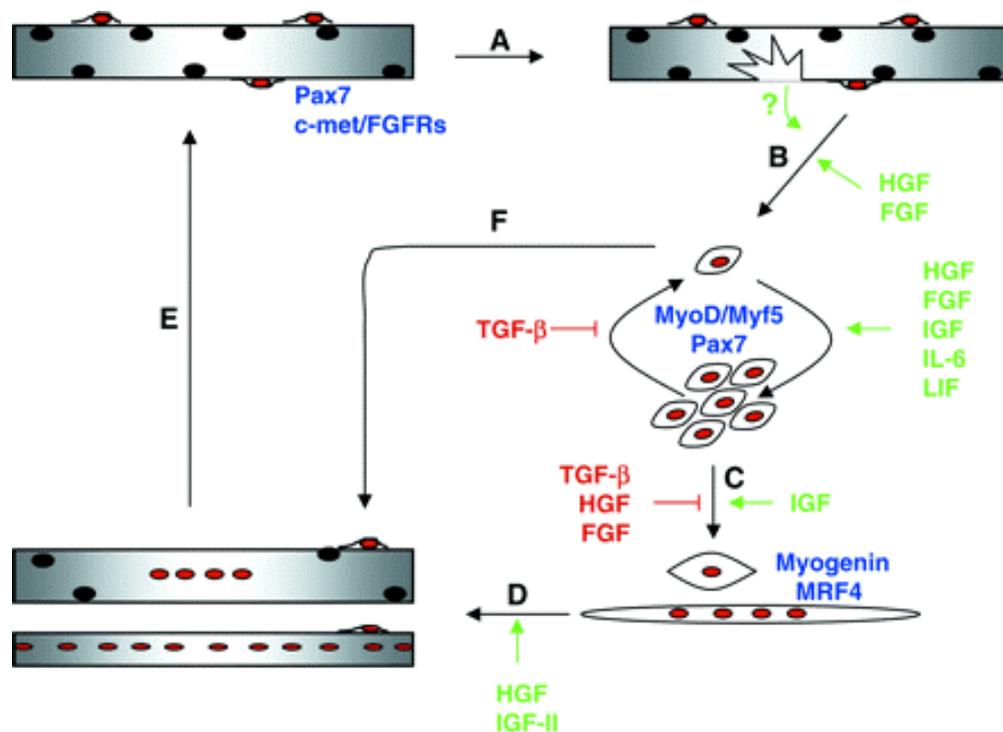
Los factores de crecimiento y desarrollo, como por ejemplo el IGF I, son responsables en gran parte de la respuesta adaptativa y sobrecompensatoria del tejido muscular cuando este es sometido a trabajos de alta intensidad.

Pero que tan alta intensidad es necesaria para una respuesta aceptable en cuanto a producción de estos factores?

Solamente con altos niveles de injuria se consigue un crecimiento significativo, o se puede crecer con injurias submáximas?

Además, en el caso de entrenamientos muy estresantes, se corre un riesgo, relacionado con la respuesta inflamatoria, debido a que la presencia de cortisol, puede en algunos casos jugar a favor, cuando su actividad es necesaria para la limpieza en la zona de los productos de desechos provocados por la aplicación de la injuria, pero en otros casos, si los niveles de cortisol son muy altos, la fibra puede ser incapaz de responder en tiempo y forma, lo que se suele conocer como **sobre-entrenamiento**. A continuación podemos ver unos gráficos que representan los mecanismos de restitución o reparación del tejido muscular

Mecanismo de Reparación Muscular



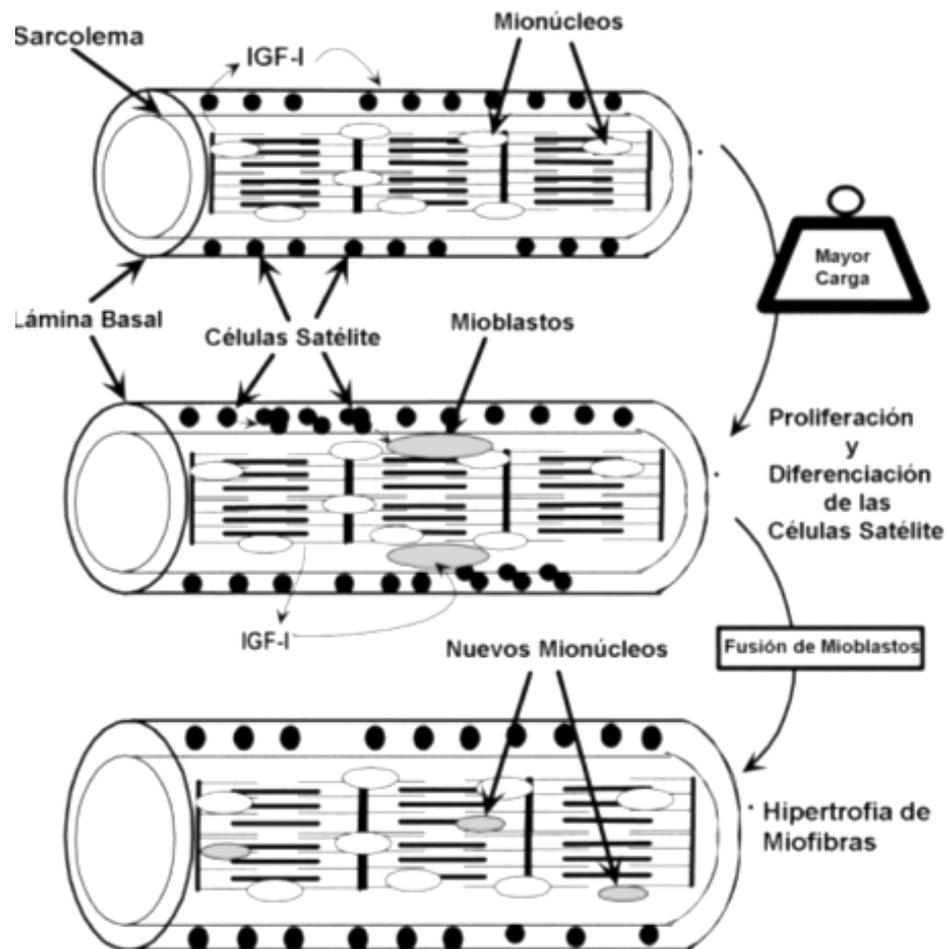
Lo más importante, es tener presente que siempre que se produzca una injuria, la misma debe tener cierta intensidad y debe ser capaz de desencadenar la actividad de los factores de crecimiento (**IGF I** – **MGF** – **HGF** (Factor de crecimiento hepatocitario) – **FGF** (Factor de Crecimiento de Fibroblastos), etc)

