

RESUMEN

La grasa y el colesterol se acumulan en el interior de las arterias, lo que puede dar lugar a la aterosclerosis ⁽¹⁾. Debido a esta acumulación, las arterias pueden bloquearse o ver reducida la sección de paso de sangre por su interior. De hecho, daños y taponamientos en las arterias son la mayor causa de muerte en los países industrializados.

Para solucionar estos daños, existen varios métodos quirúrgicos para volver a tener un funcionamiento correcto en el lugar dañado del vaso sanguíneo, que en este proyecto clasificaremos en dos:

Injertos y prótesis vasculares.
Angioplastia ⁽²⁾ y stents ⁽³⁾ vasculares.

Con el objetivo de contribuir a mejorar las prótesis utilizadas y reducir el desacople entre prótesis y tejido nativo, es necesario desarrollar sistemas de evaluación "in-vitro"⁽⁴⁾, "in-vivo"⁽⁵⁾, simulación numérica y metodologías de análisis de datos hemodinámicos⁽⁶⁾ adecuados.

El objetivo del presente proyecto es diseñar un prototipo mecánico-hidráulico capaz de simular la circulación sanguínea, con el objeto de realizar pruebas in-vitro de injertos e implantes con materiales biológicos en los vasos sanguíneos.

Con este diseño evaluaremos in-vitro a través de ultrasonidos el comportamiento circulatorio sanguíneo cuando este circula por la zona implantada, y así entender como reaccionan los vasos sanguíneos desde el punto de vista mecánico, en cierta manera es ayudar a los médicos desde otro punto de vista, es decir, podremos examinar los vasos sanguíneos como si se trataran de tuberías que deben responder a unas exigencias mecánicas.

De una manera visual evaluaremos en diferentes instantes y zonas:

Velocidades de la sangre.
Reflujos de la sangre.
Zonas de cizallamiento de los vasos sanguíneos.
Presiones.

1. Glosario.

1-Aterosclerosis: La Aterosclerosis (forma más común de arteriosclerosis) es un síndrome caracterizado por el depósito e infiltración de sustancias lipídicas, en las paredes de las arterias de mediano y grueso calibre.

2-Angioplastia: Es una técnica aparecida en la década de 1980, que consiste en introducir un catéter a través de la arteria femoral, cerca de la ingle, a fin de hacerlo llegar a la arteria coronaria donde se ha producido la obstrucción del flujo sanguíneo por acumulación de grasa o coágulos sanguíneos (trombos).

3-Stent: Una cánula o un estent (un tipo de implante endovascular) es un dispositivo metálico cilíndrico que se coloca en el interior de una arteria para mantenerla permeable luego de su desobstrucción por procedimientos invasivos.

4-In-vitro: (Latín: dentro del vidrio) se refiere a una técnica para realizar un determinado experimento en un tubo de ensayo, o generalmente en un ambiente controlado fuera de un organismo vivo.

5-In-vivo: (Latín: dentro de lo vivo) se refiere a experimentación hecha dentro o en el tejido vivo de un organismo vivo, por oposición a uno parcial o muerto.

6-Hemodinámica: Dinámica del movimiento del flujo sanguíneo.

7-Endotelio: es un tipo de epitelio plano simple (de una sola capa), formado por células endoteliales, que recubre el interior de todos los vasos sanguíneos, incluido el corazón, donde se llama endocardio.

8-Sistema cardiovascular: La función del sistema cardiovascular es asegurar que la sangre llegue a todo el cuerpo, para que todas las células puedan recibir nutrición.

9-Sistema linfático: Está constituido por los vasos y los ganglios linfáticos.

10-Eritrocitos: Son los elementos formes cuantitativamente más numerosos de la sangre.

11-Sarcolema: Es el nombre que se le da a la membrana citoplasmática de las fibras (células) musculares.

12-Endotelio: Es un tipo de epitelio plano simple (de una sola capa), formado por células endoteliales, que recubre el interior de todos los vasos sanguíneos, incluido el corazón, donde se llama endocardio.

13-Mesotelio: Capa de células derivada del mesodermo que tapiza la cavidad del embrión.

14-Diafragma: Músculo que separa la cavidad torácica de la abdominal.

15-Caterismo: Esta prueba se realiza frecuentemente antes de la cirugía cardíaca para determinar si la cirugía es necesaria, y si lo es, qué tipo de cirugía hay que realizar.

16-Venulas: Son uno de los cinco tipos de vasos sanguíneos, (arterias, arteriolas, capilares, venulas y venas) a través de ellos comienza a retornar la sangre hacia el corazón después de haber pasado por los capilares.

17-Puntiforme: Que tiene la forma o el tamaño de un punto.

18:Lipídica: Es una estructura formada por el acoplamiento de distintos lípidos. Los **lípidos** son un conjunto de moléculas orgánicas, la mayoría biomoléculas, compuestas principalmente por carbono e hidrógeno y en menor medida oxígeno, aunque también pueden contener fósforo, azufre y nitrógeno, que tienen como característica principal el ser hidrofóbicas o insolubles en agua y sí en disolventes orgánicos como la bencina, el alcohol, el benceno y el cloroformo.

19-Proteica: Que aporta proteínas. Las proteínas son macromoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos.

20-Lipoproteína: Son complejos macromoleculares esféricos formados por un núcleo que contiene lípidos apolares (colesterol esterificado y triglicéridos) y una capa externa polar formada por fosfolípidos, colesterol libre y proteínas (apolipoproteínas).

21-Aneurisma: Es una dilatación localizada de una arteria o vena ocasionada por una degeneración de la pared.

22-Idiomática: Propio y peculiar de una lengua determinada.

23-Amiloidosis: Anomalía patológica con múltiples variantes clínicas, caracterizada por la presencia de proteínas fibrosas anormales.

24-Ápex: Terminación o ápice de un órgano.

25-Senectud: Período de la vida humana que sigue a la madurez. Último periodo natural de la vida humana, la vejez.

26-Lentiforme: Formarse lentamente.

27-Vitreas: Hecho de vidrio o que tiene sus propiedades. Parecido al vidrio.

28-Enzimas: Molécula formada principalmente por proteína que producen las células vivas y que actúa como catalizador y regulador en los procesos químicos del organismo: las enzimas son esenciales para el metabolismo.

29-Papiledema: Inflamación alrededor del disco óptico, el área donde el nervio óptico (el nervio que lleva los mensajes del ojo al cerebro) entra en el globo ocular. El papiledema se presenta cuando el nervio óptico se inflama debido a mayor presión cerebral causada por tumores u otros problemas.

30-Hemorragia Intraparenquimatosa: Hemorragia localizada dentro del parénquima cerebral. Parénquima es el tejido de los órganos glandulares.

31-Hemorragia Subaracnoidea: Sangrado que se produce dentro de las cisternas aracnoideas, por fuera de la piamadre, y que, en la mayoría de los casos, se debe a la ruptura de un aneurisma y también tras un traumatismo.

32-Antólogo: “Antología”: Libro que contiene una selección de textos literarios de uno o varios autores.

33-Bypass: Es una técnica quirúrgica de derivación cardiaca para evitar una obstrucción de las arterias que irrigan al corazón.

34-Autoinjerto: Injerto tomado de un mismo paciente.

35-Aloinjerto: Injerto tomado de otra persona.

36-Irrigación: “Irrigar”: Rociar o regar con un líquido alguna parte del cuerpo.

37-Anastomótico: conjunto de fibras nerviosas.

38-Fibrina: Es una proteína fibrilar con la capacidad de formar redes tridimensionales. Esta proteína desempeña un importante papel en el proceso de coagulación dadas sus propiedades, tiene la forma de un bastón con tres áreas globulares y la propiedad de formar agregados con otras moléculas de fibrina formando un coágulo blando.

39-Hipocelular: No admite células. Se queda sin células.

40-Colágeno: Sustancia proteínica albuminoidea que existe en el tejido conjuntivo, en los cartílagos y en los huesos.

41-Antitrombótica: Que no ocurra una trombosis. Definición trombosis N°42.

42-Trombosis: Es un coágulo en el interior de un vaso sanguíneo y uno de los causantes de un paro cardíaco.

43-Hemólisis: Es el fenómeno de la desintegración de los eritrocitos (glóbulos rojos o hematíes). El eritrocito carece de núcleo y orgánulos, por lo que no puede repararse y muere cuando se «desgasta».

44-Lumen: Es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa percibida.

2. Sintaxis.

Aun entendiendo que para realizar un PFC , bastaría con realizar un estudio concienzudo de una parte concreta de una maquina, tras haber estado estudiando en la universidad EUPM varios años, necesitaba alguna idea que me motivara para poder realizar dicho proyecto, esta idea la encontré en el departamento de Resistencia de Materiales, donde el Prof. Juan José Rivera me introdujo a un mundo desconocido para mi.

Este estudio podría ayudar a salvar vidas o a ayudar a vivir mejor a las personas y animales, además, podría ayudar a personas, que como mi padre, perdieron la vida por obturación de las arterias.

3. Introducción

A través de la historia el hombre en su afán de comprender el medio en que se desenvuelve a buscado respuestas a los fenómenos que a diario se le presenta, el cuerpo humano no esta exento de dicho interés es por eso que con el pasar de los siglos, hombres y mujeres de ciencia dedican sus vidas a la búsqueda de la verdad, fue así como en el siglo XVII: *Harvey* (1628), cuyo precursor es *Servet* (1509-1553), descubre la circulación de la sangre, confirmada por *Malpighi* en 1659, con sus estudios sobre los capilares sanguíneos y alvéolo pulmonar.

Nuestro cuerpo contiene aproximadamente unos 5 litros de sangre, que el corazón se encarga de impulsar en su recorrido por los vasos sanguíneos, y que cada hora recorren 120 veces el cuerpo humano entero. La sangre es el gran sistema de comunicación y transporte del organismo: lleva a las células el oxígeno y los nutrientes que necesitan, recoge los productos de rechazo del organismo, transporta las hormonas, regula la temperatura del cuerpo y otras magnitudes químicas de los tejidos y contiene nuestro sistema inmunitario.

Centrándonos en nuestro estudio, la grasa y el colesterol se acumulan en el interior de las arterias lo que puede dar lugar a la aterosclerosis, en consecuencia los vasos sanguíneos se bloquean obturando parcialmente o totalmente la circulación de la sangre, lo que puede ocasionar la muerte.

La necesidad de poder evaluar en forma precisa y repetible parámetros fisiológicos tales como la frecuencia cardiaca, presión, resistencia periférica, flujo, junto con la necesidad de poder evaluar los efectos de la remoción del endotelio⁽⁷⁾ o la variación de las fuerzas de cizallamiento en la elasticidad arterial, hace necesario realizar estudios “in-vitro”, como las que realizara el Banco de pruebas que se realizará en este proyecto. Para tal fin desarrollaremos un sistema hidráulico, que permite realizar pruebas “in-vitro” para controlar las variables hemodinámicas más importantes.

4. Sistema Cardiovascular.

4.1. Definición:

El aparato circulatorio también denominado sistema circulatorio es la estructura anatómica que comprende conjuntamente tanto al Sistema Cardiovascular⁽⁸⁾ que conduce y hace circular la sangre (torrente sanguíneo), como al Sistema Linfático⁽⁹⁾ que conduce la linfa (líquido corporal que recorre los vasos linfáticos), compuesto principalmente por dos circuitos.

-El circuito corto o derecho (circulación pulmonar) empieza en la parte derecha del corazón; lleva sangre a los pulmones, y devuelve de nuevo sangre oxigenada al corazón.

-El circuito largo o izquierdo (circulación sistémica) empieza en la parte izquierda del corazón; recibe la sangre oxigenada de los pulmones, y la envía a todo el resto del organismo.

4.2. Funcionamiento.

El aparato circulatorio está formado por el corazón, también los vasos arteriales-venosos y los capilares sanguíneos con un doble circuito cerrado (imagen 1): la circulación mayor y la menor.

La circulación menor parte del ventrículo derecho y va a los pulmones, transportando sangre venosa a través de las arterias pulmonares. En correspondencia con los capilares pulmonares, la sangre cede una parte de su anhídrido carbónico (CO₂), se carga de oxígeno y vuelve a la aurícula izquierda a través de las dos venas pulmonares.

La circulación mayor parte del ventrículo izquierdo por la gran arteria aorta, que envía sangre a irrigar la cabeza y las extremidades superiores; luego nutre el hígado, por medio de la arteria hepática; el intestino, con la arteria mesentérica y los riñones con las arterias renales. Al final la aorta se divide en las arterias ilíacas, que irrigan las extremidades inferiores. La sangre venosa vuelve al corazón a través de la vena cava inferior, que recoge directamente la sangre procedente de las venas renales y hepáticas e indirectamente la sangre intestinal, que pasa primero a través del círculo portal y luego a través del hígado. La sangre venosa de las regiones cefálicas, a través de la vena cava superior, vuelve a la aurícula derecha del corazón y seguidamente al ventrículo derecho, para pasar por último a la pequeña circulación y continuar el ciclo (imagen 2).

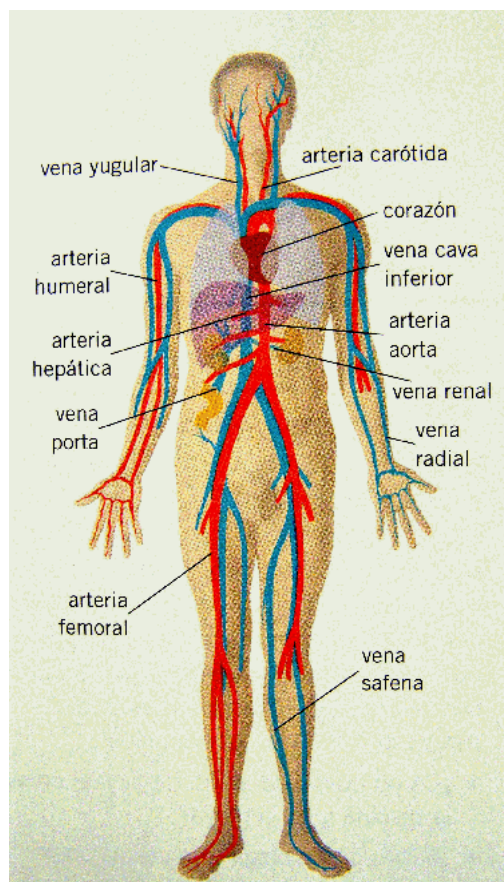
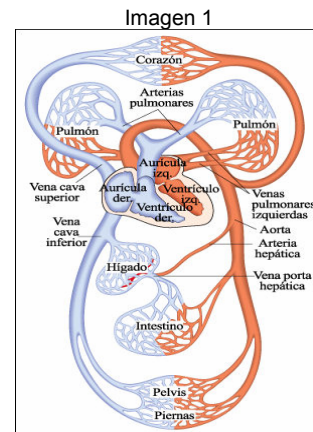


Imagen 2

Breve resumen de las funciones del Sistema Cardiovascular:

El sistema cardiovascular sirve para:

- Distribuir los nutrientes por todo el cuerpo.
- Está relacionado con el intercambio de gases (oxígeno y bióxido de carbono).
- Recoge y retira los productos de desecho del metabolismo celular y los lleva al sistema excretor.
- Distribuye el producto del metabolismo celular.
- Transporta reguladores químicos, tales como hormonas o sustancias formadas en las glándulas de secreción interna.
- Equilibra la composición química de las células.
- Lleva energía calorífica desde las regiones internas del cuerpo hasta la piel, o sea, tiene que ver con la regulación de la temperatura corporal.
- Defiende al organismo de los microorganismos.

4.3 Composición del Sistema.

4.3.1 Sangre.

Es un tejido fluido de un color rojo característico por la presencia del pigmento hemoglobínico contenido en los eritrocitos ⁽¹⁾.

Es un tipo de tejido conectivo especializado, con una matriz coloidal líquida y constitución compleja. Tiene una fase sólida (elementos formes, que comprende a los glóbulos blancos, los glóbulos rojos y las plaquetas); y una fase líquida, representada por el plasma sanguíneo.

Su principal función es el medio logístico de distribución e integración sistémica, cuya contención en los vasos sanguíneos (espacio vascular) admite su distribución (circulación sanguínea) hacia casi todo el cuerpo.

Veamos unas imágenes de la sangre, (imágenes 2 y 3).

