CONTRACCION MUSCULAR

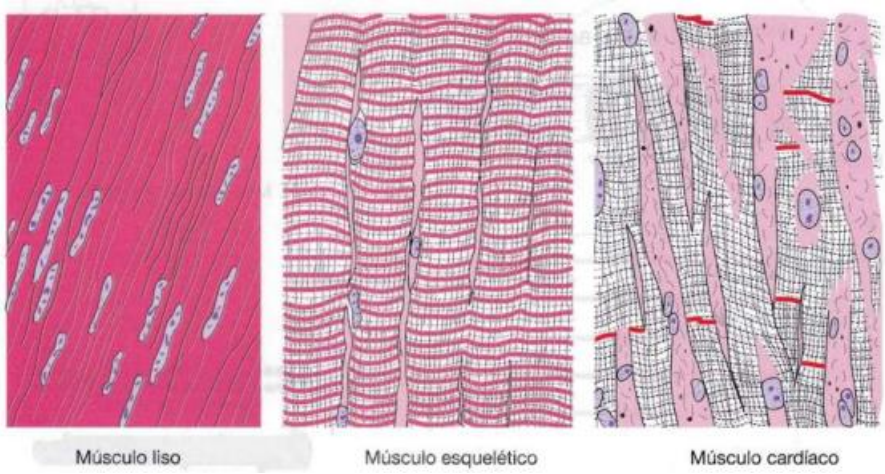
El cuerpo humano ha desarrollado células altamente especializadas para satisfacer las necesidades de movimiento, tanto internas como externas, del organismo, las células musculares son alargadas y tienen su eje longitudinal orientado en la dirección del movimiento. En el organismo de los vertebrados, existen dos tipos de musculatura:

- Musculo Estriado
- Musculo Liso

El músculo estriado contiene secuencias bien ordenadas de actina y miosina, que bajo microscopía óptica se observan como estriaciones, de ahí su nombre. Este tipo de músculo se subdivide en:

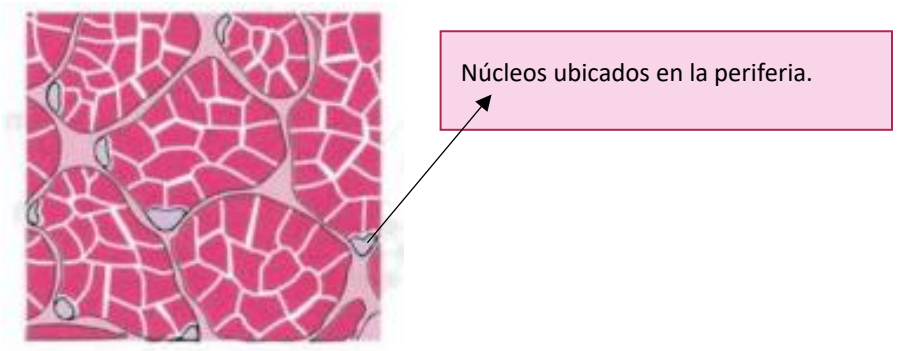
- Musculo esquelético
- Musculo cardiaco

Por otro lado, el músculo liso también contiene actina y miosina, pero en secuencias no tan ordenadas.



MUSCULO ESQUELETICO.

Compuesto por células largas cuyos núcleos se encuentran en la periferia, el músculo esquelético conforma todos los músculos del aparato locomotor. Estos músculos son responsables de generar el movimiento del organismo humano, como, por ejemplo, los músculos del brazo.



Este músculo es inervado por el sistema nervioso somático y es activado por una decisión consciente, aunque también puede participar en movimientos no voluntarios, como la respiración, el parpadeo y la deglución. Por esta razón, también se le conoce como músculo voluntario.

El músculo (a) se organiza en fascículos musculares (b), que son un conjunto de fibras musculares (c). Estas fibras musculares, a su vez, están compuestas por un conjunto de miofibrillas (d).