Estos permitirán que los factores regulatorios de la miogénesis, permitan que las células satélite se activen, proliferen, se diferencien y se fusionen con la célula injuriada. Por lo tanto, lo que queda por determinar es cuáles son las magnitudes de intensidad y volumen capaces de desencadenar la respuesta regenerativa e hipertrofiante más

favorable.

En el gráfico que vemos a continuación, se resume como el trabajo de sobre-carga puede desencadenar una respuesta adaptativa hipertrofiante

MIOGÉNESIS E HIPERTROFIA COMPENSATORIA



ADAPTACIÓN BIOLÓGICA Y ENTRENAMIENTO DE ALTA INTENSIDAD

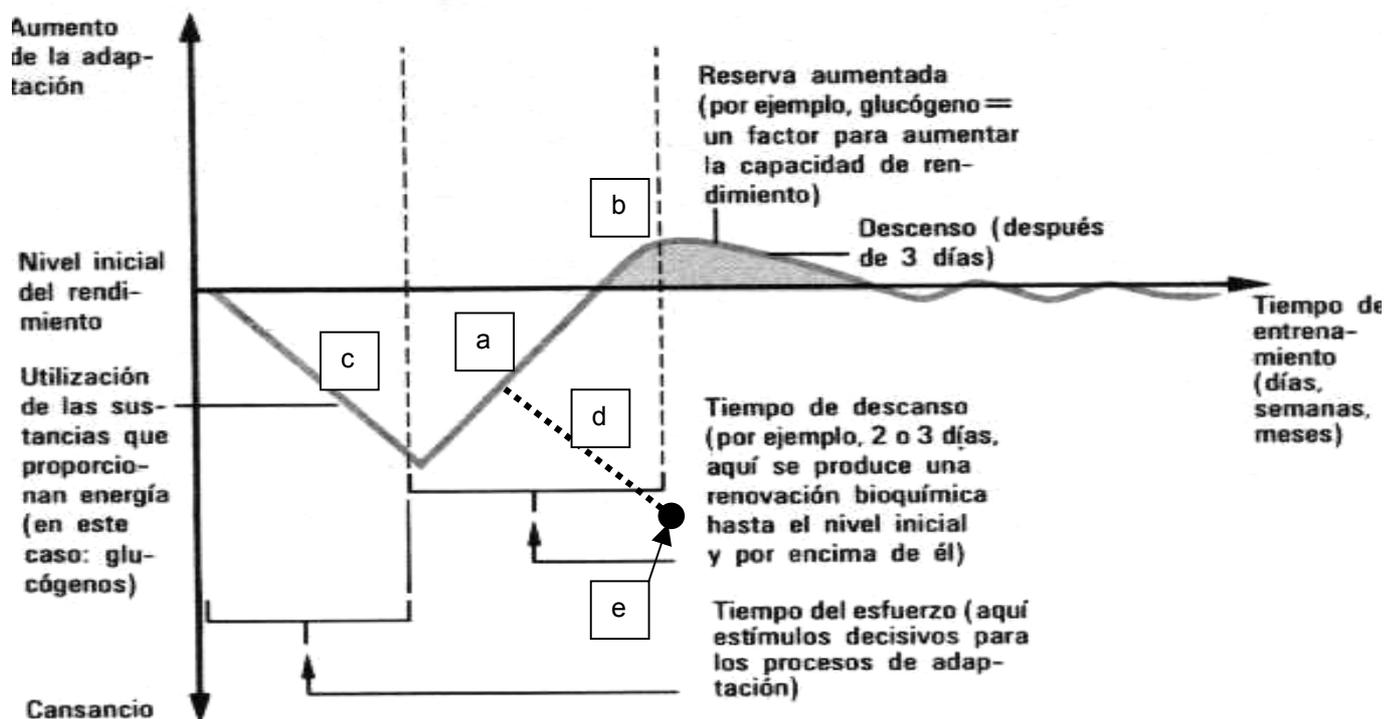
La capacidad de mejora del rendimiento deportivo está basada en la habilidad del organismo de adaptarse de manera satisfactoria a los estímulos de entrenamiento que recibe.

Considerado a dicho estímulo (en este caso compuesto por la carga a mover y la velocidad de ejecución) como una acción estresante, la fibra muscular responderá con restitución de su capacidad contráctil, pero por encima de su nivel anterior.

Es importante tener presente que la fibra muscular realizará todos los procesos de reparación y adaptación en el período de descanso. En otras palabras, **el músculo crece cuando descansa y no cuando entrena.**

En el siguiente esquema podemos ver mejor estos conceptos

Adaptación Biológica y Sobre-compensación



El tiempo de descanso, representado por la pendiente **a**, es el tiempo necesario para que se produzcan los eventos de reparación provocados por los entrenamientos intensos.