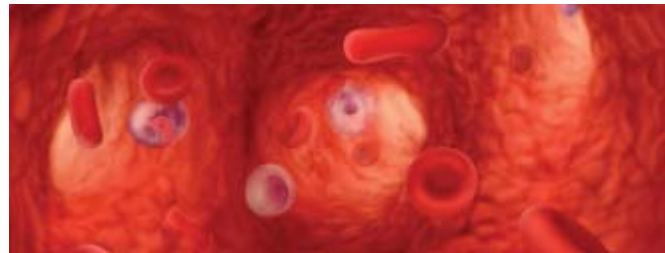


Imagen 2. Imagen microscópica de la sangre

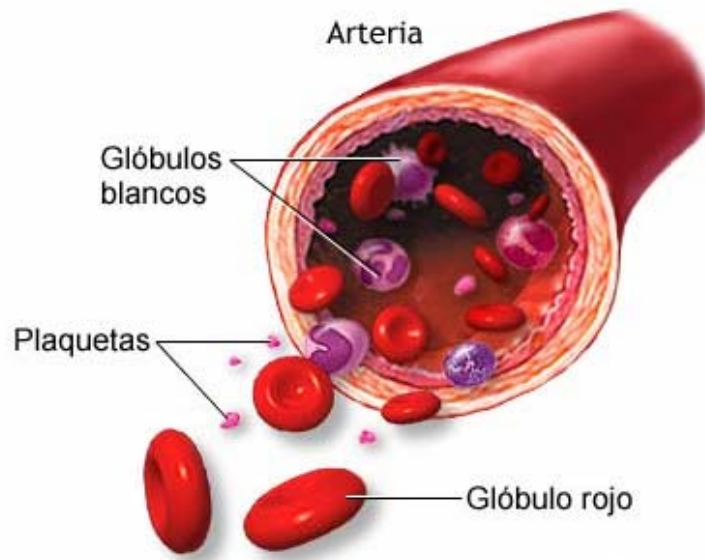


Imagen 3. Composición de la sangre

4.3.2 Corazón.

El corazón (imagen 4), es un órgano muscular hueco con forma de cono aplanado, está situado en la parte anterior del tórax con la punta inclinada hacia el lado izquierdo, se apoya por debajo en el diafragma y por delante en la pared torácica en el quinto espacio intercostal izquierdo, tiene el tamaño de un puño, pesa alrededor de 200 gramos, su función es impulsar la sangre a todo el sistema circulatorio.

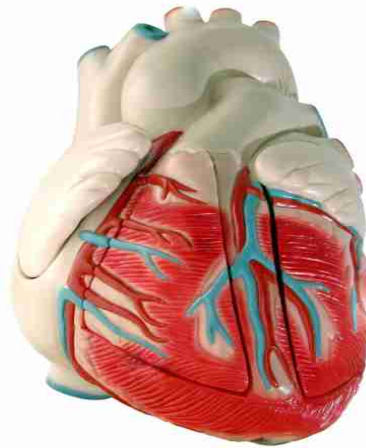


Imagen 4

En él se distinguen tres capas o membranas:

-El miocardio: formado por tejido muscular cardíaco, constituye el mayor componente del corazón y es responsable de su acción de bombeo. Sus células musculares son involuntarias, estriadas y ramificadas. Se disponen alrededor del corazón en haces entrelazados y forman dos grandes redes la auricular y la ventricular.

Cada fibra de conecta con la fibra contigua a través de engrosamientos del sarcolema⁽¹¹⁾ llamados discos intercalado, dentro de estos se encuentran las uniones de hendidura o sinapsis eléctricas que permiten la propagación de los potenciales de acción musculares de una fibra a otra.

-El endocardio: Superficie interna del miocardio. Es una fina capa de endotelio⁽¹²⁾ que recubre a una fina capa de tejido conjuntivo. Generando un revestimiento liso del interior del corazón y recubre las válvulas cardíacas. El endocardio se continúa con el revestimiento endotelial de los grandes vasos asociados al corazón y el resto del sistema circulatorio.

-El epicardio: Superficie externa del miocardio. Es también denominado hoja visceral del pericardio seroso, es la capa más externa, fina y transparente de la pared cardíaca. Formada por mesotelio⁽¹³⁾ y tejido conjuntivo delicado, que le da una textura suave y deslizante a la superficie más externa del corazón.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

También cuatro cámaras cardiacas (imagen 5).

- Las aurículas.
- Los ventrículos.

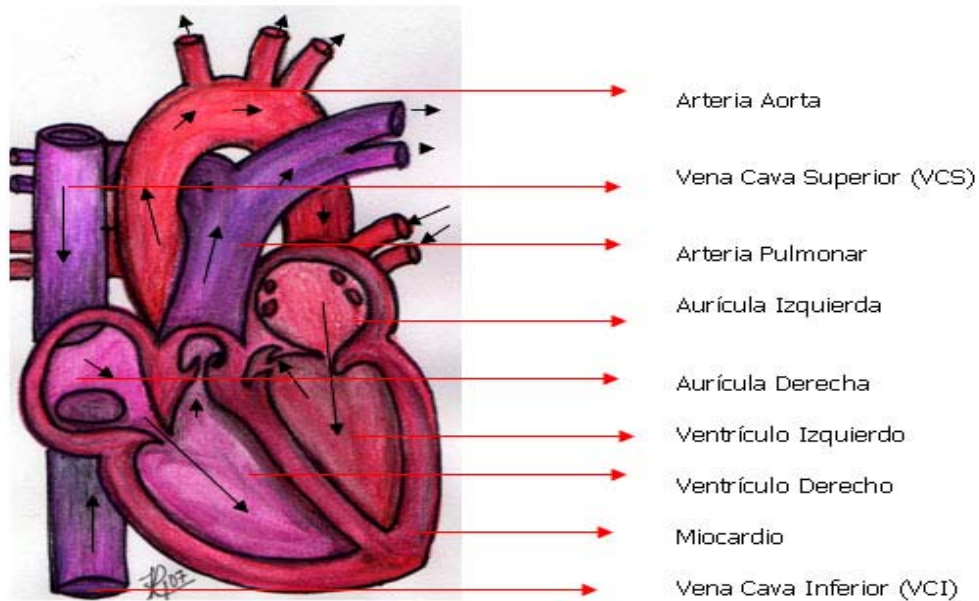


Imagen 5

4.3.2.1 Ciclo cardiaco, dinámica cardiaca.

La actividad del corazón es cíclica y continua. El ciclo cardiaco es el conjunto de acontecimientos eléctricos, hemodinámicas, mecanismos, acústicos y volumétricos que ocurren en las aurículas, ventrículos y grandes vasos, durante las fases de actividad y de reposo del corazón. El ciclo cardiaco comprende el período entre el final de una contracción, hasta el final de la siguiente contracción. Tiene como finalidad producir una serie de cambios de presión para que la sangre circule.

El corazón funciona como una bomba aspirante e impelente. Para lo cual realiza movimientos de relajación (**diástoles**) seguidos de movimientos de contracción (**sístoles**). El **ciclo cardíaco** (latido) dura 0,8 segundos y presenta 3 etapas (imagen 6):

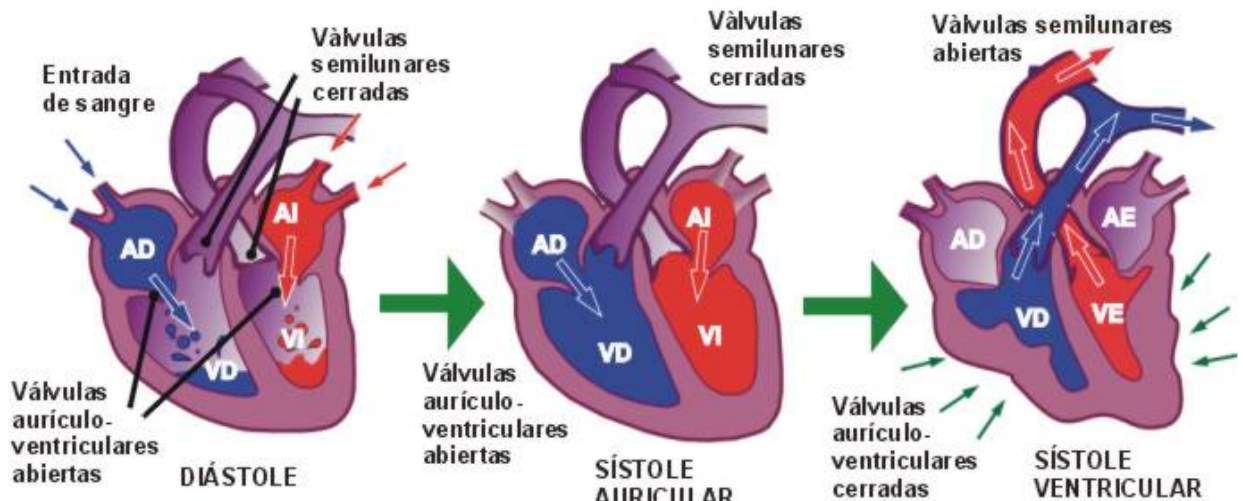


Imagen 6

4.3.3 Vasos sanguíneos.

Un vaso sanguíneo es una estructura hueca y tubular con ramificaciones que conduce la sangre impulsada por la acción del corazón. El conjunto de vasos sanguíneos del cuerpo junto con el corazón forman el aparato cardiovascular. La longitud total de todos los vasos sanguíneos del cuerpo humano es de unos 97.000 kilómetros.

Los vasos sanguíneos se clasifican en tres grupos (imagen 7):

Arterias: Llevan la sangre desde el corazón a los órganos, transportando el oxígeno (excepto en las arterias pulmonares, donde transporta sangre con dióxido de carbono) y los nutrientes. Esta sangre se denomina arterial u oxigenada en la circulación mayor y tiene un color rojo intenso.

Venas: Llevan la sangre desde los órganos y los tejidos hasta el corazón y desde éste a los pulmones, donde se intercambia el dióxido de carbono con el oxígeno del aire inspirado, (excepto en las venas pulmonares, donde se transporta sangre oxigenada). Esta sangre se llama venosa y es de color más oscuro.

Capilares: Tienen su origen en la división progresiva de las arterias en ramas cada vez más pequeñas hasta llegar a los vasos capilares, que poseen finísimas paredes, y a través de los cuales pasan las células sanguíneas, al igual que los gases respiratorios, los nutrientes y el resto de las sustancias que transporta la sangre.

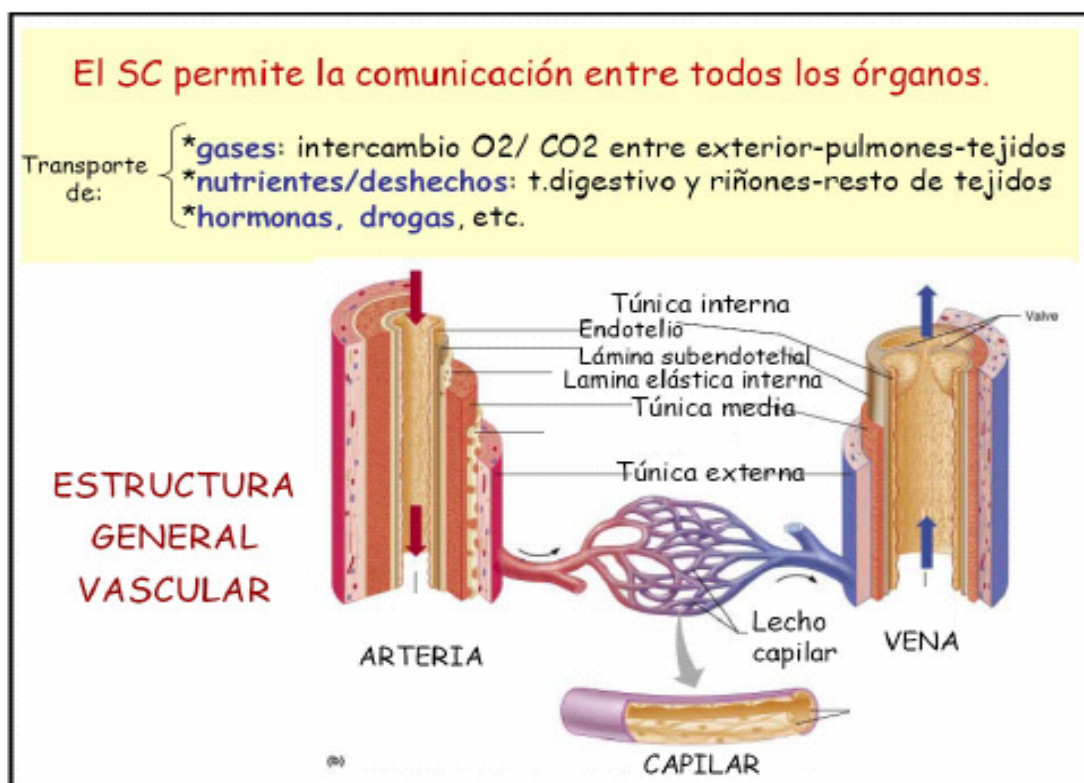


Imagen 7

SC: Sistema Cardiovascular.

4.3.3.1 Clasificación de los vasos sanguíneos.

4.3.3.1.1 Arterias.

Cada vaso arterial consta de tres capas concéntricas (imagen 8):

-Externa o adventicia: de tejido conjuntivo.

-Media: compuesta por fibras musculares lisas y fibras elásticas.

-Interna o íntima: constituida por el endotelio y una capa conjuntiva subendotelial.

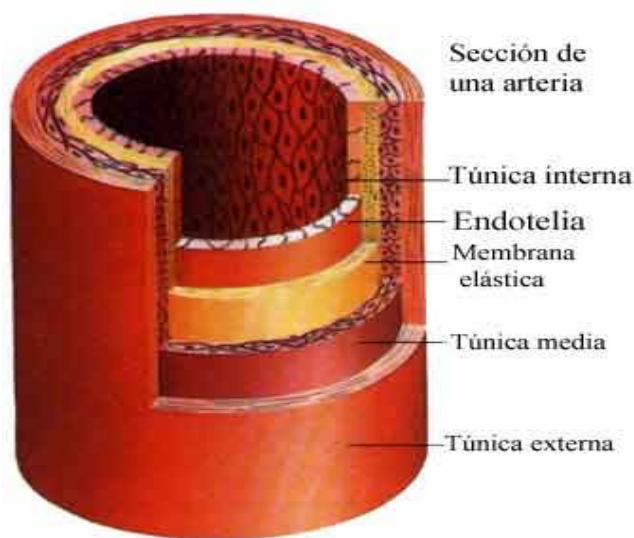


Imagen 8

4.3.3.1.1.1 Sistema de la arteria aorta.

Trayecto:

La Arteria aorta se dirige oblicuamente arriba, adelante y a la izquierda, en una longitud de 5 centímetros. Después se inclina hacia la tercera vértebra dorsal, formando el cayado de la aorta. Luego se hace vertebral, corriendo primero a lo largo de la parte izquierda de la columna vertebral, hasta la octava vértebra dorsal, y luego a lo largo de la línea media. Por último, atraviesa el diafragma y termina a nivel de la cuarta vértebra lumbar.

Ramas que nacen del cayado de la aorta:

1- Tronco braquiocefálico arterial, que se divide en 2 ramas terminales: la arteria carótida primitiva derecha y la arteria subclavia derecha.

2- Arteria carótida común izquierda, destinada como la derecha a la extremidad cefálica.

3- Arteria subclavia izquierda.

Ramas que nacen de la porción torácica de la aorta:

1- Arterias bronquiales. Son 3 para el pulmón derecho y 2 para el izquierdo, y están destinadas a la nutrición del parénquima pulmonar.

2- Arterias esofágicas medias. Son 5 o 6 y se distribuyen por la porción torácica del esófago.

3- Arterias medianísticas posteriores. Son ramos muy delgados que se distribuyen por los órganos del mediastino posterior (pleura, pericardio, ganglios).

Arterias intercostales aórticas.

Ramas que nacen de la porción abdominal de la aorta.

1- Arterias diafragmáticas inferiores.

2- Arterias lumbares.

3- Tronco celíaco, que da 3 ramas: arteria hepática, arteria esplénica y arteria coronaria estomáquica o gástrica izquierda.

4- Arteria mesentérica superior

5- Arterias capsulares medias

6- Arterias renales

7- Arterias genitales. Son las arterias espermáticas en el hombre y las arterias úteroováricas en la mujer.

8- Arteria mesentérica inferior.

Ramas terminales de la aorta.

1- Arteria sacra media

2- Arteria ilíaca primitiva

Distribución arterial (imagen 9).

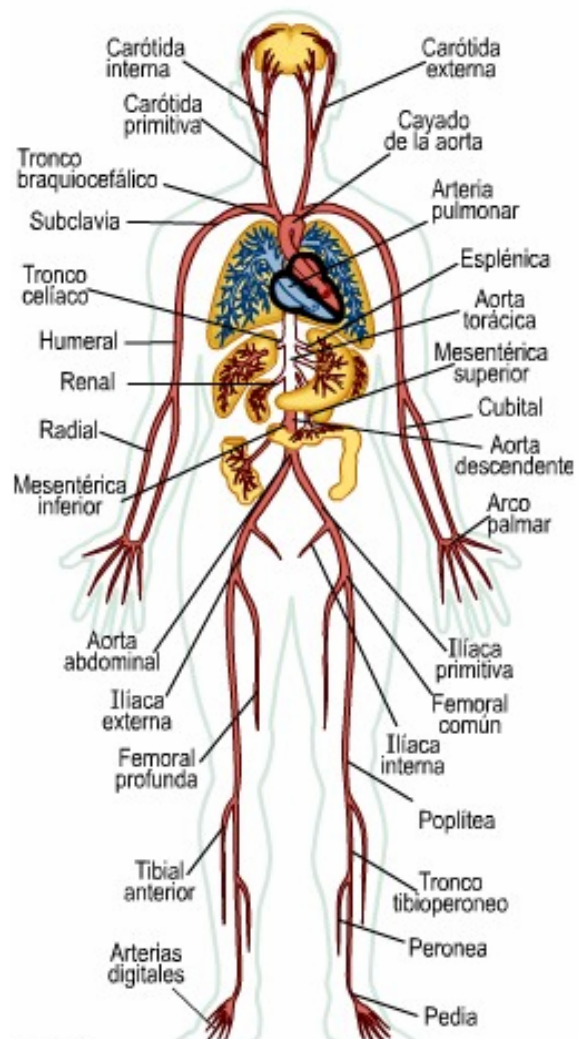


Imagen 9

4.3.3.1.1.2 Presión arterial.

La presión arterial (PA) es necesaria para impulsar la sangre por el interior de los vasos sanguíneos. Hay que entender que la sangre, una vez sale del corazón, debe volver a él prácticamente sin otro impulso que el proporcionado por la sístole ventricular.