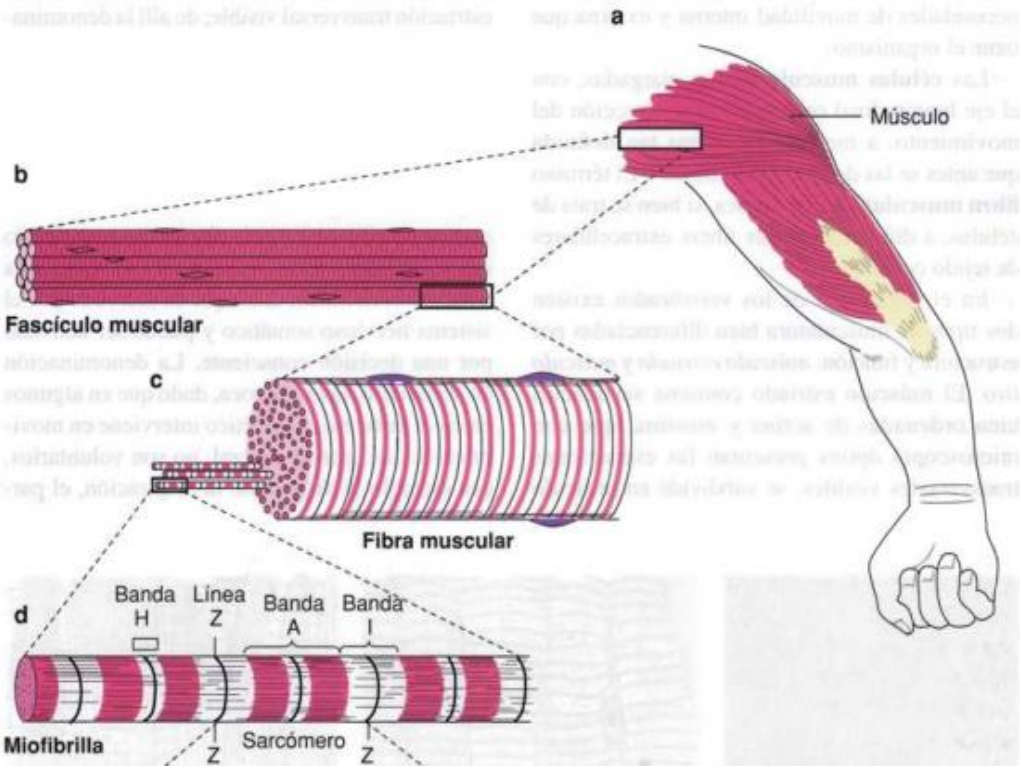


Ilustración 1 Organización muscular.

El músculo está rodeado por tejido conectivo, que se entreteje con la fascia muscular en tres niveles:

1. **Epimisio**: Rodea todo el músculo.

2. **Perimisio**: Envuelve cada fascículo muscular.

3. **Endomisio junto con Glucosaminoglucanos**: Rodea cada fibra muscular individualmente.

(Ilustración 2)

Las vainas de tejido conectivo, además de unir las fibras con los fascículos musculares, permiten que cada fibra y cada fascículo tengan un movimiento independiente. Importante para la contracción muscular.

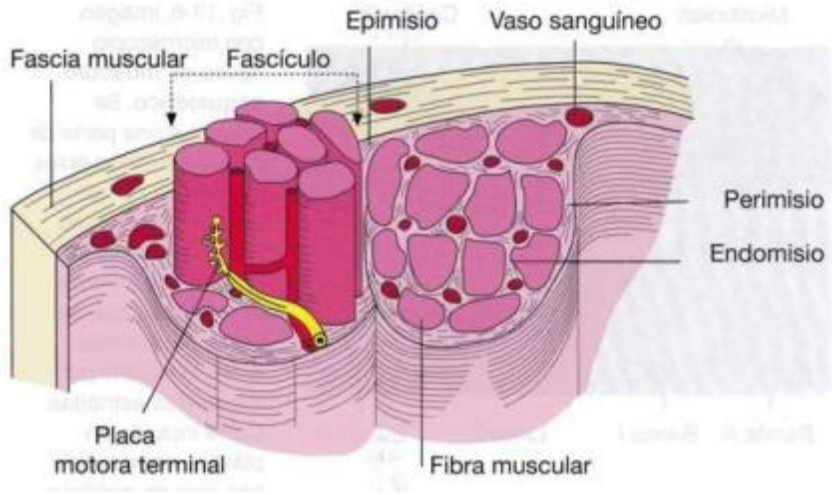


Ilustración 2 Organización del tejido conectivo.