Si antes de que se alcance la sobrecompensación, representado por el punto **b**, se producen nuevos estímulos (**d**), cada uno de ellos provocará una caída mayor de las reservas que se agotan con cada estímulo, lo que provoca acumulación de fases de descenso de la pendiente **c**, lo que se conoce como **sobre-entrenamiento**, situación representada por el punto **e**

CARGAS DE TRABAJO

Cuando se decide planifica el trabajo en el gimnasio, uno de los mayores desafíos es el de lograr un equilibrio entre las demandas impuestas al organismo (estrés) y los tiempos de recuperación.

Cuatro son los términos que más suelen utilizarse en la planificación de la sesión de entrenamiento:

CARGA DE TRABAJO

- | | |
|-----------------|---|
| 1- INTENSIDAD : | GRADO DE ESFUERZO
RELACIONA LA FUERZA CON LA VELOCIDAD |
| 2- VOLUMEN: | CANTIDAD TOTAL DE TRABAJO |
| 3- FRECUENCIA | DISTRIBUCIÓN DE LAS SESIONES
DE ENTRENAMIENTO |
| 4- DENSIDAD | RELACIÓN TRABAJO / RECUPERACION |

Quizás, el término que más inconvenientes y polémicas genera es la denominada **Intensidad**.

Desde el punto de vista científico, es necesario comprender que las variables a las que se le asignan calificaciones de carácter subjetivo, pierden exactitud y veracidad porque lo que puede parecerle intenso a un atleta , puede no serlo para otro, o aquel deportista que cree haber alcanzado su tope o punto máximo, quizás desde el punto de vista fisiológico todavía podría continuar, y en caso de no hacerlo , no se debería a factores asociados a cuestiones energéticas o mecánicas; por el contrario, el factor determinante sería de origen emocional.

Por lo tanto, intentaremos asociar el concepto de intensidad con magnitudes numéricas que puedan ser comparables tanto dentro del mismo sujeto a lo largo de un período de tiempo (**comparación intrasujeto**) como así también entre dos deportistas en un mismo momento (**comparación intersujeto**)

Por tal motivo, necesitaremos aclarar un concepto que es fundamental, y es el término

conocido como **esfuerzo**

INTENSIDAD

* Grado de esfuerzo por REPETICIÓN

* Grado de Actividad Muscular desarrollada para oponerse a una Resistencia

ESFUERZO

* Grado de exigencia fisiológica (“Lo que a uno le es posible hacer”)

* Asociado a la FUERZA, y al TIEMPO de aplicación de esa fuerza

SE PUEDE EXPRESAR EN FUNCIÓN DE LA

TENSIÓN MUSCULAR = FUERZA

POTENCIA MUSCULAR = FUERZA x VELOCIDAD

CANTIDAD DE MOVIMIENTO ($m \times v$) = FUERZA x TIEMPO (impulso)

En el cuadro anterior vemos asociado el concepto de intensidad al de esfuerzo, de manera tal que se denomina intensidad al grado de esfuerzo por repetición.

Pero el esfuerzo es a su vez, un grado de exigencia fisiológica, es decir, el **esfuerzo máximo** representa 100 % de nuestra **capacidad biológica** para responder a un estímulo.

Por lo tanto, podemos asignar grados de esfuerzo, es decir conformar una escala, que será confeccionada siguiendo reglas pre-establecidas, y que conforman en definitiva, un sistema de medición

En otras palabras, una escala es un conjunto de valores posibles que se pueden asignar a una variable (en este caso esfuerzo), empleando un sistema de reglas correspondiente.

El conjunto de valores posibles puede ser expresado en valores de Fuerza (Newton), Potencia (Julio), o Impulso ($\text{Newton} \times \text{seg}^{-1}$), y puede ser expresado como valores absolutos o porcentuales.

FACTORES DETERMINANTES DE LA INTENSIDAD

En el gráfico que sigue, vemos resumidos los factores que determinan a la intensidad.

FACTORES DETERMINANTES DE LA INTENSIDAD

1- CARÁCTER (GRADO) DEL ESFUERZO EMPLEADO

% DE DEMANDA FISIOLÓGICA (metabólica y neuromuscular)

“Lo que hago en relación a lo que soy capaz de hacer”

2- VOLUMEN DE TRABAJO (FUERZA X DISTANCIA)

REPETICIONES POR SERIE

3- VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO O EJECUCIÓN DE LA REPETICIÓN

TIEMPO EMPLEADO PARA LA REALIZACION DEL MOVIMIENTO

4- DENSIDAD

RELACIÓN ESFUERZO / PAUSA (DESCANSO)