En sentido estricto, la (PA) puede definirse como la fuerza que ejerce la sangre por unidad de superficie sobre la pared vascular; se mide en milímetros de mercurio (mmHg) y esta generada por la contracción cíclica del corazón. Además, viene determinada por el volumen de sangre contenido en el territorio arterial y por las características de las paredes arteriales.

La presión arterial media (PAM), valor promedio de las presiones sanguíneas a lo largo del tiempo puede obtenerse según la fórmula:

$$PAM = (2PAD + PAS)/3$$

PAM = Presión arterial media.

PAD = Presión arterial diastólica.

PAS = Presión arterial sistólica.

Normalmente la presión sanguínea media se encuentra entre 90-100 mmHg.

4.3.3.1.1.3 Presión diferencial. Pulso arterial.

La diferencia de presión entre la PAS y la PAD se denomina presión diferencial o presión de pulso, que se manifiesta en la periferia como *onda de pulso*. El pulso arterial consiste en una manifestación de la expansión y endurecimiento arterial producido como consecuencia de la eyección de sangre del ventrículo izquierdo (VI) hacia la aorta, y de su transmisión a los grandes vasos, este fenómeno es palpable en el sistema arterial, sobretodo si esta próximo a la superficie. La onda pulsátil se transmite por la columna sanguínea a una velocidad creciente conforme se aleja del corazón, debido a que la distensibilidad de las paredes arteriales disminuye, por su mayor contenido en músculo. A pesar de este aumento de velocidad la onda se va amortiguando de forma que la pulsatilidad desaparece cuando la sangre accede al territorio capilar.

4.3.3.1.2 Venas.

Las venas se localizan más superficialmente que las arterias, prácticamente por debajo de la piel, en las venas superficiales.

Las venas están formadas por tres capas (Imagen 10):

- Interna o endotelial.
- Media o muscular.
- Externa o adventicia.

Las venas tienen una pared más delgada que la de las arterias, debido al menor espesor de la capa muscular, pero tienen un diámetro mayor que ellas porque su pared es más distensible, con más capacidad de acumular sangre. En el interior de las venas existen unas valvas que forman las válvulas semilunares que impiden el retroceso de la sangre y favoreciendo el sentido de la sangre hacia el corazón.

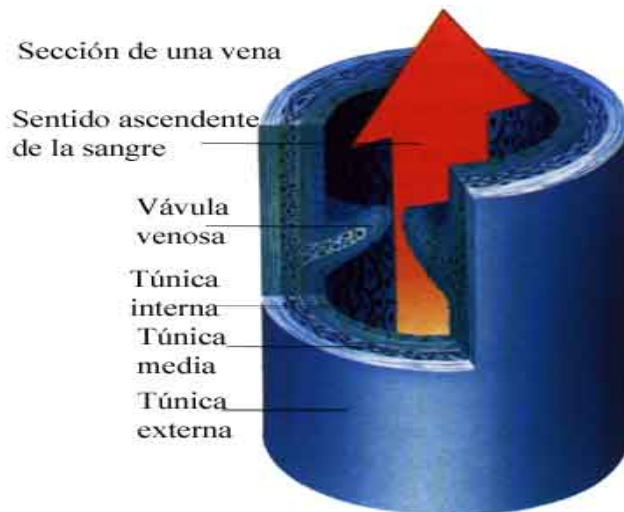


Imagen 10

Las venas contienen la mayor proporción del volumen sanguíneo, hasta un 70%, frente al 30% de las arterias, y por ello se les atribuye el papel de reservorios o almacenes de sangre. Dentro de unos límites, su pared les permite distenderse ante incrementos de volumen sanguíneo recibido, sin generar un aumento importante de la presión en su interior; por ello se llama *vasos de capacitancia*. Tanto si existe una pérdida de sangre (hemorragia) como si se aportan líquidos al sistema circulatorio, los cambios se manifiestan más claramente en el sistema venoso que en el arterial, debido a su mayor distensibilidad de las venas (entre 25 y 30 veces mayor que en las arterias).

Las principales venas son (Imagen 11):

Venas pulmonares: Son el conjunto de venas encargadas de transportar la sangre oxigenada desde los pulmones al corazón. Se trata de las únicas venas del organismo que transportan sangre oxigenada.

Vena porta: es una vena gruesa cuyo tronco está entre las eminencias de la superficie interior del hígado.

Vena cava superior: es una de las dos venas más importantes del cuerpo humano. Transporta la sangre que necesita oxígeno fresco desde la parte superior del cuerpo hasta la aurícula derecha. Todas las venas de la parte superior drenan de ella.

Vena cava inferior: Existen dos venas mayores en el cuerpo, la vena cava superior o descendente, que recibe la sangre de la mitad superior del cuerpo, y otra inferior ascendente, que recoge la sangre de los órganos situados debajo del diafragma ⁽¹⁴⁾. Ambas desembocan en la aurícula derecha del corazón.

Vena femoral: es la prolongación de la vena plopítea. Esta vena penetra en la vaina femoral, lateral al conducto femoral, y termina detrás del ligamento inguinal, convirtiéndose en la vena ilíaca externa.

Vena yugular: desciende desde el ángulo de la cara hasta la parte central de la clavícula, termina en la vena subclavia. Drena la sangre que proviene en su mayor parte del cuero cabelludo y de la cara. Se origina por la unión de la vena retromandibular y la auricular posterior. Cualquiera de los dos grandes vasos situados en el cuello que reciben la mayor parte de la sangre del exterior del cráneo y de las estructuras profundas de la cara.

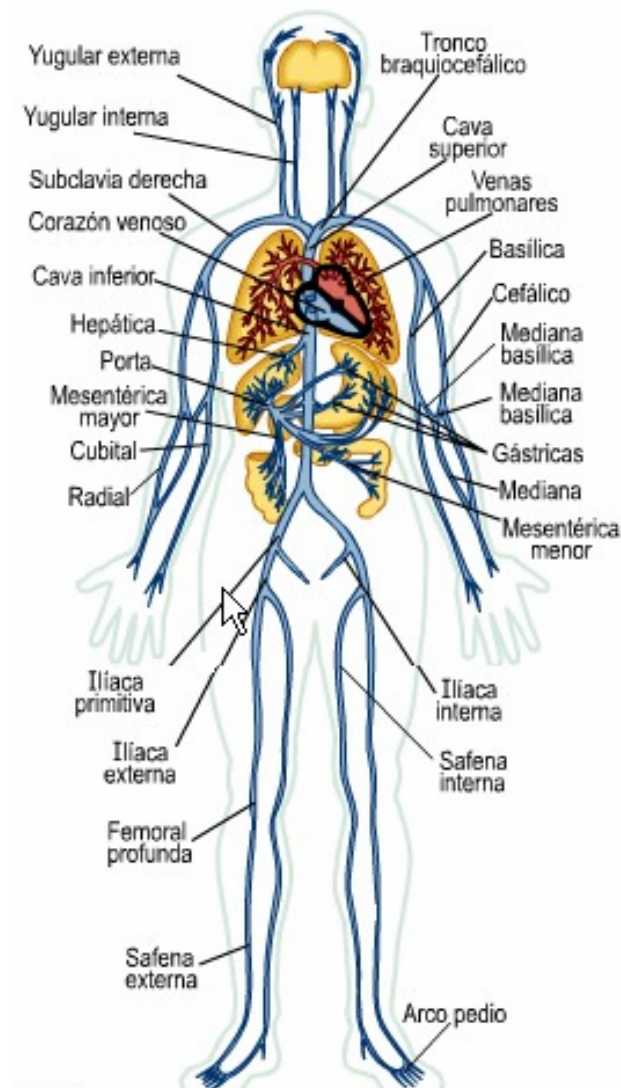


Imagen 11

4.3.3.1.2.1.- Presión de las venas.

La presión venosa central corresponde a la que se determina por cateterismo⁽¹⁵⁾ en la aurícula derecha, cavidad a la que retorna toda la sangre procedente de la circulación sistémica. Su valor de referencia es de 0 mmHg.

La presión venosa periférica es la que existe en el resto de las venas del sistema. Viene determinada por varios componentes:

1.-Presión dinámica: Es la que procede del empuje sistólico del ventrículo izquierdo (VI), que en este punto del sistema circulatorio ya es muy baja y disminuye conforme se acerca al corazón. Va de 16 a 10 mmHg en venulas, de 8 a 4 mmHg en venas periféricas, y de 2 a 0 mmHg en venas cavas.

2.-Presión hidrostática: Depende del peso de columna de sangre por efecto de la fuerza de gravedad.

3.-Presión tisular: Ejercida por los tejidos que rodean las venas, ya que, por las características de su pared, pueden verse fácilmente comprimidas y colapsadas.

4.3.3.1.2.2.- Pulso venoso.

A diferencia de lo que sucede en las arterias, en las venas no se puede hablar de pulso en sentido estricto. El retorno venoso hacia el corazón se realiza como flujo sanguíneo no pulsátil, pero la actividad o movimientos de la aurícula y de los ventrículos originan en la aurícula derecha unos cambios de presión que se transmiten por continuidad hacia las cavas y desde la superior a la vena yugular, por lo que el fenómeno recibe el nombre de *pulso yugular*.

4.3.3.1.3 Capilares.

El calibre de los capilares de las diferentes partes del cuerpo varía dentro de límites relativamente estrechos, entre 8 y 12 micras, y permite el paso con dificultades de las células sanguíneas. En los órganos que están en un estado de actividad funcional mínima, muchos capilares están estrechados de tal modo que apenas circula sangre por ellos. De ordinario, sólo el 25 por 100 del lecho capilar total del cuerpo está abierto, pero cuando aumenta la actividad, los capilares se abren y se restaura el flujo para atender a las necesidades locales de oxígeno y nutrientes.

En los cortes transversales de los capilares pequeños, una célula endotelial puede extenderse alrededor de toda la luz. En los capilares mayores, la pared puede estar constituida por parte de dos o tres células.

Tipos de capilares.

Capilar venoso, encargado de llevar sangre desoxigenada hacia el corazón por medio de las vénulas ⁽¹⁶⁾ donde se encuentran las venas para que luego éste lo bombee a las distintas partes del cuerpo.

Capilar arterial, encargado de transportar la sangre oxigenada a los diferentes tejidos y órganos.

Capilares continuos o de tipo muscular: En el músculo, el tejido nervioso y los tejidos conjuntivos del cuerpo, el endotelio forma una capa delgada ininterrumpida alrededor de toda la circunferencia del capilar.

Capilares fenestrados o viscerales: En el páncreas, el tubo digestivo y las glándulas endocrinas, el endotelio varía de grosor, y algunas regiones sumamente delgadas están interrumpidas por fenestraciones circulares o poros de 80 a 100 manómetros, cerrados por un diafragma muy delgado que tienen un engrosamiento central puntiforme ⁽¹⁷⁾.

La función principal de los capilares es el intercambio de sustancias entre la luz de los capilares y el intersticio celular de los tejidos. Sólo el 5% de la sangre se encuentra en la circulación capilar y con un volumen tan pequeño de sangre se asegura la función de intercambio de sustancias. Estas sustancias son nutrientes, gases y productos finales del metabolismo celular (imagen 9).

La función de intercambio varía según la estructura del endotelio, dependiendo de si es continuo o fenestrado.

El intercambio de sustancias entre el interior de los capilares y el intersticio celular de los tejidos se favorece por la sección máxima en los capilares con respecto a todo el sistema circulatorio y la velocidad mínima de la sangre que los recorre (Imagen 7).

4.4 Circuitos Sanguíneos.

4.4.1 Circulación fetal (imagen 12).

Antes del nacimiento, el feto necesita de nutrientes y oxígeno para su supervivencia y desarrollo. Como sus órganos internos aún no están completamente formados (principalmente los pulmones), el feto debe conectarse a través de una serie de estructuras al sistema circulatorio de la madre, para extraer de ella sustancias necesarias para mantenerse vivo.

Este contacto entre madre e hijo no es directo. La placenta (tejido en forma de disco que se encuentra en la superficie interior del útero) es el órgano que sirve como puente para el traspaso sanguíneo. Se estima que cerca de 600 milímetros cúbicos de sangre materna pasan por la placenta a cada minuto.

Las arterias umbilicales (ubicadas a lo largo del cordón umbilical) cumplen la tarea de llevar la sangre fetal hasta la placenta, lugar donde se produce el intercambio. La sangre retorna al feto mediante la vena umbilical, que se conecta con la rama izquierda de la venaporta y con la vena cava inferior (por medio del ducto arterioso).

Tras el nacimiento y el corte del cordón umbilical, se interrumpe el sofisticado sistema de circulación prenatal. Los pulmones comienzan a funcionar y se cierran, de manera espontánea, los conductos circulatorios fetales (el ducto arterioso, el agujero oval, la vena y arterias umbilicales). Comienzan a funcionar entonces, de manera coordinada, dos sistemas de circulación: mayor y menor.

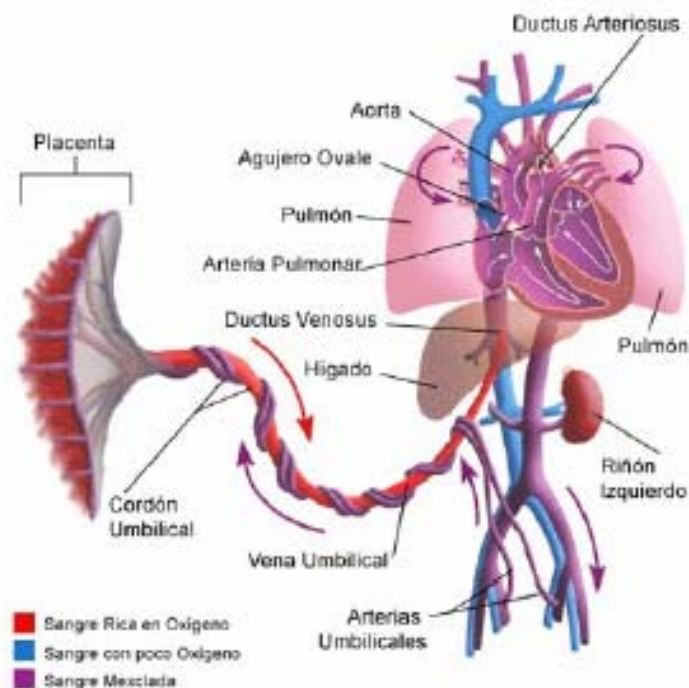


Imagen 12

4.4.2 Circulación mayor.

El sistema cardiovascular presenta dos importantes circuitos por donde fluye la sangre por dos caminos independientes con funciones específicas, impulsados por el mismo motor: el corazón (imagen 13).

El primero de ellos se conoce con el nombre de circulación sistémica o mayor, cuya misión es transportar sangre oxigenada hacia todos los tejidos de nuestro organismo y recolectar los desechos. El viaje de ida de este circuito comprende desde la aurícula izquierda (que recibe la sangre rica en oxígeno proveniente de los pulmones), el ventrículo izquierdo, la aorta y todas sus ramificaciones; mientras que al regreso, retorna por las venas que drenan en las venas cavas, finalizando el viaje en la aurícula derecha del ventrículo derecho del corazón.

4.4.3 Circulación menor.

La circulación denominada menor o pulmonar realiza un trayecto más corto que el anterior, pero su importancia es vital, ya que tiene como único objetivo oxigenar la sangre y desechar sustancias inservibles (respiración celular). Este circuito tiene su punto de partida en el ventrículo derecho del corazón, el que bombea sangre carente de oxígeno hacia el tronco pulmonar; la sangre sigue por las arterias pulmonares derecha e izquierda, donde alcanzan los capilares que rodean los pulmones. Aquí se efectúa el intercambio entre oxígeno y dióxido de carbono. De regreso por las venas pulmonares, la sangre fluye por el ventrículo izquierdo, a la espera de ser transportada por las arterias que participan en la circulación mayor (imagen 13).

4.4.4 Circuitos purificadores.

Existen dos pequeños circuitos sanguíneos que tienen por objetivo purificar la sangre de sustancias tóxicas. Si bien gran parte del trabajo sucio lo realizan los pulmones (por medio de la circulación menor), el hígado y los riñones también cumplen una importante tarea de filtración y limpieza.