Las fibras del músculo esquelético son cilíndricas y varían en longitud y diámetro. La longitud de las fibras puede variarentre 1 mm y más de 30 cm. A pesar de esto, las fibras individuales son mucho más cortas que la longitud total del músculo, por lo que se unen a tabiques de tejido conectivo en el extremo opuesto al tendón.

El músculo se fija a los huesos mediante tendones, a través de una conexión conocida como musculotendinosa.

El diámetro de las fibras musculares varía entre 10 y 100 micrómetros (µm). Dentro de un músculo, existe una variación en el diámetro de las fibras, pero siempre hay un espesor promedio. Cuando un músculo aumenta de tamaño, esto se debe a un incremento en el espesor de las fibras musculares.

Esto se relaciona con dos conceptos clave:

1. Hipertrofia: Aumento del espesor de las fibras musculares debido a un entrenamiento o ejercicio, lo que resulta en un aumento de la masa muscular.

2. Atrofia: Disminución del espesor de las fibras musculares, lo que lleva a una reducción en la masa muscular. Esto puede ocurrir, por ejemplo, durante un reposo prolongado o inactividad del paciente.

CARACTERISTICAS GENERALES

(Ilustración 3)

- En las fibras musculares, tanto lisas como estriadas, el citoplasma se denomina sarcoplasma.
- Cada fibra está rodeada por una membrana transparente de aproximadamente 1 µm de espesor, que está formada por la unión de la plasmalema y la lámina externa, (membrana plasmática).

Cada fibra muscular está compuesta por miofibrillas, que tienen un espesor de 1 a 2 micrómetros (µm). Estas miofibrillas se agrupan en los campos de Cohnheim. Debajo del sarcolema, la fibra muscular contiene núcleos aplanados y ovales dispuestos en sentido longitudinal.

Además, relacionados con la superficie de las miofibrillas se encuentran núcleos que pertenecen a células satélites situadas en la lámina externa. Las células satélites son células madre de mioblastos y desempeñan un papel crucial en la regeneración muscular y en el aumento del tamaño del músculo.

El sarcoplasma, además de contener las miofibrillas, alberga diversos orgánulos cerca de su polo nuclear, como pequeños aparatos de Golgi y mitocondrias.

También es notable la presencia del retículo sarcoplásmico, que rodea las miofibrillas formando una red. Este retículo sarcoplásmico corresponde al retículo endoplásmico liso en otros tipos celulares. Además, el sarcoplasma puede almacenar gotas de glucógeno y lípidos.



Ilustración 3 conformación de la fibra muscular

MIOFIBRILLAS

Las estriaciones presentes en el músculo se deben al contenido de las miofibrillas, que se distinguen como bandas transversales con un índice de refracción diferente bajo microscopía.

Las **bandas oscuras,** conocidas como **Bandas A**, se tiñen con un mayor índice de refracción y son anisotrópicas, lo que **significa que tienen un efecto notable bajo la luz polarizada**.

Por otro lado, las **bandas claras** se denominan **Bandas I** porque son isotrópicas a la luz polarizada**, no muestran efecto bajo la luz polarizada.**

Todas las fibras musculares, y por ende todo el músculo, aparecen estriados debido a la organización paralela de las miofibrillas. Estas miofibrillas están dispuestas de manera que los segmentos de bandas A y bandas I se alinean de forma uniforme a lo largo de la fibra muscular. Esta disposición regular y paralela de las miofibrillas crea el patrón de estriaciones característico en el músculo.

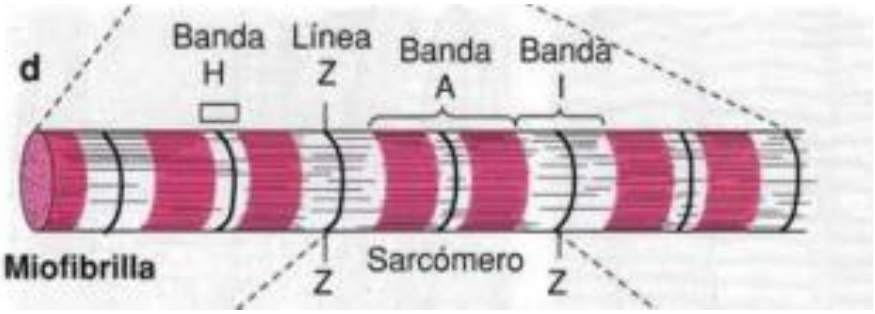


Ilustración 4 estructura de la Miofibrilla

Cada banda A tiene una región menos teñida, llamada banda H.