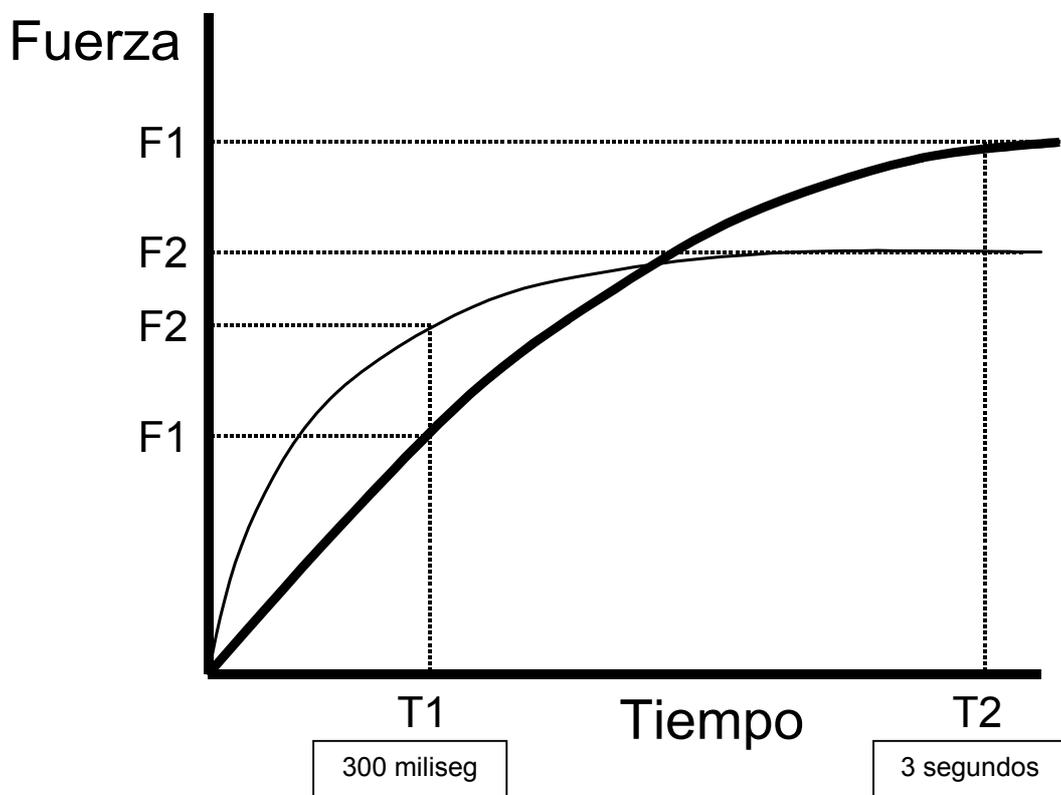
El **carácter o grado** de esfuerzo empleado, es uno de los factores más utilizados para expresar niveles de intensidad. Si evaluamos cualquier cualidad motriz, y llevamos al atleta a su máximo rendimiento posible en ese momento, tomando como criterio de fatiga algún parámetro fisiológico que sea factible de medir y de repetir su medición en futuras evaluaciones, este valor (por ejemplo frecuencia cardiaca) será tomado como **índice de rendimiento máximo** (100 %) y a partir de este valor, se podrán establecer zonas de intensidades submáximas, que posibiliten la planificación del entrenamiento.

En el caso de la fuerza, suele tomarse como patrón de referencia, a la máxima carga que se es capaz de movilizar en 1 sola repetición. Pero también se debe entender que en esta expresión solamente se considera la masa a movilizar y no la velocidad y la aceleración que se le imprime a esa masa (fuerza es igual a masa x aceleración).

Por lo tanto, con la carga máxima, se puede tener una sola velocidad para ese movimiento (recordemos que cuando se hacen repeticiones con cargas máximas la veloci-

dad no es controlada, es **la máxima posible**).

Pero con cargas submáximas, se pueden tener velocidades y aceleraciones que no necesariamente guardan relación directa con la velocidad de la repetición máxima. En otras palabras debemos considerar el factor tiempo cuando hablamos de fuerza y en este caso, vemos que se puede ser fuerte por mover una carga en condiciones ideales de tiempo, pero cuando los tiempos de ejecución se reducen a intervalos más cortos (la mayoría de los gestos deportivos no superan los 300 miliseg.), no necesariamente el que mueve más carga es el mas fuerte bajo tales condiciones de tiempo.



En el gráfico anterior vemos como la fuerza 1 es menor que la fuerza 2 en el lapso de tiempo que ronda los 300 milisegundos. Sin embargo, si le damos tiempo para que se desarrolle, la fuerza 1 es mayor que la fuerza 2 en un lapso de tiempo cercano a los 3 segundos.

Quiere decir que habrá tantas fuerzas máximas como cargas se tomen, si consideramos a la velocidad (y por ende al tiempo), como factor determinante de la fuerza (Fuerzas máximas dinámicas relativas)

Otras fuerzas máximas son la Fuerza Máxima Isométrica y la Fuerza Útil.

La fuerza máxima isométrica es aquella que no logra vencer la resistencia. Se consi-

dera máxima, inclusive por encima la fuerza dinámica máxima (1 Repetición máxima) porque siempre que se logra acelerar (mover) la barra, es porque la fuerza es levemente superior al peso de la carga. Dicho de otro modo, si puedo subir la carga a mover, de manera tal que ese aumento de la carga me ubique en una situación de no superación de la resistencia, este punto representa la máxima fuerza que soy capaz de desarrollar y que solo aparece en el punto **inmediatamente anterior** al momento de **no superación** de la carga. (Fuerza Isométrica Máxima)

Por último, la fuerza útil es aquella que se manifiesta en los tiempos en que se ejecutan la mayoría de los gestos deportivos

Otros factor importante a la hora de determinar la intensidad de trabajo es el volúmen El mismo representa la cantidad de series y repeticiones por sesión de entrenamiento y es un parámetro que junto al grado de esfuerzo, da origen a una situación que los enfrenta:

- 1- Entrenamientos de bajo volúmen y alto grado de esfuerzo
- 2- Volúmenes de trabajo importantes con esfuerzos sub-máximos

Por último, tanto la velocidad de ejecución como las pausas / recuperación entre series y ejercicios, son factores asociados a los sistemas energéticos, y que tienen marcada influencia en la aparición de fatiga.