Los vasos sanguíneos se relacionan con el sistema digestivo a través de la circulación portal. La sangre que transita por intestinos, estómago, bazo y páncreas desemboca en varias venas pequeñas, las que unidas forman la vena porta hepática. Esta pasa por el hígado, órgano que absorbe y almacena nutrientes de la sangre y que, además, elimina toxinas, catabólicos y contaminantes.

A través de la arteria renal, la sangre llega también a los riñones. Allí, estos miden la cantidad de sustancias químicas presentes en el torrente sanguíneo (por ejemplo, moléculas de sodio o potasio) y eliminan su exceso. Estas sustancias son desechadas, junto a otros compuestos, a través de la orina. A través de la vena porta hepática, la sangre pasa por el hígado, órgano que absorbe y almacena nutrientes de la sangre y que, además, elimina toxinas, catabólicos y contaminantes. A través de la arteria renal, la sangre llega también a los riñones. Allí, estos miden la cantidad de sustancias químicas presentes en el torrente sanguíneo (por ejemplo, moléculas de sodio o potasio) y eliminan su exceso. Estas sustancias son desechadas, junto a otros compuestos, a través de la orina.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Representación de circulación Mayor y Menor.

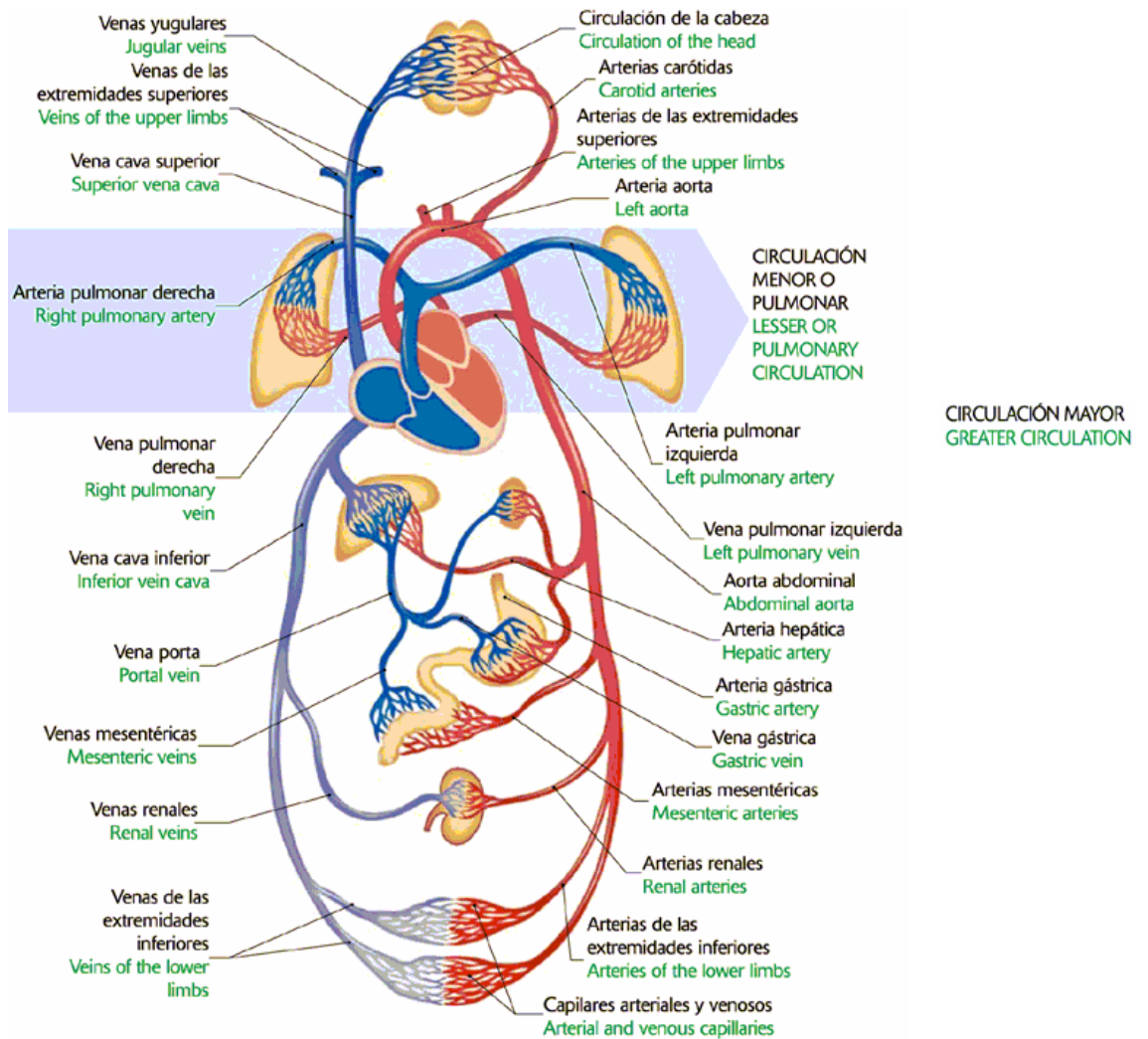
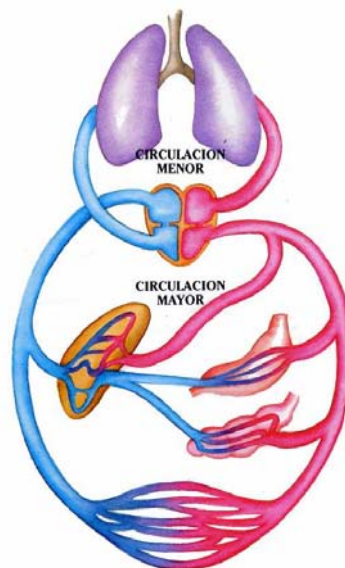


Imagen 13

Esquema:



4.5 Enfermedades Cardiovasculares.

El Instituto Nacional de Estadística publicó los datos sobre las causas de defunción de 2007 en nuestro país.

- Todas las causas: 387.355
- Enfermedades infecciosas y parasitarias: 7.493
- Tumores: 100.206
- Enf. de sangre y de órg. hematopoyéticos y ciertos trast. que afectan mecan. inmunidad: 1.316
- Enfermedades endocrinas, nutricionales y metabólicas: 12.421
- Trastornos mentales y del comportamiento: 12.539
- Enfermedades del sistema nervioso y de los órganos de los sentidos: 15.697
- Enfermedades del sistema circulatorio: **126.907***
- Enfermedades del sistema respiratorio: 47.089
- Enfermedades del sistema digestivo: 19.624
- Enfermedades de la piel y del tejido subcutáneo: 1.107
- Enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conjuntivo: 3.596
- Enfermedades del sistema genitourinario: 9.567
- Embarazo, parto y puerperio: 18
- Afecciones originadas en el periodo perinatal: 942
- Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas: 962
- Síntomas, signos y hallazgos anormales clínicos y de laboratorio, no clasificados en otra parte: 10.969
- Otras causas externas de mortalidad: 16.902

En 2007 fallecieron en España 387.355 personas. La primera causa de muerte fueron las enfermedades del sistema circulatorio (infarto, accidente cerebrovascular,...), seguido de cerca por los tumores. Ya más lejos las enfermedades del sistema respiratorio y digestivo.

Por enfermedad cardio-vascular se entienden la enfermedad del corazón secundaria a arterosclerosis que afecta las arterias coronarias que nutren el corazón y por extensión en especial la arterosclerosis de las arterias cerebrales, de la aorta y de las extremidades inferiores.

El conjunto de enfermedad arterial arteriosclerótica es causa de infartos de diferentes órganos (corazón y cerebro), neurisma o dilatación anormal de la aorta abdominal y gangrena de las extremidades inferiores.

La enfermedad coronaria es un tipo de enfermedad del corazón, causada por el bloqueo gradual de las arterias coronarias. El corazón obtiene oxígeno y nutrientes de la sangre que fluye a través de las arterias. En la enfermedad coronaria, se forman acumulaciones gruesas de tejido graso en el interior de las paredes de las arterias coronarias. Estas acumulaciones se llaman placas. Al engrosarse la placa, disminuye el flujo de sangre. Esto hace que el corazón reciba menos oxígeno. La placa, o un coágulo de sangre que se forma en la placa, pueden bloquear totalmente la arteria.

Este adelgazamiento de las arterias por la placa, y a veces el bloqueo completo, aumentan su riesgo de sufrir un ataque cardíaco y de morir súbitamente.

En los países desarrollados, las enfermedades coronarias están directamente relacionadas con el tipo de alimentación.

El colesterol en la sangre no existe como molécula libre, para ser transportado se une a unas lipoproteínas (constan de una parte lipídica ⁽¹⁸⁾ y otra proteica ⁽¹⁹⁾). Las lipoproteínas ⁽²⁰⁾ son distintas y tienen distintas funciones.

Según sus características las podemos clasificar como:

Cardiopatía congénita: Malformaciones provocadas por alteraciones genéticas o por noxas (rubéola, ácido acetilsalicílico, etc.), afectan el sistema cardiovascular del embrión durante la gestación.

Cardiopatías del Adulto: Patologías que se detectan en la población mayor de 14 y 16 años de edad.

Valvulopatía Cardíaca: Ocurre por distintas causas patogénicas:

- 1).-Fiebre Reumática.
- 2).-Proceso degenerativo senil.
- 3).-Degeneración Fibro-mixomatosa.
- 4).-Endocarditis infecciosa.

Patologías a la Aorta:

- 1).- Aneurisma ⁽²¹⁾ de la Aorta
- 2).-Infarto Agudo de miocardio
- 3).-Traumatismo torácico.

4.5.1 Tipos de enfermedades.

4.5.1.1 Enfermedad de las Arterias Coronarias.

La enfermedad de las arterias coronarias ocurre cuando hay depósito de grasa en las arterias que surten el corazón. Una dieta que consista en grasa saturada y mucho colesterol aumenta el riesgo de tener enfermedades coronarias. El depósito de grasa no es notado hasta que restringe el flujo de sangre a un área del músculo del corazón. Esto causa dolor de pecho o angina pectoris. Normalmente una obstrucción del setenta por ciento causa dolor de pecho o dolor con ejercicio.

El tabaco y la hipertensión son elementos que contribuyen a causar las enfermedades de las arterias coronarias. Ser obeso hace que sea más probable tener alta presión (hipertensión) y enfermedades de las arterias coronarias (imagen 14).

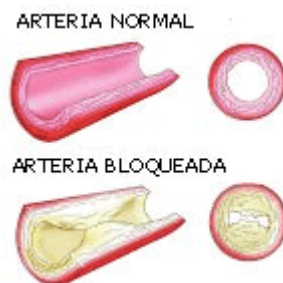


Imagen 14

4.5.1.2 Miocardiopatías.

Además de las lesiones valvulares, la mecánica cardíaca puede afectarse por trastornos que afecten primariamente al miocardio, produciendo cambios en su función contráctil o en su distensibilidad. El término Miocardiopatía en general se refiere al compromiso miocárdico, habitualmente difuso, de origen primario o secundario a causas no cardiovasculares (inflamatorias, degenerativas, tóxicas, etc.).

De acuerdo a sus características patológicas y funcionales se las divide en:

Dilatadas. La miocardiopatía dilatada (MCD) puede ser considerada como un síndrome clínico y fisiopatológico caracterizado por disfunción miocárdica y dilatación del ventrículo izquierdo o de ambos ventrículos con hipertrofia inapropiada.

Atendiendo a la definición de la Organización Mundial de la Salud.

Restrictivas. Se caracterizan por alteraciones en el lleno diastólico por disminución de la distensibilidad, por enfermedades propias del músculo cardíaco como en la miocardiopatía restrictiva idiopática ⁽²²⁾, por infiltrado como en la amiloidosis ⁽²³⁾ y almacenamiento como se puede ver en la enfermedad de Fabry, hemocromatosis, etc.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Hipertróficas. Se trata de una enfermedad miocárdica primaria, caracterizada por una hipertrofia asimétrica del ventrículo izquierdo (V.I.), sin ninguna causa identificable. Se han descrito también otras formas como, hipertrofia simétrica del ventrículo izq., hipertrofias del ápex⁽²⁴⁾ del ventrículo izq, e incluso la participación del ventrículo derecho.

Suele ser hereditaria, siendo la forma más frecuente de transmisión (imagen 15).

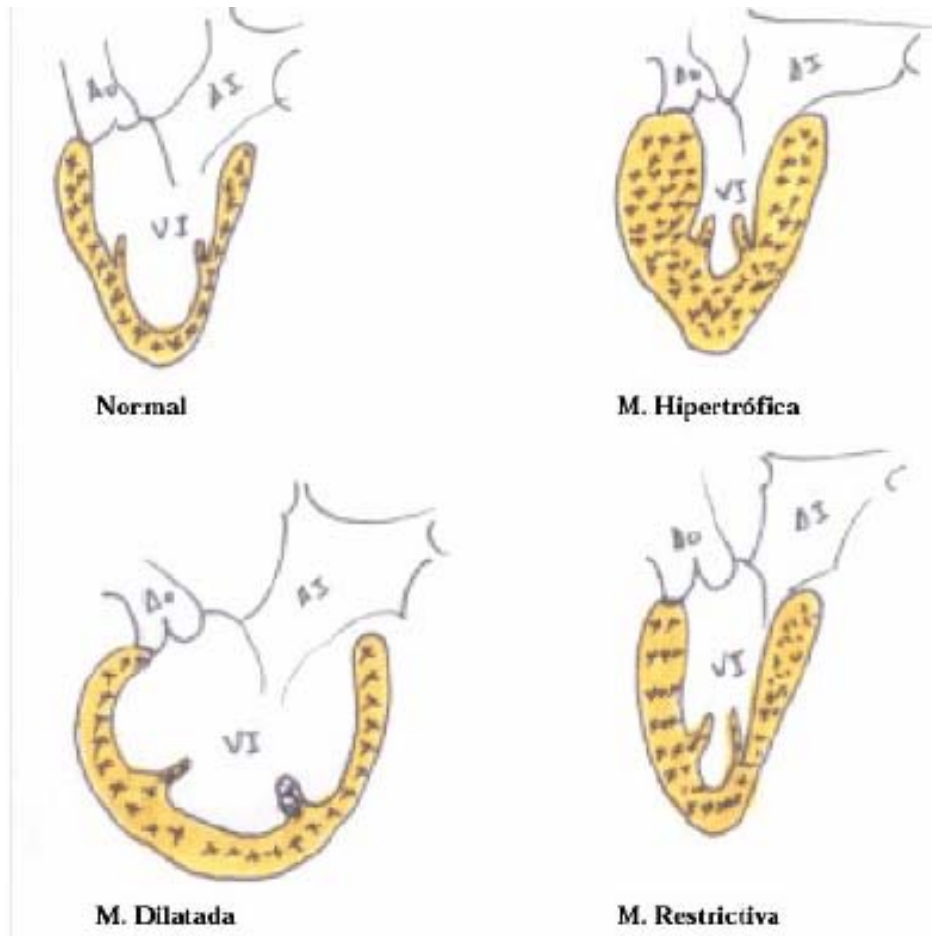


Imagen 15

4.5.1.3 Enfermedades del Sistema Arterial.

1.- Arteriosclerosis: El nombre de arteriosclerosis se usa a veces en forma genérica para denotar un conjunto de lesiones arteriales diversas acompañadas de endurecimiento y pérdida de la elasticidad. Otras veces se lo usa como sinónimo de una de estas lesiones, la aterosclerosis. En su primera acepción comprende la angioesclerosis de la senectud ⁽²⁵⁾, la calcificación de la media, la esclerosis de las arterias pulmonares y la aterosclerosis.

Angioesclerosis es parte de las alteraciones involutivas de la senilidad. Consiste en aumento de las fibras colágenas y de mucopolisacáridos ácidos y en disminución de las fibras elásticas y musculares lisas. Estas alteraciones producen una ectasia arterial con pérdida de la elasticidad, como puede apreciarse en la aorta de los ancianos.

Calcificación de la media esta lesión, llamada también arterioesclerosis (imagen 16), de Mönckeberg, es de patogenia desconocida y ocurre las más de las veces en gente de edad avanzada. Se caracteriza por la formación de placas calcáreas, a veces osificadas, en la túnica media especialmente en las arterias de las extremidades. Las placas se disponen a manera de anillos como en la tráquea y pueden palparse al tomar el pulso en la arteria radial. No tiene mayor significación patológica. Clásicamente consideraremos como aterosclerosis cuatro tipos de lesiones:

- Estrías y manchas lipoideas.

Son lesiones lineales o maculares, amarillentas, apenas sollevantadas en la íntima, como se aprecian especialmente en la aorta.

- Placas gelatinosas.