Además, cada banda I está dividida por una línea Z o disco Z, que se define muy bien.

El segmento entre dos líneas Z sucesivas se llama sarcómero y es la unidad funcional y estructural de la miofibrilla. El sarcómero mide aproximadamente 2.5 µm, de los cuales 1.5 µm corresponden a la banda A y 0.5 µm a cada mitad de la banda I.

La longitud del sarcómero varía según el estado de contracción del músculo: cuando el músculo se contrae, el sarcómero se reduce a 1.5 µm, y cuando el músculo está relajado, puede llegar a medir hasta 3 µm aproximadamente. La longitud de la banda A permanece constante, mientras que la banda I se acorta durante la contracción.

La proteína miosina se encuentra en toda la banda A, mientras que la proteína actina se encuentra en parte de la banda I y parte de la banda A.

ULTRAESTRUCTURA DE LA FIBRA MUSCULAR

El sarcolema de la fibra muscular es una membrana trilaminar común. En la superficie citoplasmática se encuentra la proteína distrofina, que se une a glucoproteínas transmembrana. Estas glucoproteínas fijan el sarcolema a la matriz extracelular a través de su dominio extracelular.

La distrofina tiene un efecto estabilizante mecánico sobre el sarcolema, y su carencia o modificación puede predisponer a lesiones relacionadas con la contracción muscular.

El retículo sarcoplásmico forma una red densa de sarcotúbulos que rodean cada miofibrilla.

Frente a las bandas A, los sarcotúbulos se organizan en una red, y al fusionarse, forman una estructura más grande llamada cisterna terminal. Dos de estas cisternas terminales rodean la miofibrilla a ambos lados de un túbulo más delgado, **el túbulo T**, y juntos forman una tríada. Hay dos tríadas por cada sarcómero.

Los túbulos T son invaginaciones del sarcolema que permiten que *el potencial de acción ingrese a la miofibrilla, facilitando la liberación de iones de calcio en el sarcoplasma*.

El aumento de iones de calcio en el sarcoplasma provoca una serie de cambios conformacionales que llevan a la contracción de la fibra muscular, en un proceso llamado acoplamiento ***excitación-contracción.*** En este proceso, la excitación del sarcolema genera un potencial de acción que se propaga al interior de la fibra muscular a través del túbulo T. Esto excita a las cisternas terminales, lo que provoca la liberación de los iones de calcio almacenados en el retículo sarcoplásmico.

(Ilustracion 5)