En el cuadro siguiente, podemos observar un resumen de las distintas mediciones posibles de las distintas manifestaciones de fuerzas máximas, según lo expresado hasta este momento

POSIBLES MEDICIONES DE FUERZAS MÁXIMAS

PICO MÁXIMO DE FUERZA ISOMETRÍCA O ESTÁTICA

Aquella que se mide cuando no hay movimiento (**carga insuperable**)

FUERZA DINÁMICA MÁXIMA

Aquella que se mide cuando hay movimiento (**carga superable**), pero solo podemos hacer 1 repetición (1 Repetición Máxima)

FUERZA DINÁMICA MÁXIMA RELATIVA

Cuando la carga es submáxima, y el número de repeticiones es mayor a 1 Habra tantas FDMR como cargas y repeticiones se establezcan (10 RMDR)

FUERZA ÚTIL:

Aquella que se desarrolla a la velocidad específica y en el tiempo específico de ejecución del gesto deportivo

INTENSIDAD MOMENTÁNEA Y FUERZA INSTANTANEA

Un concepto difícil de entender es que la fuerza no se desarrolla de manera uniforme. Por el contrario, existen infinitos momentos de fuerza, representados por los infinitos puntos que componen la curva en el gráfico fuerza - tiempo

Por otra parte, la sensación de esfuerzo (intensidad) varía en cada repetición de la serie, aumentando en cada sucesiva repetición, a medida que se comienzan a acumular metabolitos provenientes de los procesos energéticos (ácido láctico).

De forma contraria, la fuerza en cada repetición de la serie disminuye en forma progresiva, debido a que la velocidad de ejecución cada vez es menor

Por lo tanto la sensación de esfuerzo máximo no coincide con el desarrollo de la fuerza máxima. Esta estará presente en los máximos momentos de aceleración, la que se da cuando se parte de velocidad igual a 0, es decir, desde el reposo y donde la aceleración alcanzada es la mayor de todas.

Prosiguiendo con este razonamiento, la masa acelerada irá deteniendo su marcha hasta alcanzar un punto en donde la resistencia iguala a la fuerza, en este punto, se produce deformación de las estructuras blandas (músculos y tendones) pero no hay movimiento visible externo. Nos encontramos en lo que se denomina fuerza isométrica.

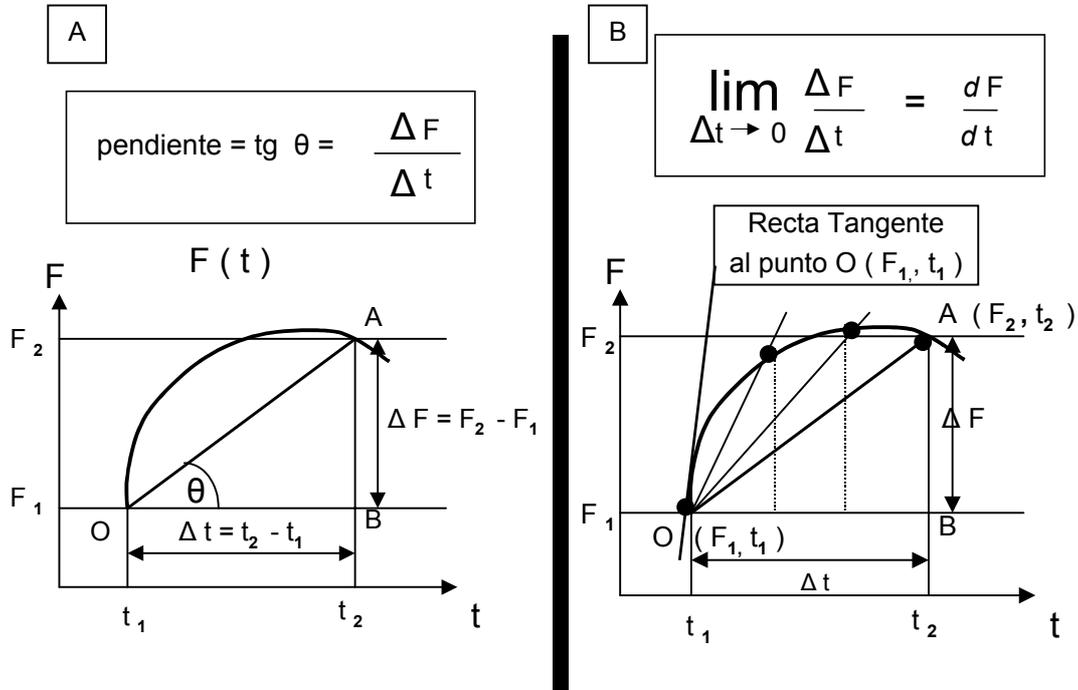
INTENSIDAD MOMENTÁNEA Y FUERZA INSTANTANEA

“ A MEDIDA QUE AVANZAMOS EN UNA SERIE, LA INTENSIDAD AUMENTA, A PESAR DE QUE LA FUERZA DISMINUYE, COMO CONSECUENCIA DE LA DISMINUCIÓN DE LA VELOCIDAD, LO QUE EXPRESA UNA DESACELERACIÓN, HASTA QUE SE ALCANZA EL PUNTO DE EQUILIBRIO ENTRE EL MOMENTO DE LA FUERZA QUE SE ESTÁ DESARROLLANDO Y EL MOMENTO DE LA RESISTENCIA (PUNTO ISOMÉTRICO)

Por otra parte, la determinación de la fuerza en un momento dado del movimiento

necesita de cálculos matemáticos (derivada) que expresan el valor de la fuerza cuando la diferencia entre los valores de un tiempo 1 y un tiempo 2 tiende a 0

Fuerza Instantánea



Cuando escribimos $F(t)$, queremos significar que Fuerza es una función del tiempo. Es decir, que para cada valor de tiempo, existe un valor de Fuerza correspondiente. En el grafico A, se muestra un grafico F en función de t, en donde para un valor de $t = t_1$, F tiene un valor F_1 y para un valor $t = t_2$, F tiene un valor F_2 .