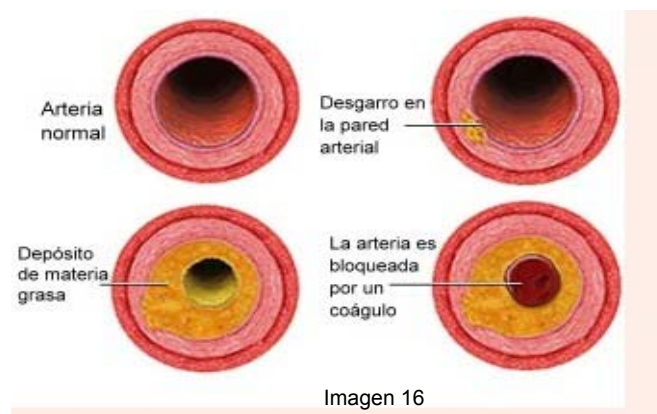
Estas son formaciones lentiformes ⁽²⁶⁾, blandas, vítreas ⁽²⁷⁾, de hasta 1 centímetro de diámetro, constituidas microscópicamente sobre todo por edema, en el que se encuentran dispersas sustancias grasas y fibras musculares lisas.

- Placas Predominantemente escleróticas.

Son lesiones sollevantadas, de contornos circulares u ovalados, firmes, blanquecino grisáceas, que se conocen también como las placas perladas. Ocurren preferentemente en las porciones torácica y lumbar de la aorta.

-Placas predominantemente ateromatosas.

Estas son, en su distribución y forma, similares a las lesiones perladas, pero son amarillentas, algo blandas y con frecuencia, de mayor tamaño.



2.- Aneurisma aórtico (imagen 17) es un término general para cualquier dilatación o aneurisma de la aorta, usualmente representando una debilidad subyacente en la pared de la aorta en esa zona. Este cambio físico en el diámetro aórtico puede ocurrir secundario a un defecto intrínseco en la construcción proteica de la pared aórtica, trauma, infección, o debido a la destrucción progresiva de las proteínas aórticas por enzimas ⁽²⁸⁾. Ésta última es la causa más común de enfermedad aneurismática aunque el origen de esta destrucción enzimático es desconocido.

Frecuentemente son asintomático, pero habitualmente el paciente relata que se nota o palpa en el abdomen un bulto que pulsa y que puede ser sensible o doloroso (aorta abdominal), o dolores de espalda (aorta torácica).

Si el Aneurisma de Aorta Torácico se transforma en sintomático, puede dar los siguientes síntomas:

- Dolor de espalda o nuca.
- Tos, debido a la compresión del Aneurisma sobre la Carina (Traquea).
- Voz ronca.
- Trastornos en la deglución (Tragar).
- Edema en cuello o brazos.

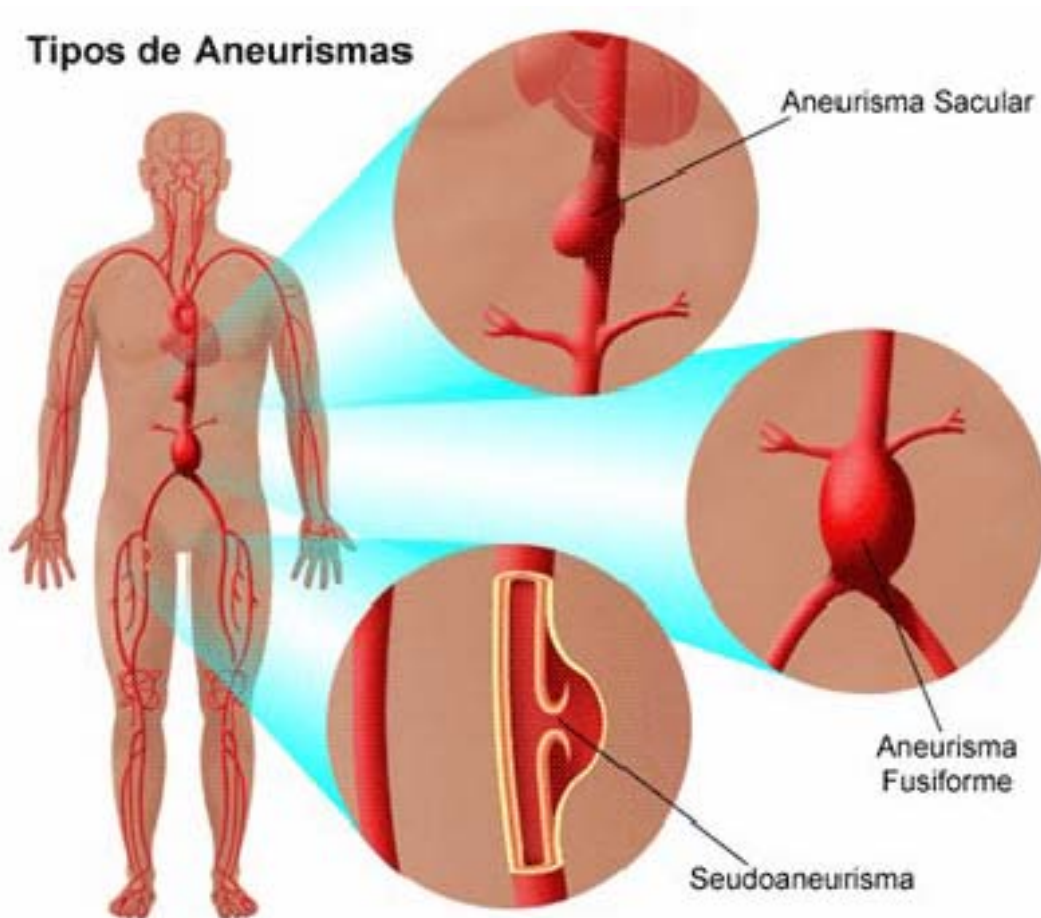


Imagen 17

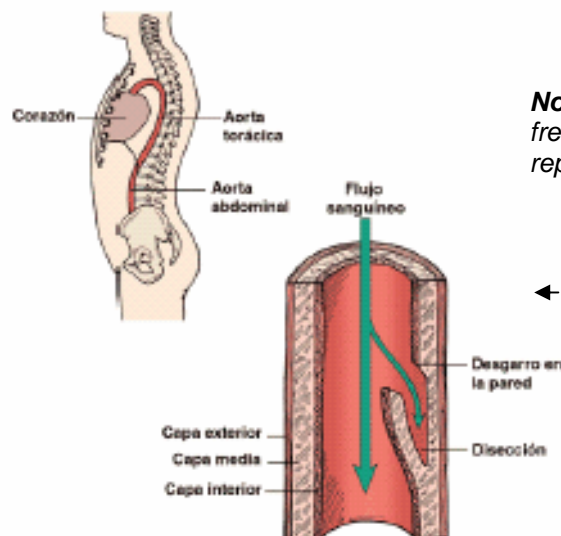
3.- La disección de la aorta.

Es un desgarro de la capa interna de la aorta, el vaso sanguíneo más grande del cuerpo. Éste es un problema muy serio. Cuando entra sangre en el desgarro, las capas internas de la aorta se separan de las capas externas. Esta separación se llena de sangre y se hace cada vez mayor. Puede bloquear otros vasos sanguíneos importantes, modificar el modo en que funciona el corazón o hacer que la arteria reviente (imagen 18).

Síntomas:

Dolor en el pecho:

- Fuerte, repentino, agudo, punzante, desgarrador
- Localizado debajo del esternón y se irradia luego bajo los omóplatos o a la espalda
- Puede irradiarse a los hombros, cuello, brazos, mandíbula, abdomen y caderas.
- El sitio del dolor puede cambiar: el dolor se mueve de manera característica hacia los brazos y piernas, a medida que la disección aórtica empeora.
- Cambios en la capacidad para pensar, confusión, desorientación.
- Disminución del movimiento en cualquier parte del cuerpo.
- Disminución de la sensibilidad en cualquier parte del cuerpo.
- Ansiedad intensa, angustia.
- Palidez.
- Pulso débil y rápido.
- Sudoración profusa (piel fría y húmeda).
- Piel seca.
- Boca seca.
- Sed.
- Náuseas y vómitos.
- Mareos.
- Desmayos.
- Dificultad para respirar al estar acostado (ortopnea).



Nota: los síntomas con frecuencia comienzan repentinamente.

← Imagen 18

4.-La arteriopatía periférica.

Es un cuadro clínico caracterizado por la disminución del riego sanguíneo en los miembros inferiores, de forma que afecta a su funcionalidad. Puede presentarse de forma aguda (trombo embolismo) o de forma crónica, mucho más frecuente. En la forma crónica la disminución de la luz arterial es lenta y progresiva y nuestro organismo desarrolla otras vías alternativas, llamada circulación colateral, que suple, parcialmente, la falta de riego sanguíneo.

5.-La hipertensión arterial (HTA).

Cuando el corazón late, bombea sangre hacia las arterias y crea presión en ellas. Dicha presión es la que consigue que la sangre circule por todo el cuerpo. Cada vez que se toma la tensión se dan dos cifras. La primera de ellas registra la presión sistólica (aquella que se produce en las arterias cuando late el corazón) y la segunda, la presión diastólica (aquella que se registra cuando el corazón descansa entre latidos).

Si la presión sube por encima del límite normal --que se podría cifrar en 140/90 en los adultos-- se produce lo que denominamos hipertensión arterial. Se trata de una enfermedad muy común en todo el mundo que afecta a más del 20 por ciento de los adultos entre 40 y 65 años y casi al 50 por ciento a las personas de más de 65 años. Pero uno de sus mayores peligros es que se trata de un mal silencioso. Se puede tener la tensión arterial elevada y no mostrar síntomas. De ahí la importancia de la prevención.

Si no se controla la tensión arterial, ésta puede afectar al funcionamiento del corazón, cerebro y riñones. La hipertensión es un factor de riesgo cardiovascular y que aumenta el peligro de derrame cerebral.

Tipos de Hipertensión.

Hipertensión Arterial Sistólica Aislada: Se define como una TA sistólica de 140 o más y TA diastólica menor de 90 (Este tipo de HTA es muy frecuente en los Ancianos).

Hipertensión Límitrofe o Limite: Es un sub grupo caracterizado por la Guía de la OMS – SIH (Sociedad Internacional de Hipertensión) como cifras de TA diastólicas mayores de 140 y menores de 149 y cifras de TA sistólicas menores de 94 y mayores de 90.

Hipertensión Arterial Esencial, Primaria, Idiopática: es la hipertensión sistémica de causa desconocida. Más del 95% de los casos de HTA caen en esta categoría.

Hipertensión Arterial Secundaria: es la hipertensión sistémica de causa conocida. Su importancia radica en que algunas de las causas pueden ser curables quirúrgicamente o con medidas específicas.

Hipertensión Maligna: es el síndrome de marcada elevación de las cifras de TA (diastólica usualmente mayor de 120) con sintomatología variable fundamentalmente neurológica, presentan Papiledema ⁽²⁹⁾.

Hipertensión Acelerada: Síndrome de tensión arterial muy alta acompañada de hemorragias y exudados en el fondo de ojo(Retinopatía grado 3 K –W – B).

Hipertensión Complicada: Hipertensión en que existen pruebas de daño cardiovascular relacionado con la elevación de la tensión arterial.

La hipertensión arterial y la hipercolesterolemia (colesterol alto) están considerados entre los más importantes factores de riesgo cardiovascular, y su importancia radica en que los efectos arterioscleróticos de ambas patologías se potencian exponencialmente cuando se dan en un mismo sujeto.

6.-Enfermedad cerebro vascular.

La enfermedad cerebro vascular (ECV) se refiere a cualquier anomalía cerebral, producto de un proceso patológico que comprometa los vasos sanguíneos. Imagen de un ataque cerebro vascular (imagen 19):

Es la patología neurológica invalidante más prevalente de la población adulta mayor de 65 años. En estudios internacionales la prevalencia es de 800/100.000 habitantes con una incidencia anual de 100-270/100.000 y una tasa anual de mortalidad de 100/100.000 (duplicándose la tasa por edad cada 5 años de incremento). La ECV la podemos clasificar en accidentes vasculares encefálicos (AVE) oclusivos o hemorrágicos. Los oclusivos pueden ser trombóticos o embólicos. La hemorragia puede ser intraparenquimatosa ⁽³⁰⁾ o subaracnoidea ⁽³¹⁾.

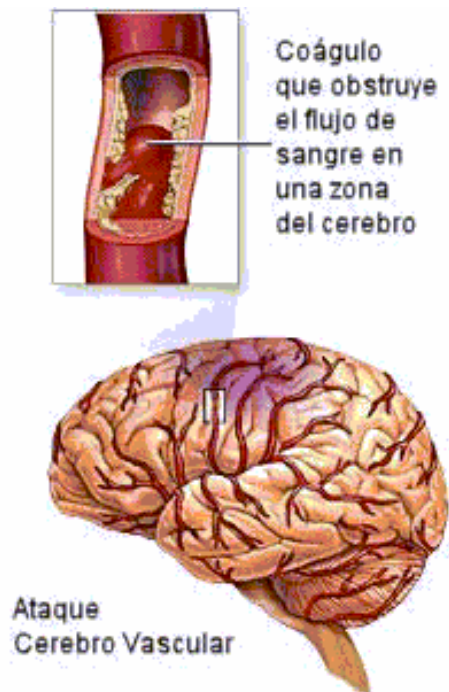


Imagen 19

Resumen del capítulo de enfermedades.

Las causas mas frecuentes de enfermedad:

1. Trombosis arteroesclerótica.
2. Hemorragia cerebral hipertensiva.
3. Crisis isquémica transitoria.
4. Embolismo.
5. Rotura de aneurismas o MAV.
6. Vasculitis.
7. Tromboflebitis.
8. Alteraciones hematológicas (policitemia, púrpura trombocitopénico).
9. Traumatismos de arteria carótida.
10. Aneurisma aórtico disecante.
11. Hipotensión sistémica.
12. Jaqueca con déficit neurológico.

Los factores de riesgo más frecuente de enfermedad:

1. Hipertensión arterial.
2. Diabetes.
3. Obesidad e inactividad física.
4. Adicción a drogas.
5. Hiperhomocistinemia.
6. Fibrinógeno.
7. Raza.
8. Factores hereditarios.
9. Anticuerpos antifosfolípidos.
10. Placas ulceradas en la aorta.
11. Tabaco.
12. Anticonceptivos orales.
13. Alcohol.
14. Crisis isquémicas transitorias.
15. Lípidos.
16. Factores cardíacos.

Los síntomas y signos mas orientadores de la enfermedad:

1. Déficit motor.
2. Déficit sensitivo.
3. Déficit motor y sensitivo.
4. Otras alteraciones motoras (ataxia, incoordinación, temblor).
5. Alteraciones del lenguaje.
6. Otras disfunciones corticales (amnesia, agnosia, praxia, confusión).
7. Vértigo, mareos.
8. Crisis epilépticas.
9. Compromiso de conciencia.
10. Cefalea.
11. Náuseas y vómitos.
12. Signos meníngeos.
13. Otros: Babinski, signos de descerebración o decorticación.

5. Métodos contra enfermedades vasculares típicas.

En ciertas patologías vasculares, los vasos se ocluyen disminuyendo el flujo sanguíneo. Una solución es recurrir a la sustitución de la zona dañada con vasos autólogos ⁽³²⁾, por ejemplo con las arterias mamarias, pero en casos de traumas vasculares extensos o cuando los vasos no reúnan las condiciones requeridas, se debe recurrir a la utilización de los polímeros sintéticos.

5.1 Injertos y Prótesis Vasculares.

Los injertos y las prótesis vasculares son de importancia capital en la moderna cirugía vascular. Varias situaciones patológicas arteriales (isquemia crónica, aneurismas, traumatismos), algunas venosas y ciertas fisuras arteriovenosas para hemodiálisis necesitan injertos o prótesis para poder llevar a cabo derivaciones (bypass ⁽³³⁾), sustituciones y reparaciones, tanto en grandes como en pequeños vasos. Los vocablos injerto e implante se emplean indistintamente; las prótesis son siempre artificiales, implantes o injertos, en cambio, proceden de la biología humana o animal; pero el uso y la costumbre confunden a veces esta nomenclatura. Solo los autoinjertos ⁽³⁴⁾, aloinjertos ⁽³⁵⁾ y algunas prótesis tienen interés en clínica humana.

5.1.1 Autoinjertos y Aloinjertos.

El empleo de autoinjertos (Imagen20) arteriales tiene numerosas ventajas: viabilidad prolongada y conservación de una irrigación ⁽³⁶⁾ intrínseca intacta durante la implantación del injerto, ausencia de degeneración aneurismática, resistencia a la infección, preservación de la flexibilidad normal en sitios de movimiento de articulaciones, y posible crecimiento cuando se implanta en niños; la desventaja más evidente es su falta de disponibilidad.