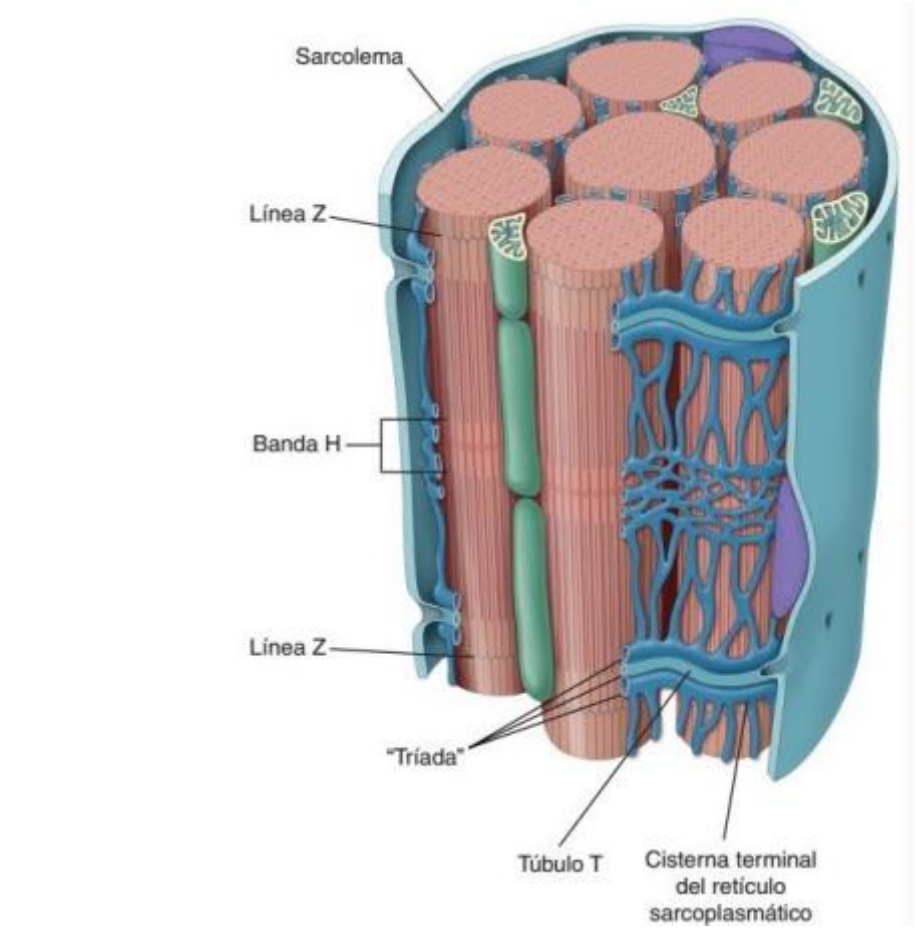


Ilustración 5 Ultra estructura de la Fibra muscular, Triada de Túbulos, e Invaginaciones del túbulo T.

ULTRA ESTRUCTURA DE LAS MIOFIBRILLAS.

Las miofibrillas están compuestas por dos tipos de miofilamentos:

1. **Filamentos gruesos:** Correspondientes a los **filamentos de miosina.**

2. **Filamentos finos:** Correspondientes a los **filamentos de actina.**

En una parte de la banda A, ambos tipos de filamentos se superponen, mientras que la banda I está formada únicamente por filamentos de actina.

Los filamentos gruesos (filamentos de miosina) miden 14 nm de diámetro y se extienden solo hasta el límite de la banda A. En la banda A, hay una zona de superposición entre los filamentos de miosina y actina. Sin embargo, la banda H está compuesta únicamente por filamentos de miosina.

Los filamentos de miosina están compuestos por la proteína motora miosina, que consta de dos cadenas pesadas y cuatro cadenas ligeras. Las dos cadenas pesadas forman una **región de bastón llamada cola,** donde ambas cadenas están enroscadas en hélices alfa. En el extremo de la cola, las dos cadenas pesadas se separan y cada una forma una ***cabeza globular de miosina.***

Las cuatro cadenas ligeras se dividen en:

1. Dos cadenas ligeras reguladoras: Importantes para la contracción en el músculo liso y también ayudan en la contracción en el músculo esquelético.

2. Dos cadenas ligeras esenciales: Importantes estructuralmente para la estabilización de la cabeza de miosina.

Una cadena ligera de cada tipo se une a la cabeza de miosina.



Ilustración 6 molécula de miosina y sus partes.

Cada una de las cabezas de miosina actúa como ATPasa, lo que significa que puede hidrolizar ATP, y tiene un sitio de unión al ATP y un sitio de unión a la actina.

Cuando la miosina es tratada con la enzima tripsina, se divide en dos subunidades:

1. *Meromiosina ligera:* Representa la mayor parte de la estructura en forma de bastón.

2. *Meromiosina pesada:* Incluye la otra parte del bastón junto con las dos cabezas globulares de miosina.

En el filamento de miosina, las moléculas de miosina se agrupan con sus porciones en forma de bastón, dejando las cabezas de miosina orientadas hacia los extremos y en dirección opuesta a la banda H.

En la banda H, que está compuesta solo por miosina, hay una zona desnuda llamada banda pseudo H, donde solo se encuentran las porciones de miosina en forma de bastón.