El incremento en el valor de t ($t_2 - t_1$) se escribe Δt , y así también el correspondiente a F ($F_2 - F_1$) ΔF

Si consideramos a Δt y ΔF como los lados de un triángulo rectángulo OAB, la tangente del ángulo θ estaría representado por el cociente $\Delta F / \Delta t$, lo que representaría la pendiente de la recta OA.

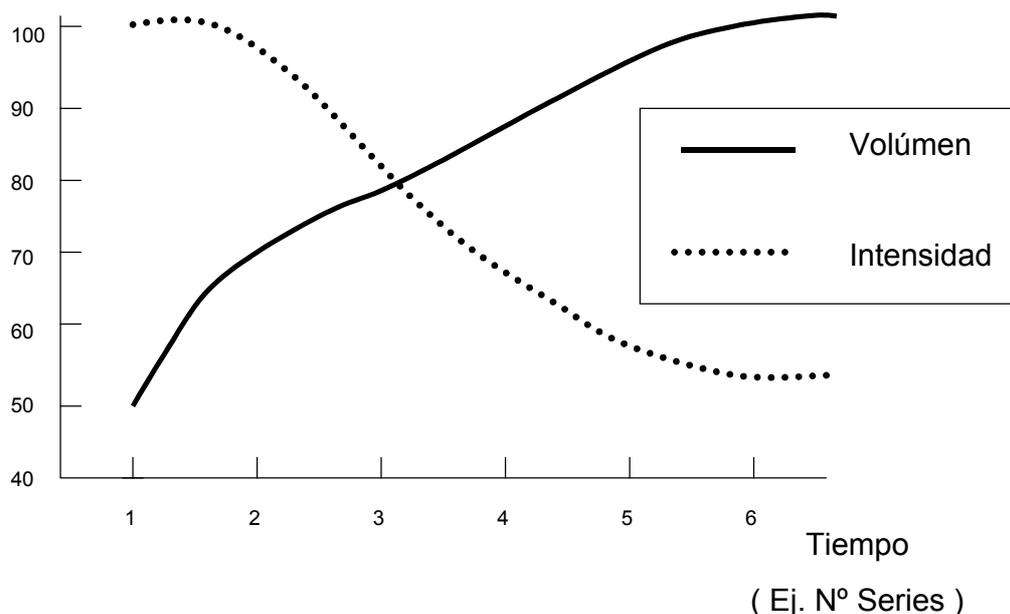
Con esta situación, si hacemos cada vez menor el Δt , es decir, cuando $\Delta t \rightarrow 0$ (tiende a cero), el punto A tiende a desplazarse, a través de la curva, hacia el punto O y la recta que pasa por los puntos OA tiende a convertirse en la tangente de la curva en el punto O (F_1, t_1) (Figura B). La pendiente de esta recta tangente es la derivada de Fuerza con respecto al Tiempo y su formula representa la forma de calcular la fuerza instantánea en un tiempo dado (en este caso en t_1)

VOLUMEN vs INTENSIDAD

El comportamiento del volumen y la intensidad se desarrolla de manera inversamente proporcional

Volumen vs Intensidad

Intensidad y Volumen (%)



En este gráfico podemos observar como a medida que aumenta la cantidad de trabajo, la intensidad tiende a caer.

Esto nos permite deducir que es imposible sostener altas intensidades por períodos de tiempo muy prolongados

El punto en cuestión es hallar que sector de las curvas de volumen e intensidad serían las más apropiadas para los trabajos de fuerza máxima e hipertrofia

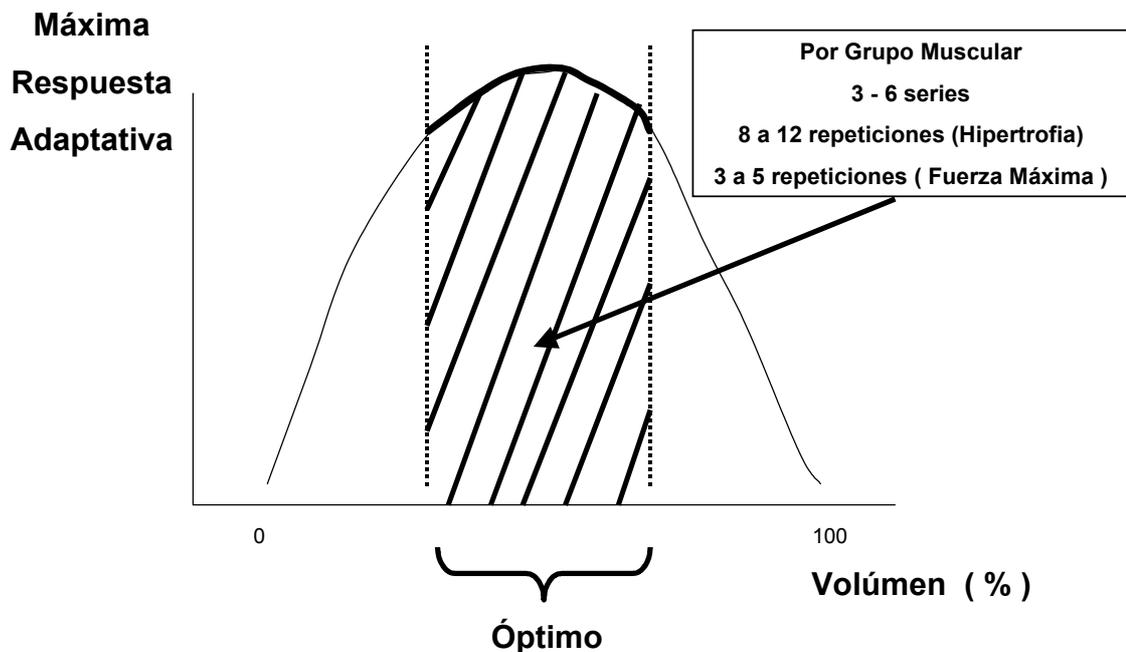
Observando el gráfico de respuesta adaptativa en función de la cantidad de trabajo a realizar, se puede hallar un área bajo la curva que representa el estímulo óptimo en cuanto a volumen de trabajo que es capaz de provocar la máxima respuesta adaptativa. En el mismo vemos que en los extremos de la curva, es decir bajos volúmenes y altos volúmenes, la respuesta adaptativa es menor que el sector central.