La demanda de aloinjertos condujo a la creación de bancos de arterias humanas conservadas mediante desecación y congelación como método preferente. Los aloinjertos arteriales pierden el endotelio con rapidez. Un coágulo de plaquetas y fibrina se forma en la membrana basal ahora expuesta, y experimenta una paulatina organización fibrosa; este proceso comienza en sitios anastomóticos ⁽³⁷⁾ y suele ser incompleto en la zona central del aloinjerto, que deja esta área cubierta apenas con un coágulo de fibrina ⁽³⁸⁾, que tiene tendencia a la ulceración. Las paredes del aloinjerto se vuelven hipocelulares ⁽³⁹⁾ con el tiempo. El adelgazamiento progresivo de la pared, con pérdida del colágeno ⁽⁴⁰⁾ y fragmentación de las fibras elásticas, es frecuente después de varios años.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Veamos un ejemplo de un Injerto venoso:

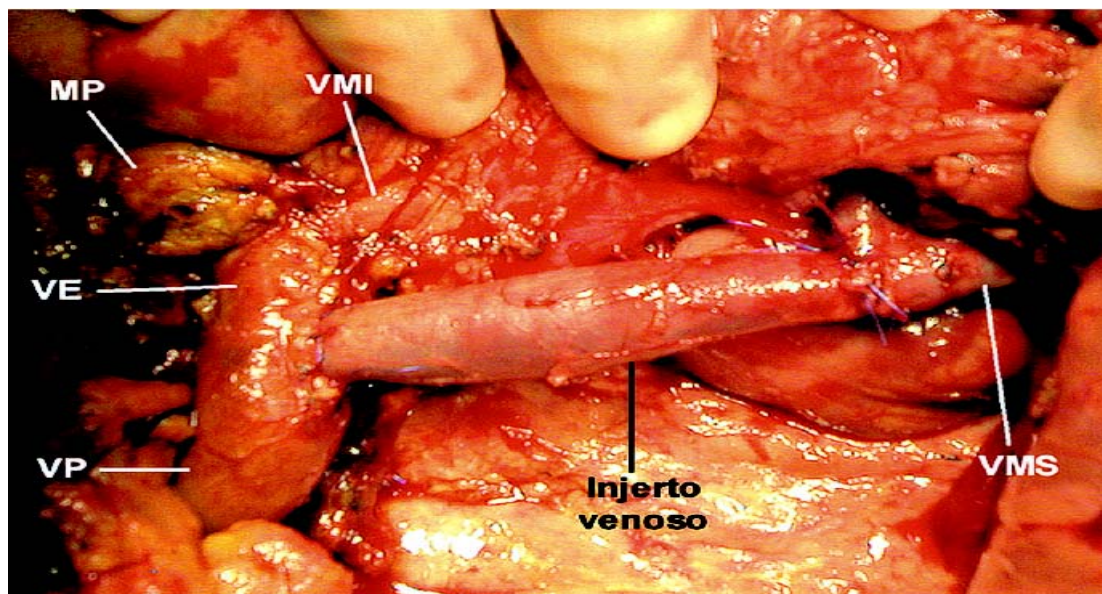


Imagen 20. Campo operatorio tras reseca la pieza.

Datos:

VP: vena porta;

VE: vena esplénica;

VMS: vena mesentérica superior;

VMI: vena mesentérica inferior;

MP: muñón pancreático.

5.1.2 Prótesis artificiales y Parches.

Polímeros como el PTFE (politetrafluoretileno expandido, no biodegradable, con superficie luminal electronegativa y antitrombótica ⁽⁴¹⁾) y el *dacron* se utilizan desde los años 50 como sistemas tubulares para reemplazar vasos, siendo efectivos cuando se requiere la sustitución de vasos de diámetro grande en los que el flujo sanguíneo es elevado.

El problema de estos polímeros cuando se destinan a la fabricación de prótesis vasculares es que, cuando se implantan en humanos, no promueven la formación de una capa de células endoteliales en el lumen de los vasos, lo que conduce a la unión de plaquetas y formación de una capa de fibrina que puede producir una trombosis ⁽⁴²⁾. Por ello, los fallos en las prótesis vasculares para restaurar vasos de pequeño (< 5mm) y mediano (6-8 mm) calibre de arterias musculares son frecuentes por problemas de trombosis o proliferación de la capa mioíntima, posiblemente debidos a la baja capacidad de adhesión celular de la superficie de los polímeros.

Numerosos trabajos de investigación van dirigidos a la búsqueda de polímeros modificando su superficie, y por ejemplo, si el polímero está en contacto con la sangre, incrementar su biocompatibilidad y reducir procesos no deseados, como la hemólisis ⁽⁴³⁾ o formación de trombos, debida a la formación de depósitos en la superficie del dispositivo. Para ello se han contemplado distintas variaciones metodológicas, como el recubrimiento del lumen ⁽⁴⁴⁾ del vaso de PTFE o de *dacron* con células endoteliales, la utilización de proteínas de adhesión (fibronectina, vitronectina y colágeno) para facilitar la adhesión de las células de endotelio, la incorporación de sitios activos para la unión (por tratamiento químico que generen grupos hidroxilo y carboxilo), la unión de proteínas, como albúmina o anticoagulantes, y otras posibilidades.

En el mercado podemos encontrar estos tipos de prótesis y adaptarlos a nuestras necesidades:



Pròtesis de Dracon



Parches de PTEF



Pròtesis de PTEF

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Veamos unos ejemplos de aplicación de prótesis vascular bifurcada en un caso de aneurisma en la aorta (Imagen 21):

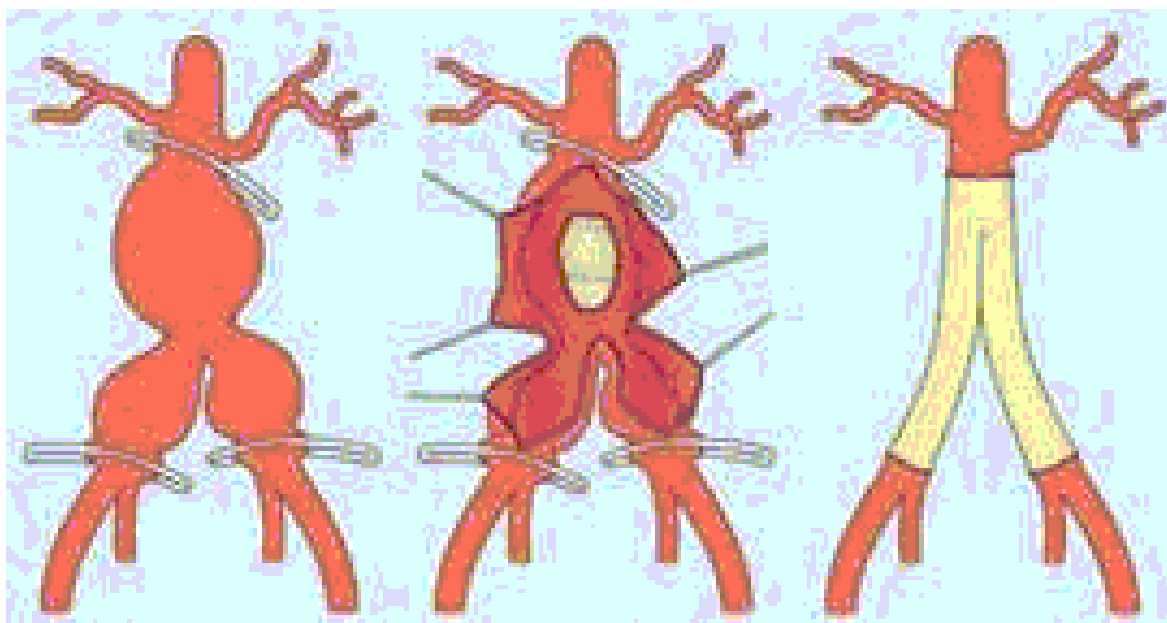


Imagen 21 a) Ejemplo de reparación aneurisma aórtico abdominal.

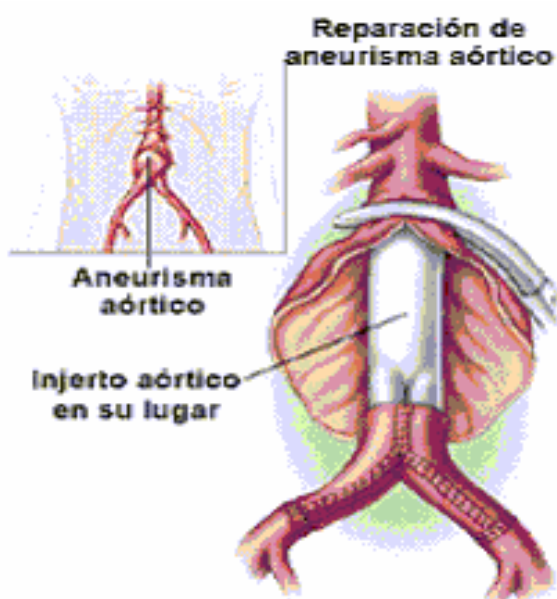


Imagen 21 b) Ejemplo de reparación de aneurisma aórtico.

5.2 Angioplastia y el Stent Vascular.

La angioplastia (también llamada angioplastia con balón) y la colocación de un stent vascular son procedimientos mínimamente invasivos realizados por un radiólogo de intervención para mejorar el flujo de la sangre en las arterias del cuerpo.

En la angioplastia, el médico hace llegar a la arteria estrechada u obstruida un catéter con un balón en la punta; este balón se infla para abrir el vaso sanguíneo, y luego se desinfla para sacarlo de la arteria (Imagen 22).

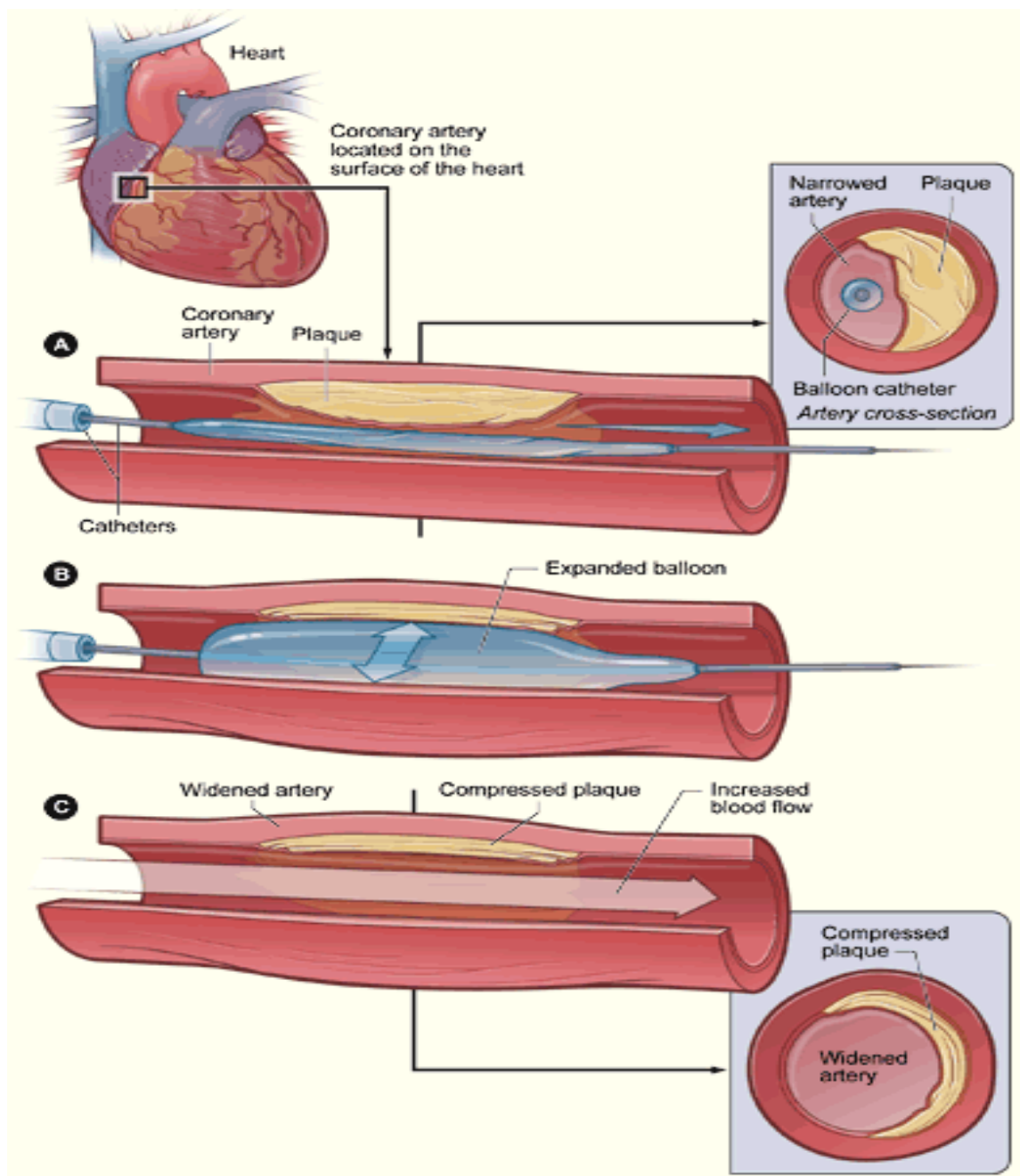


Imagen 22

La colocación de un stent vascular (Imagen 23), que a menudo se hace al mismo tiempo que la angioplastia, es la colocación de un tubo de malla de alambre (stent) en la arteria recién abierta, otro tipo de stent es el autoexpandible.

Este procedimiento puede ser necesario después de algunas angioplastias si la arteria estaba muy delgada o totalmente obstruida. El stent es un dispositivo permanente que se deja en la arteria que puede ser necesario para ayudar a la arteria a mantenerse abierta después de la angioplastia.

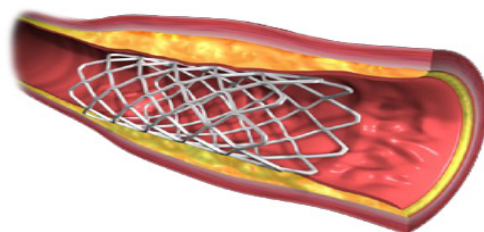
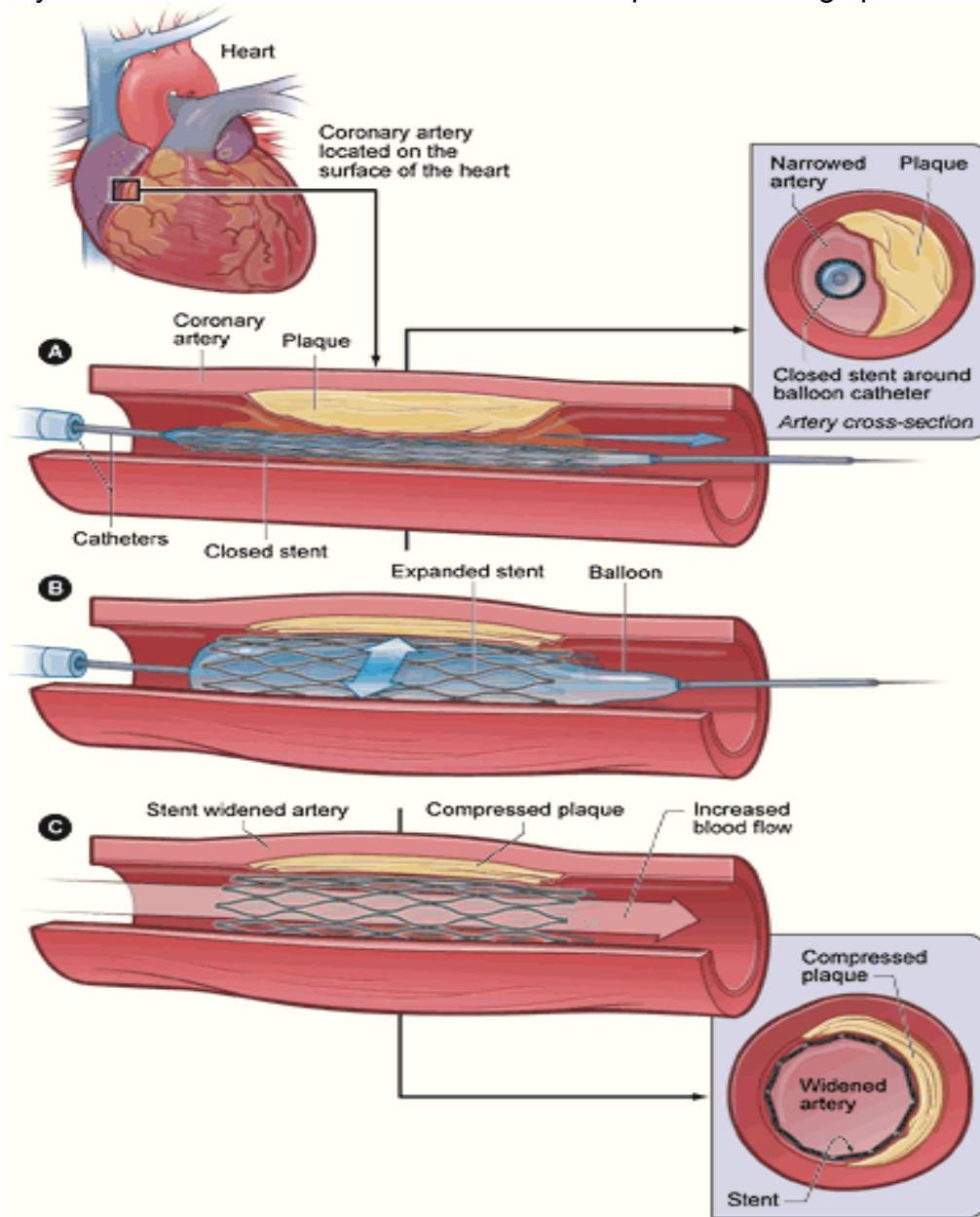


Imagen 23

6. Diseño del banco de pruebas hidráulico.

Para el diseño del banco de pruebas vascular, deberemos crear un entorno vascular muy parecido al que el vaso sanguíneo estará sometido en el cuerpo humano.