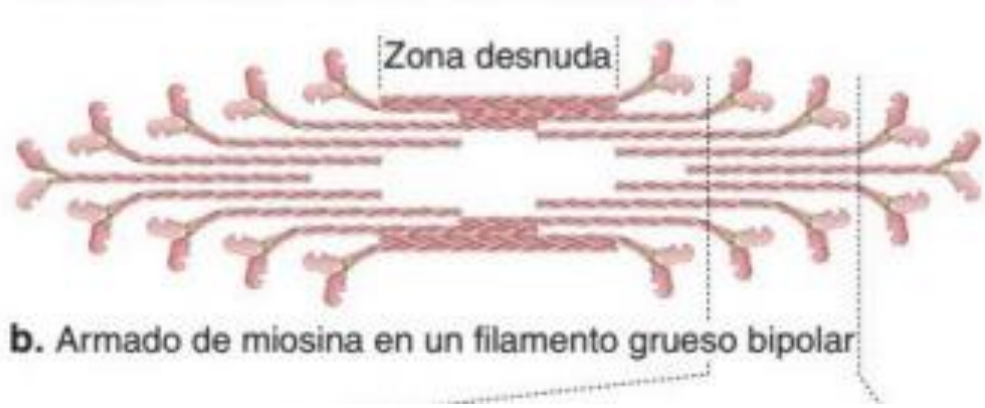


Ilustración 7 ubicación de las moléculas de miosina y la formación de la banda H

En el medio de la banda H se encuentra la línea M, una estructura transversal que une la porción media más gruesa de los filamentos de miosina. Esta línea M contiene proteínas fijadoras de miosina, como la miomesina y la proteína C.

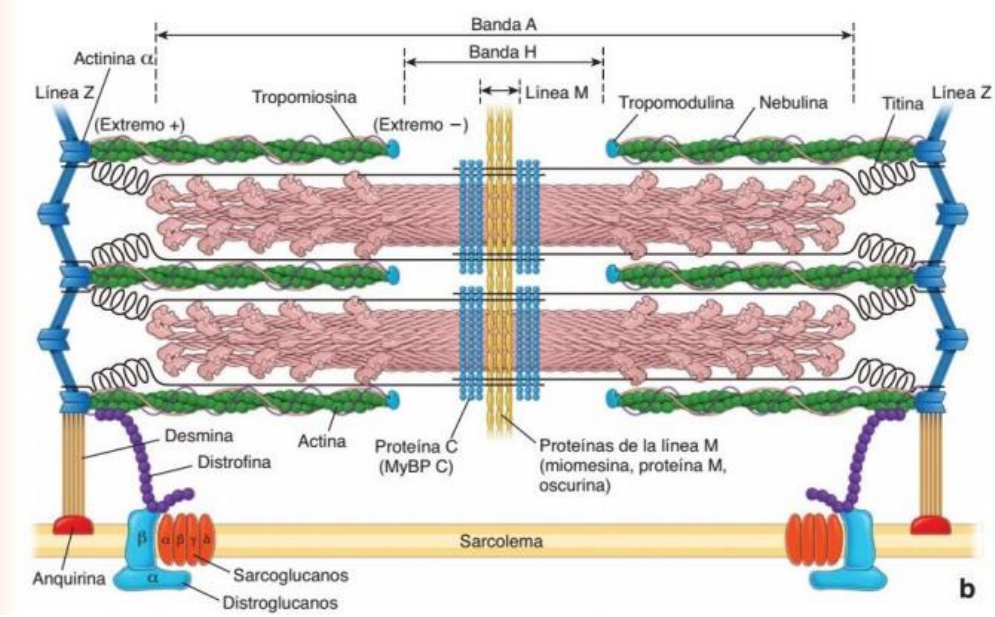


Ilustración 8 ultra estructura del sarcomero (en el medio de la banda H se encuentra la línea M).

Los ***filamentos de actina*** están compuestos por la proteína actina G, que se polimeriza en dos cordones idénticos, formando actina F, en una estructura de hélice alfa doble. Estos filamentos de actina tienen un extremo positivo (plus) y un extremo negativo (minus). El extremo positivo se une al disco Z, mientras que el extremo negativo se orienta en dirección opuesta.