Este sector central se correspondería con un trabajo a desarrollar equivalente a un volumen que va de 3 a 6 series por grupo muscular, independientemente del tipo de ejercicio a realizar, y con un rango de **8-12 repeticiones para trabajos de hipertrofia**

y de **3-5 repeticiones para trabajos de fuerza máxima**, tratando de trabajar a la máxima intensidad que permita completar estas series.

CARGA ÓPTIMA

“ Mínimo estímulo en **Volúmen** e **Intensidad** capaz de obtener los mejores resultados “ (Evidencia)



Estas afirmaciones se basan en lo que se denomina **Metodología de la investigación Basada en la Evidencia**

Después de haber examinado a una población de 300 atletas aproximadamente, se pudo concluir que existen diferencias estadísticamente significativas cuando se compara por ejemplo, los aumentos de fuerza y tamaño de manera conjunta y por separado entre estos protocolos antes señalados y otros protocolos en donde se resaltaba la intensidad o el volúmen de trabajo .

No obstante ello y a pesar de contar con trabajos científicos, la mejor manera de determinar en forma individual la mejor carga o estímulo de trabajo, se basa en el método denominado **Ensayo y Error**.

Es decir, que se deben registrar los distintos valores que toman las variables de entrenamiento seleccionadas para evaluar el programa o rutina (medidas antropométricas test de fuerza, etc) para luego analizar y comparar los resultados. Dicho de otro modo

analizar la **evidencia**, intentando localizar o distinguir la mejor carga o estímulo de trabajo en cuanto a valores de intensidad y volúmen para cada individuo en particular

ESTIMULO OPTIMO

1- ENSAYO Y ERROR

2- SE DEBE DETERMINAR EL TIEMPO DE DURACIÓN DEL ESTIMULO
(VOLUMEN)

A- N° DE REPETICIONES

B- N° DE SERIES

C- N° DE EJERCICIOS

D- N° DE ESTIMULOS SEMANALES

3- SE DEBE DETERMINAR LA INTENSIDAD DEL ESTÍMULO

Una manera práctica de determinar nuestra situación actual comparada con nuestro máximo potencial, es a través del establecimiento de porcentajes basados en nuestro máximo rendimiento posible

Relación entre Carga Máxima y N° de repeticiones

“ Las repeticiones que se pueden realizar en una serie, son una función del **PESO MÁXIMO** a mover “ - Brzycki 1993

Ecuación de Regresión

- 1- Utiliza como **predictor**, el N° máximo de repeticiones realizadas con el peso en cuestión
- 2- Los **criterios** (valores a estimar) son **1 RM** y el **% de 1 RM**
- 3- Aplicable para **Sentadilla** (r = 0,96) y **Banco Plano** (r = 0.99)
- 4- El rango de repeticiones no debe superar las 12

$$1 \text{ RM} = \text{Peso levantado} / (1.0278 - (0.0278 \text{ X}))$$

$$\% \text{ RM} = 102,78 - (2,78 \text{ X})$$

Es esta una fórmula desarrollada para determinar nuestra máxima fuerza dinámica (1 RM) en base a la cantidad de repeticiones que se pueden hacer con una carga determinada y con la máxima intensidad posible.

Se utilizó un formula de regresión con la cual se obtuvieron muy altos coeficientes de correlación (indica la fuerza o intensidad de asociación entre las variables analizadas, en este caso, peso o carga movilizada, número de repeticiones y fuerza máxima)