El diseño se basa principalmente en observar visualmente con ultrasonidos los movimientos de la sangre cuando circula por el interior de la probeta. Así podremos evaluar injertos, prótesis, angioplastias y stents en una forma anticipada antes de utilizarlos directamente sobre el cuerpo humano.

6.1 Parámetros fisiológicos.

-La presión sanguínea o tensión sanguínea es la fuerza de presión ejercida por la sangre circulante sobre las paredes de los vasos sanguíneos, y constituye una de los principales signos vitales. La presión de la sangre disminuye a medida que la sangre se mueve a través de arterias, arteriolas, vasos capilares, y venas; el término *presión sanguínea* generalmente se refiere a la presión arterial, es decir, la presión en las arterias más grandes, las arterias que forman los vasos sanguíneos que toman la sangre que sale desde el corazón. Los valores típicos para un ser humano adulto, sano, en descanso, aproximadamente 120 mmHg (16 kPa) para la sistólica y 80 mmHg (11 kPa) para la diastólica.

-El ciclo cardíaco comprende el período entre el final de una contracción, hasta el final de la siguiente contracción. Tiene como finalidad producir una serie de cambios de presión para que la sangre circule. Por lo cual para simular el ciclo cardíaco, diseñaremos un sistema capaz de lanzar 70 pulsaciones por minuto a una presión y caudal deseados, estos dos factores podremos variarlos, ya que dependiendo de la situación en el cuerpo del vaso sanguíneo los factores están sometidos a diferentes presiones y caudales.

-La temperatura y entorno exterior del vaso sanguíneo, aunque hay partes del cuerpo que tienen diferentes temperaturas tomaremos como promedio la del cuerpo humano, es decir 37° C. Entonces la probeta de ensayo será sometida a las pruebas de presión introducida en líquido viscoso que simulará una situación muy parecida a como si estuviera colocada en el cuerpo humano.

-El líquido interior que simulará la sangre será un líquido con las mismas características que la sangre.

-Teniendo en cuenta que la probeta, para poder evaluarla, deberá ir unida a unos tubos de entrada y salida de líquido, nos exige diseñar un sistema de unión entre la probeta y los tubos.

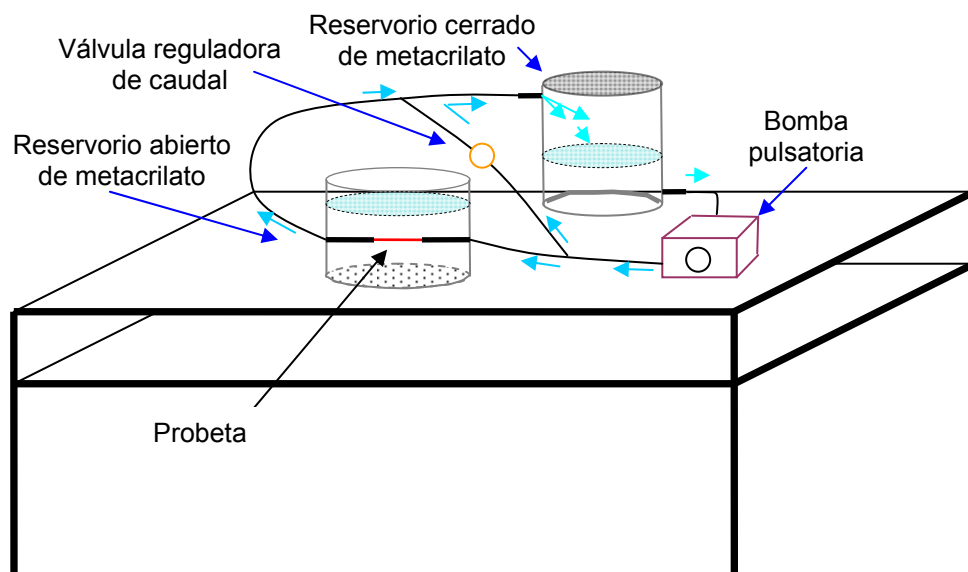
6.2 Principio de funcionamiento.

El sistema consta de un circuito cerrado por el que transcurren los fluidos impulsados por una bomba pulsatoria accionada por un motor. Hay un reservorio abierto de Metacrilato, de forma “circular” lleno de un líquido viscoso (agua salina) a 37° que simulará la localización del vaso sanguíneo en el cuerpo humano, la probeta que estudiaremos estará introducida dentro de este líquido, ya que en el interior del reservorio se encuentran los tubos de entrada y salida de sangre. Existe también otro reservorio de Metacrilato, pero cerrado y de forma cilíndrica, el cual es el encargado de almacenar el fluido (solución salina) que circula por dentro de la probeta. Por medio de una sonda de un aparato de ultrasonidos que se desplazara de forma gradual a lo largo de la probeta, nos permitirá observar con gran detalle las diferentes acciones que ocurren dentro de la probeta.

El principio de funcionamiento se basa en un sistema de control de presión a circuito cerrado. En él, la presión instantánea es medida mediante un medidor de presión colocado en un extremo de la probeta.

6.3 Esbozo inicial.

Esbozo de la idea fundamental del proyecto:



6.4 Componentes básicos.

- Banco de trabajo.
- Válvula reguladora de caudal.
- Medidor de presión.
- Tuberías y racores.
- Eco-Doppler de ultrasonidos.
- Solución Salina fisiológica.
- Reservorio abierto.
- Reservorio cerrado.
- Bomba pulsatoria.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

6.4.1 Mesa de laboratorio (Banco de trabajo).

Utilizaremos una mesa de laboratorio con una canaleta de cuatro tomas, iluminación incorporada, fácil de limpiar.

Modelo: Mesa Laboratorio.

Suministrador: Romero Muebles de laboratorio S.A

Web: <http://www.romero.es>

Ver especificaciones técnicas en anexo.



6.4.2 Medidor de presión.

Para saber la presión a la que esta sometida el vaso sanguíneo o probeta a la entrada y salida.

Modelo: Manómetro de bajas presiones Ø 63.

Suministrador: Mida i pressió S.L.

Web: <http://www.midaipressio.com>

Ver especificaciones técnicas en anexo.

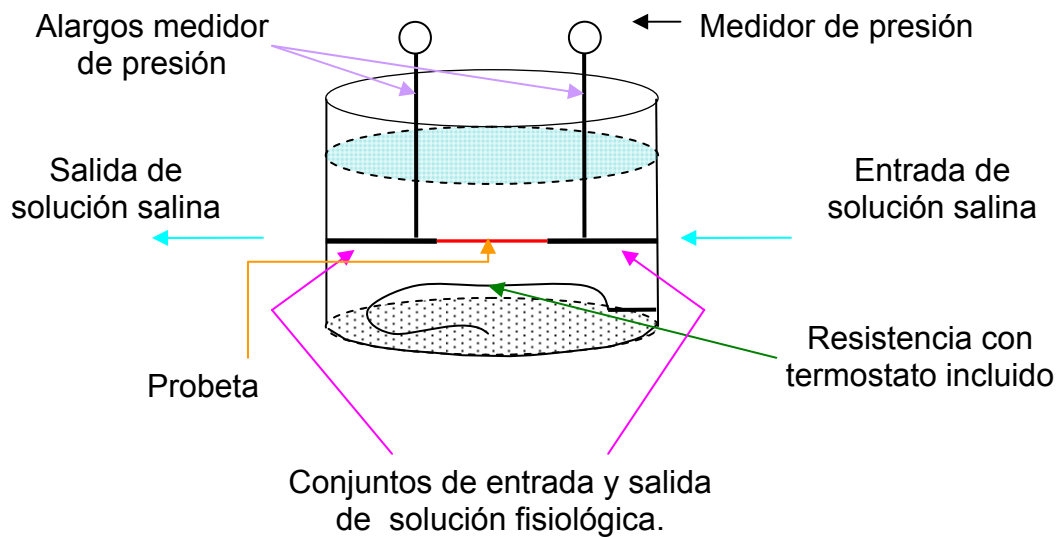


1 bar = 750 milim. de mercurio (mmHg)

6.4.2.1 Alargo medidor de presión.

Para que el medidor de presión quede fuera del reservorio fabricaremos dos alargos de tubo de acero inoxidable.

Ver planos Num 1000.6.1 y 1000.6.2 .



6.4.3 Sistema tuberías.

Suministrador: Legris Terrassa S.A.
Web: <http://www.legris.com>
Ver especificaciones técnicas en anexo.

Tuberías:

Modelo: Tubo de Ø Ext. 4,6,8,10,12 de Poliuretano Polieter cristal transparente.
Cantidad: 25 metros de cada Ø.
Característica: Gran flexibilidad.

Conexión triple:

Modelo: 1804 te igual.
Cantidad: 2

Racor regulador de caudal:

Modelo: 7822 en línea.
Cantidad: 1

Válvula anti-retorno:

Modelo: 4890.
Cantidad: 2



Tubería



Conexión triple



Racor regulador de caudal



Válvula anti-retorno

6.4.4 Ultrasonidos por efecto Doppler.

Por su carácter no invasivo, convierte al doppler en una exploración repetitiva siendo por ello el procedimiento idóneo para el seguimiento de los pacientes con patología vascular obstructiva, valorar el estado de una posible enfermedad Vascolar periférica en un paciente diabético siendo un magnífico complemento de la historia y la exploración.

En nuestro caso podemos analizar los factores hemodinámicos locales que favorecen el fracaso a corto o medio plazo de las derivaciones. De éstos, los más importantes son la presencia de recirculación y la tensión de cizallamiento del fluido en las proximidades de la pared arterial. Este último es el parámetro mecánico que afecta directamente al endotelio, y al cual son sensibles las células endoteliales.

Llamamos ultrasonidos al espectro de sonidos con una frecuencia de onda superior a la que puede percibir el oído humano.

El efecto doppler consiste en la emisión de un haz de ultrasonidos que al colisionar con partículas en movimiento (células sanguíneas en este caso) se refleja y cambia de frecuencia. El cambio de frecuencia u onda de velocidad que registramos, es directamente proporcional a la velocidad de las partículas en movimiento. El cambio de frecuencia se registra en un receptor que electrónicamente lo traduce en una señal acústica y gráfica, mediante una onda de velocidad.

Para la exploración arterial Doppler en hospitales la sonda se debe adaptar a la piel mediante la colocación de un gel que hace de trasmisor acústico. La sonda debe formar un ángulo de 45° con la piel aproximadamente, ya que no siempre la arteria está situada paralela a la piel.

Para la exploración de arterias periféricas se usará la sonda de 8 Mhz ya para las de mayor profundidad la de 4 Mhz. A menor frecuencia mayor poder de penetración. En nuestro caso al ser una arteria de profundidad ya que esta introducida en la solución salina utilizaremos una sonda de 4 Mhz.

ESTUDIO DE LA ONDA GRÁFICA CON DOPPLER.

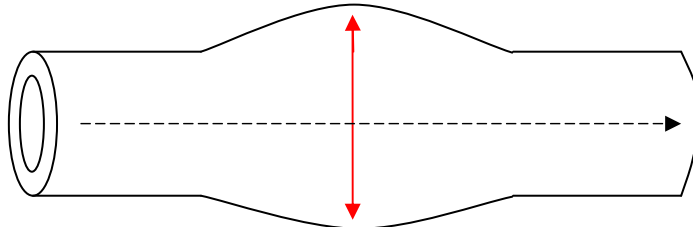
La onda arterial posee dos características:

- Existe un papel predominante de dos componentes:
 - Sistólico.
 - Diastólico.
- Posee un ritmo y periodicidad igual a la frecuencia cardiaca.

El análisis espectral es una técnica de representación del sonido. Se trata de discriminar entre las diferentes frecuencias que componen la señal doppler recibida y representarlas en función de su nivel de energía.

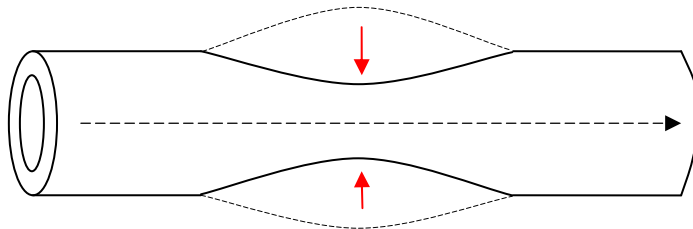
En el caso de una exploración arterial la sangre circula a impulsos constantes (embolada) la señal por lo tanto será una curva de velocidades variables. La curva de velocidad Doppler en este caso está condicionada por la sístole y la diástole cardiacas y por la contractibilidad de las paredes de los vasos de forma que tendremos:

- Un ascenso rápido sistólico cardiaco que corresponde con diástole arterial.



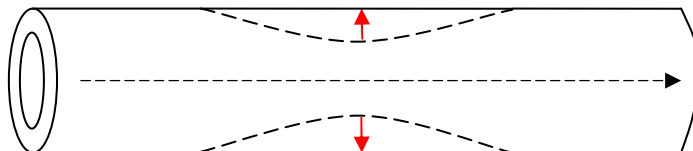
Sístole cardiaca que corresponde con diástole arterial, expansión de la pared arterial.

- Una onda de flujo invertido, al principio de la diástole cardiaca o sístole arterial.



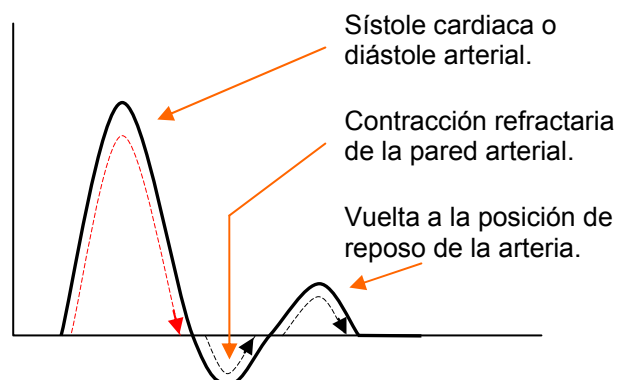
La pared arterial realiza una contracción refractaria debido a su elasticidad.

-Un ascenso de menor actividad al final de la diástole cardiaca.



Vuelve la pared arterial a su posición de reposo.

Esto se traduce en una señal acústica trifásica y en una señal grafica con ascensos y descenso en primer lugar ascenso rápido y de gran longitud de onda, después un descenso negativo de pequeña longitud para seguir con un aumento positivo también de pequeña longitud:



Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Aparato ECOGRAFO DOPPLER COLOR portátil M-5

Modelo: ECOGRAFO DOPPLER COLOR portátil M-5

Cantidad: 1

Suministrador: QUERMED S.A

Web: <http://www.quermed.com>

Ver especificaciones técnicas en anexo.

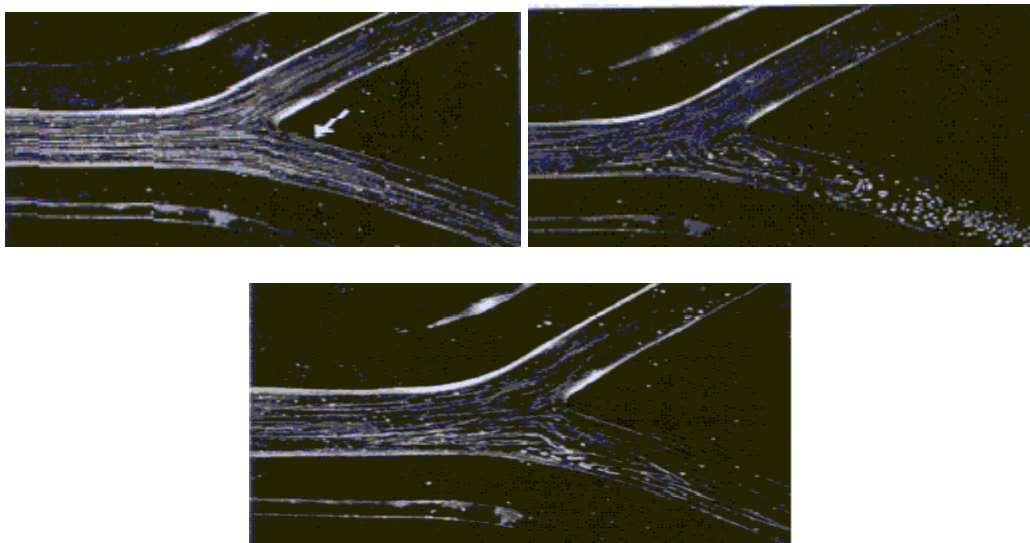
El aparato ECOGRAFO DOPPLER COLOR portátil M-5 será el que utilizaremos, este aparato dispone de todo tipo de mediciones hemodinámicas, también nos dará imágenes en 3-D o bien 2-D de la zona que nos interese, podremos observar los flujos en el interior de la probeta.



El efecto Doppler da diferentes colores a las corrientes líquidas según la velocidad con que se mueven lo que, permite diferenciar arterias y venas.