Las proteínas ***fijadoras de actina*** incluyen:

- **Tropomodulina:** Sella el extremo negativo libre del filamento de actina, confiriendo estabilidad al filamento.
- **Nebulina:** Tiene una longitud proporcional al filamento de actina y se cree que regula la longitud del filamento, funcionando como una regla estructural.

Además, a los filamentos de actina se unen dos proteínas cruciales para la regulación de la contracción:

- **Tropomiosina:** Es una molécula de dos cadenas polipeptídicas enroscadas que se une a los surcos del filamento de actina, cubriendo los sitios de unión.
- **Complejo de troponina:** Es una proteína globular grande compuesta por tres subunidades y se encuentra sobre la tropomiosina.

Las tres subunidades del complejo de troponina son:

Troponina T: Se une a la tropomiosina, fijando todo el complejo de troponina a la tropomiosina.

Troponina I: Se une a la actina, inhibiendo la unión de la actina a la miosina.

Troponina C: Se une a los iones de calcio, lo que es esencial para la regulación de la contracción muscular.

Los ***discos Z*** están compuestos en gran parte por la proteína alfa-actinina, que une los filamentos de actina a los discos Z por sus extremos positivos. ***Los discos Z están relacionados con el sarcolema a través de estructuras que contienen vinculina,*** conocidas como **costámeros.**

Los discos Z y, por ende, los sarcómeros se mantienen en su lugar gracias a una red densa de filamentos intermedios que conforman el citoesqueleto rígido de la fibra. Estos filamentos intermedios están compuestos por la ***proteína desmina***.

Los sarcómeros también contienen filamentos de titina, la proteína más grande conocida hasta la fecha. Cada molécula de titina se extiende desde la línea M hasta el disco Z, es decir, a través de la mitad del sarcómero, y se fija tanto al filamento de miosina como al disco Z. ***Estos filamentos mantienen a la miosina en su lugar, confieren elasticidad a las miofibrillas y son responsables de la resistencia contra el estiramiento excesivo.***

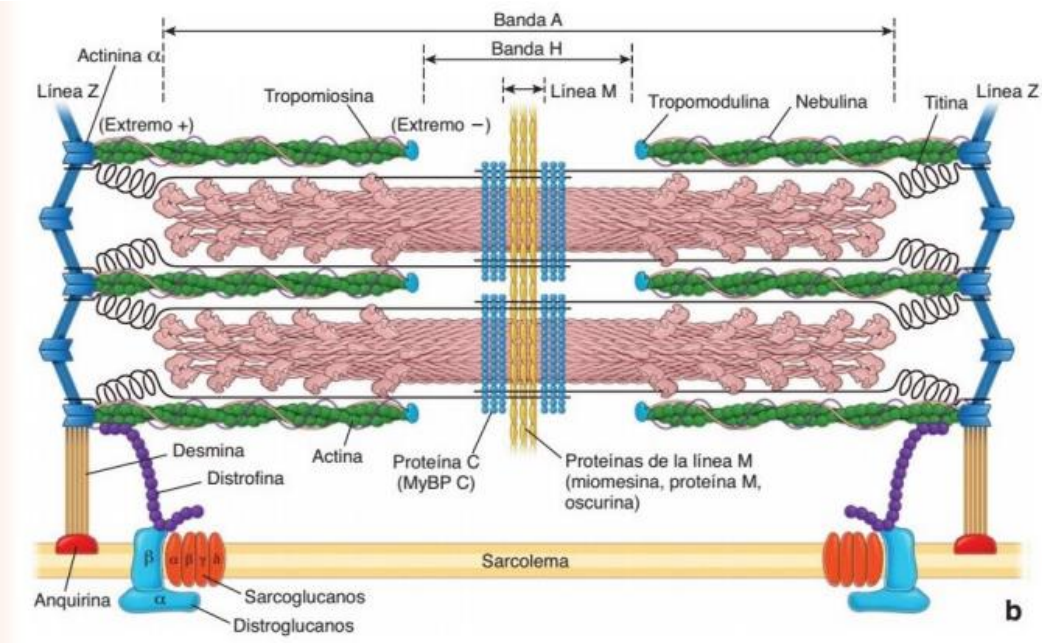


Ilustración 9 ultra estructura de la miofibrilla con todas sus proteínas asociadas.