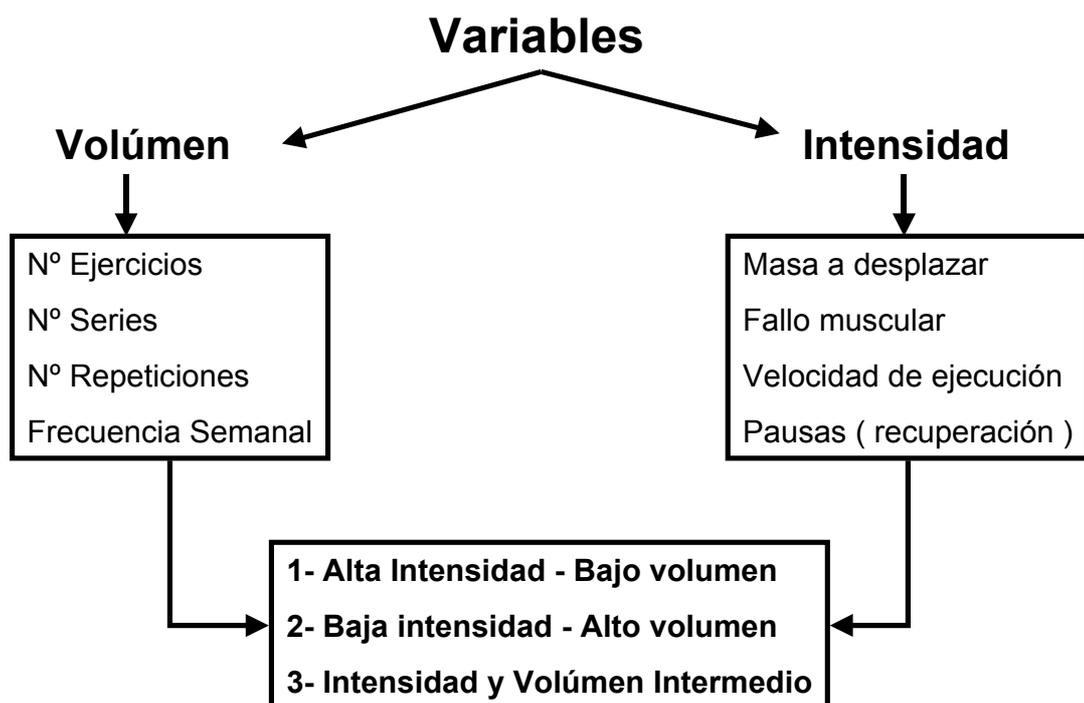
Por ejemplo, si quiero saber cual es mi fuerza máxima dinámica (1 RM), tengo que tomar el peso movilizado y la cantidad de repeticiones. De esta forma, aplicando la formula de regresión, puedo obtener este dato.

También puedo calcular a que % de mi Fuerza Dinámica Máxima estoy trabajando, utilizando la segunda formula y tomando como valor predictor unicamente a la cantidad de repeticiones realizadas

ANALISIS DE DISTINTOS ENTRENAMIENTOS DE FUERZA E HIPERTROFIA

Tomando com variables al volúmen y a la intensidad, se puede obtener el siguiente esquema

Análisis de los sistemas de entrenamiento de fuerza máxima e hipertrofia



Como podemos ver, tenemos que de la combinación de intensidades y volúmenes altos, medianos y bajos, se obtienen 3 sistemas básicos.

Por otra parte, podemos considerar las siguientes variables fisiológicas a medir

Variables fisiológicas a medir

1- VO_2 max

2- Trabajo (Kcal)

3- Lactato

4- CPK (Injuria)

5- Hormonas (Testosterona - STH - Cortisol)

6- Antropometría (% grasa y masa muscular)

7- Test de Fuerza / Potencia

Si analizamos cada uno de los 3 sistemas propuestos, tomando estas variables, se obtiene un cuadro comparativo como el que sigue

Variables / Sist. Entr.	AIBV	MIMV	AVBI
VO2 max	pobre	media	media
Trabajo (Energía: Joule / Kcal)	pobre	media	alta
Potencia Lactácida	alta	media / alta	baja
Producción Total Lactato	baja	media	baja
CPK (Injuria Muscular)	??	??	baja
Testosterona	media	alta	baja
STH	media	alta	baja
Cortisol	baja	baja	baja

AIBV = Alta intensidad - Bajo Volumen

MIMV = Mediana Intensidad - Mediano Volumen

AVBI = Alto Volumen - Baja Intensidad

Quizás por lo expuesto hasta ahora, el factor más importante a la hora de evaluar

posibilidades de máximo aumento del tamaño y de la fuerza, está relacionado con la injuria muscular, la que está representada por los aumentos de la enzima CPK. Esta enzima nos da una idea de la ruptura de fibras musculares y puede ser indicador de patología cardíaca.

Por lo pronto, falta determinar si niveles altos de Lactato, puede tener gran incidencia en el mecanismo de respuesta regenerativa, como así también las altas concentraciones de ADP.

Por último, los niveles máximos de Testosterona y Hormona del Crecimiento como respuesta al ejercicio, se han observado con trabajos de volumen e intensidad moderada, además de registrar un bajo nivel de cortisol

CONCLUSIONES

- 1- La fuerza, como manifestación que relaciona la masa con la aceleración, como así también la capacidad de producir deformación, no siempre se relaciona con la sensación de esfuerzo por parte del individuo (intensidad)
- 2- Se debe ser más fuerte no solo bajo condiciones temporales ideales, sino además en los tiempos que duran los gestos deportivos específicos de cada disciplina
- 3- Es la injuria muscular, el evento que desencadena la respuesta adaptativa que puede tomar la forma de restitución Ad Integrum o de tipo Hipertrofiante según el mecanismo que provoca la injuria en cuestión
- 4- Todavía no se puede precisar cuál es la combinación de intensidad y volumen apropiados para provocar la máxima respuesta adaptativa con la menor carga de trabajo posible.
- 5- Es importante tener presente que más allá de los aspectos teóricos, el peso de la evidencia es fundamental a la hora de extraer conclusiones
- 6- Hasta el momento, y debido a la carencia de resultados que satisfagan las expec-

tativas sobre el entrenamiento ideal para hipertrofia y volúmen, lo más aconsejable es trabajar sobre la base del **ensayo y corrección del error** dentro de los límites de tiempo lógicos para cada planificación en general.

En otras palabras, se debe planificar, ejecutar la planificación, evaluar con los test apropiados, analizar los datos obtenidos, extraer conclusiones y ajustar, en caso de ser necesario según las conclusiones obtenidas.

- 7- Es necesario profundizar en la confección de un sistema de medición de la intensidad, con variables fisiológicas medibles fácilmente y capaces de ser repetidas en el tiempo, para poder ser más claro a la hora de dosificar las cargas de entrenamiento óptimas
- 8 No existen personas para cada tipo de entrenamiento, sino **entrenamientos para cada persona en especial**

Dr Marcelo Esteban Gómez