Ejemplo de evaluación del flujo sanguíneo:



Dependiendo del tipo de probeta o vaso sanguíneo que deseemos utilizar deberemos tener en cuenta diferentes valores de la función cardiovascular, a continuación mostraremos las más importantes.

Valores normales de la función cardiovascular:

Frecuencias de pulso normales:

- Hasta los 6 meses: 115-179 (media 140)/min
- Hasta los 12 meses: 115-177 (media 140)/min
- De 1 a 5 años: 100-163 (media 126)/min
- De 7 a 10 años: 70-115 (media 96)/min
- De 12 a 16 años: 55-107 (media 75)/min
- De 16 años en adelante: 60-100/min

Presiones intracardiacas:

- Arteria pulmonar.
 - Sistólica: $< o = 30$ mmHg.
 - Diastólica: $< o = 15$ mmHg.
 - Media: $< o = 20$ mmHg.
- Arteriolocapilar pulmonar: $< o = 12$ mmHg (media).
- Aorta: 100-160/60-90 mmHg.
- Aurícula izquierda: $< o = 12$ mmHg (media).
- Aurícula derecha: $< o = 5$ mmHg (media).
- Ventrículo izquierdo.
 - Sistólica: 100-160 mmHg.
 - Diastólica: 0 mmHg.
 - Media: $< o = 12$ mmHg.
- Ventrículo derecho.
 - Sistólica: $< o = 30$ mmHg.
 - Diastólica: 0 mmHg.
 - Telediastólica: $< o = 5$ mmHg.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Parámetro	Fórmula	Límite normal
Presión arterial sistólica (PAS)	medición directa	100-140 mm Hg
Presión arterial diastólica (PAD)	medición directa	60-90 mm Hg
Presión sistólica de la arteria pulmonar (PSAP)	medición directa	15-30 mm Hg
Presión diastólica de la arteria pulmonar (PDAP)	medición directa	4-12 mm Hg
Presión media de la arteria pulmonar (PMAP)	medición directa	9-16 mm Hg
Presión sistólica del ventrículo derecho (PSVD)	medición directa	15-30 mm Hg
Presión del ventrículo derecho al final de la diástole (PVDFD)	medición directa	0-8 mm Hg
Presión venosa central (PVC)	medición directa	0-8 mm Hg
Presión de oclusión de la arteria pulmonar (POAP)	medición directa	2-12 mm Hg
Gasto cardíaco	medición directa	varía con el tamaño L/min
Presión arterial media (PAM)	$PAM = \frac{PAD + 2 \cdot PAS}{3}$	70-105 mm Hg
Índice cardíaco (IC)	$IC = \frac{GC}{ASC}$ ASC: área de superficie corporal	2,8-4,2 L/min/m ²
Volumen sistólico (VS)	$VS = \frac{GC}{FC}$ FC: frecuencia cardíaca	varía con el tamaño ml/latido
Índice sistólico (IS)	$IS = \frac{VS}{ASC}$	30-65 ml/latido/m ²
Índice de trabajo sistólico de ventrículo izquierdo (ITSVI)	$ITSVI = \frac{VS \cdot (PAM - POAP)}{ASC} \times 0,0136$	43-61 g x m/m ²
Índice de trabajo sistólico del ventrículo derecho (ITSVD)	$ITSVD = \frac{VS \cdot (PMAP - PVC)}{ASC} \times 0,0136$	7-12 g x m/m ²
Resistencia vascular sistémica (RVS)	$RVS = \frac{PAM - PVC}{GC} \times 80$	900-1400 dina x s x cm ⁻⁵
Resistencia vascular pulmonar (RVP)	$RVP = \frac{PMAP - POAP}{GC} \times 80$	150-250 dina x s x cm ⁻⁵
Presión de riego coronario (PRCO)	$PRCO = PAD - POAP$	60-90 mm Hg

6.4.5 Solución fisiológica.

Para evitar problemas de refracción, utilizaremos la misma solución fisiológica tanto para la del circuito como para la del reservorio abierto. Para poder apreciar con nitidez visual desde el exterior el vaso sanguíneo, utilizaremos una solución fisiológica lo mas transparente posible. El agua sería la más idónea si tuviera la densidad y viscosidad parecida a la sangre, pero como podemos apreciar en la tabla de continuación no es así, no obstante el agua salina se asemeja bastante:

Densidades:

Agua(4°C)	1.00 x10 ³ kg/m ³
Sangre(plasma).....	1.03x10 ³ kg/m ³
Sangre(integra).....	1.05x10 ³ kg/m ³
Agua de mar.....	1.025x10 ³ kg/m ³

Viscosidades:

Agua 100°C.....	0,0003 Pa.s
Agua 20°C.....	0,0010 Pa.s
Agua 0°C.....	0,0018 Pa.s
Sangre 37°C.....	0,0027 Pa.s
Agua de mar a 40°C.....	0.0040 Pa.s

El agua salina posee una gran capacidad para el conservado de órganos, y como podemos apreciar a 40° se asemeja bastante a las propiedades de la sangre.

Para nuestro diseño utilizaremos agua salina, si deseamos tener una gran exactitud en viscosidad y densidades, el suministrador nos lo adecua exactamente a nuestras necesidades.

Modelo: Agua Salina

Cantidad: 25 litros

Suministrador: Adesco S.A.

Web: <http://www.adescosa.com>

Ver especificaciones técnicas en anexo.

6.4.7 Reservorio abierto.

El reservorio abierto es el encargado de mantener la probeta de ensayo a una climatología similar a la del cuerpo humano mediante la solución salina, por el, y a través de unos conductos circulará solución salina simulando la sangre.

Tubo de metacrilato Ø Ext. 200 y Ø Int. 190 mm. cerrado por parte inferior y 120 mm. de longitud.

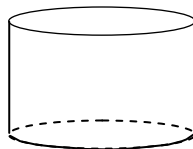
Suministrador: DIGITAL PRESS S.L.

Web: <http://www.demetacrilato.com>

Ver especificaciones técnicas en anexo.

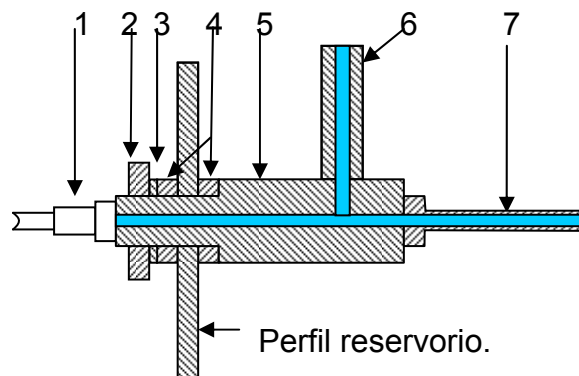
Ver plano 1000.0

Esbozo del reservorio:



6.4.7.1 Esbozo conjunto salida de solución fisiológica.

Esbozo de orientación:



1.- Entrada con Racor LF 3601 para tubos de Ø 12 mm. Anexo de Legris.

2.- Tuerca M-24x1,5 DIN 439. Anexo de Hispanox.

3.- Arandela. N° plano 1000.3

4.- Acoples radiales.

Acople radial exterior N° plano 1000.4.1

Acople radial interior N° plano 1000.4.2

5.- Manguito de entrada y salida. N° plano 1000.5

6.- Alargos manómetro.

Alargo manómetro inferior. N° plano 1000.6.1

Alargo manómetro superior. N° plano 1000.6.2

7.- Acople unión vasos sanguíneos.

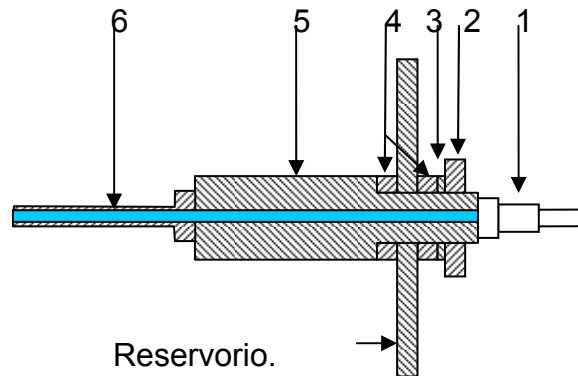
Racor LF 3601. Anexo de Legris

Espiga acanalada enclavable LF 3622. Anexo Legris.

Abrazadera sujeción probeta. Abrazadera perfil de goma Mod W1
DIN 3016 (varias, en función del diámetro). Anexo Mikalor

6.4.7.2 Esbozo conjunto entrada de solución fisiológica.

Esbozo de orientación:



- 1.- Entrada con Racor LF 3601 para tubos de \varnothing 12 mm. Anexo de Legris.
- 2.- Tuerca exagonal paso fino M-24x1,5 DIN 439. Anexo de Hispanox.
- 3.- Arandela. N° plano 1000.3
- 4.- Acoples radiales.
 - Acople radial exterior N° plano 1000.4.1
 - Acople radial interior N° plano 1000.4.2
- 5.- Manguito de entrada y salida. N° plano 1000.5
- 6.- Alargo manómetro inferior. N° plano 1000.6.1
- 7.- Acople unión vasos capilares.
 - Racor LF 3601. Anexo de Legris
 - Espiga acanalada enclavable LF 3622. Anexo Legris
 - Abrazadera sujeción probeta. Abrazadera perfil de goma Mod W1 DIN 3016 (varias, en función del diámetro). Anexo Mikalor

6.4.7.3 Conjunto calentamiento solución fisiológica reservorio abierto.

- 1.- Tuerca exagonal paso fino M-35x2 DIN 439. Anexo de Hispanox.
- 2.- Arandela. N° plano 1000.7
- 3.- Acoples radiales.
 - Acople radial exterior resistencia N° plano 1000.8.1
 - Acople radial interior resistencia N° plano 1000.8.2
- 4.- Manguito unión resistencia. N° plano 1000.9
- 5.- Acople unión vasos capilares.
 - Racor LF 3601. Anexo de Legris
 - Espiga acanalada enclavable LF 3622. Anexo Legris
- 6.- Resistencia con termostato.
 - Modelo: NA001 con 500 W.
 - Suministrador: Santiago Scoin Homs.
 - Web: <http://santiescoin.com>
 - Ver especificaciones técnicas en anexo.
 - Ver plano 1000.conjunto.



Imagen de resistencia con termostato

6.4.7.4 Funcionamiento del reservorio abierto.

Este reservorio relleno de solución fisiológica lo utilizaremos para crear al vaso sanguíneo un ambiente parecido al del cuerpo humano, entrara solución fisiológica por el manguito de entrada y este saldrá por el manguito de salida o bien por los manguitos de salidas si pretendemos hacer una prueba con un vaso sanguíneo con bifurcación.

Veamos el conjunto total del reservorio abierto. N° plano 1000.conjunto

6.4.8 Reservorio cerrado.

Como se explica en el capítulo 9, y a modo general podríamos decir que el conjunto de vasos sanguíneos aparte de redirigir la sangre por el cuerpo, también realiza la función de reservorios o almacenes de sangre, ya que las paredes de los vasos sanguíneos permiten distenderse según la necesidad.

El reservorio aparte de depósito de la solución salina, nos servirá para que el flujo de circulación tenga una salida y no interfiera obturando el flujo sanguíneo. También la función del reservorio cerrado será la de ejercer de reservorio ante posibles pruebas hemodinámicas, es decir aumentos bruscos de flujo.

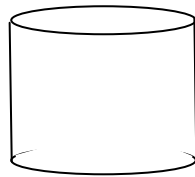
Tubo de metacrilato Ø Ext. 200 y Ø Int. 190 mm. cerrado por la cara inferior y 200 mm. de longitud.

Suministrador: DIGITAL PRESS S.L.

Web: <http://www.demetacrilato.com>

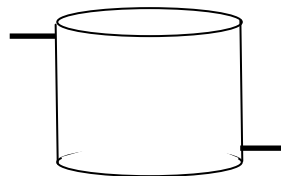
Ver especificaciones técnicas en anexo.

Ver plano 1001.0



Esbozo reservorio cerrado.

6.4.8.1 Entrada y salida de solución fisiológica.



Esbozo reservorio cerrado con entradas y salidas.

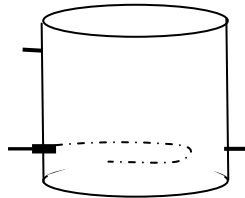
- 1.- Entrada con Racor LF 3601 para tubos de Ø 12 mm. Anexo de Legris.
- 2.- Tuerca exagonal paso fino M-24x1,5 DIN 439. Anexo de Hispanox.
- 3.- Arandela. N° plano 1001.1
- 4.- Acoples radiales.
 - Acople radial exterior N° plano 1001.2.1
 - Acople radial interior N° plano 1001.2.2
- 5.- Manguito de entrada y salida. N° plano 1001.3
- 6.- Tapa reservorio cerrado. N° plano 1001.4

6.4.8.2 Conjunto calentamiento solución fisiológica reservorio cerrado.

- 1.- Tuerca exagonal paso fino M-35x2 DIN 439. Anexo de Hispanox.
- 2.- Arandela. N° plano 1001.5
- 3.- Acoples radiales.
 - Acople radial exterior resistencia N° plano 1001.6.1
 - Acople radial interior resistencia N° plano 1001.6.2
- 4.- Manguito unión resistencia. N° plano 1001.7
- 5.- Resistencia con termostato.
 - Modelo: NA001 con 500 W.
 - Suministrador: Santiago Scoin Homs.
 - Web: <http://santiescoin.com>

Ver especificaciones técnicas en anexo.

Veamos un esbozo del conjunto:



6.4.8.3 Funcionamiento del reservorio cerrado.

Este reservorio nos hará de depósito de solución fisiológica, mantendremos este, con solución fisiológica para el suministro del circuito. También nos servirá, como se explica detalladamente en el capítulo 9.3, para que las ondas sinusoidales de caudal enviadas por la bomba peristáltica no interfiera unas con otras.

Veamos el conjunto total del reservorio cerrado. 1001.conjunto

6.4.9 Medidor de Caudal.

Aun teniendo una bomba peristáltica que nos enviará el caudal deseado, debido a que en el circuito hidráulico tenemos colocado un regulador de caudal, es necesario colocar un caudalímetro antes de la zona de estudio.

Modelo: SC-250
Cantidad: 1
Suministrador: TECNO FLUID S.A
Web: <http://www.tecfluid.com>



6.4.10 Bomba pulsatoria.

A fin de conseguir un efecto similar al bombeo del corazón, utilizaremos una bomba peristáltica. La peculiaridad de estas bombas es que permiten la dosificación de bombeo de los líquidos. Para nuestro diseño nos interesa que la bomba genere un mínimo de flujo con presiones y volúmenes, equivalente a los generados por el ventrículo izquierdo de una persona adulta, de esta manera, garantizamos el correcto funcionamiento del diseño para un vaso capilar muy próximo al corazón, si se tratará de realizar un prueba de un vaso capilar distante del corazón, nos veríamos obligado a variar el flujo de la bomba peristáltica para obtener la presión deseada.

-El volumen generado por el corazón oscila sobre 5 l/min, el ventrículo izquierdo en una persona adulta oscila entre 3,2 l/min y el derecho 1,8 l/min.

-Ventrículo izquierdo.

Sistólica: 100-160 mmHg.

Diastólica: 0 mmHg.

Media: $\bar{o} = 12$ mmHg.

-Ventrículo derecho.

Sistólica: $\bar{o} = 30$ mmHg.

Diastólica: 0 mmHg.

Telediastólica: $\bar{o} = 5$ mmHg.

Funcionamiento de la bomba peristáltica:

Un elemento tubular de dimensiones muy precisas, fabricado en diferentes tipos de elastómero o termoplástico, se aloja en el cuerpo de la bomba. Al comprimir este elemento tubular por la acción giratoria del rotor y sus correspondientes rodillos o zapatas, este recupera seguidamente su forma inicial creando el vacío y la consiguiente aspiración del fluido. El fluido penetra en la cavidad formada por los rodillos que comprimen el tubo y es empujado suavemente hacia la salida por el siguiente rodillo.

Estamos pues ante una bomba volumétrica de desplazamiento positivo de unas características excepcionales.

Bomba dispensadora peristáltica, flujo variable.

Modelo: Watson Marlow Bredel pump 620 series.

Suministrador: Técnica de fluidos

Cantidad: 1

Web: www.tecnicafluidos.com

Ver especificaciones técnicas en anexo.

6.5 Montaje General.

Una vez que tenemos todas las piezas y utensilios, montaremos el Banco de pruebas: Ver plano N° conjunto general

- 1.-Conjunto reservorio abierto.
- 2.-Conjunto reservorio cerrado.
- 3.-Colocaremos la bomba peristáltica sujeta con tornillos en la mesa.
- 4.-Instalaremos las tuberías de conexión y conexiones eléctricas.

6.6 Método de uso.

Ahora que tenemos el Banco de pruebas preparado:

1.-Colocación de la probeta: Elegiremos la espiga acanalada mas adecuada al vaso capilar, la espiga acanalada quedará en el interior del vaso capilar y la uniremos con la abrazadera de perfil de goma.

Tenemos la opción de hacer pruebas con vasos capilares “bypass”, o si se diera el caso hasta tres conexiones.

2.-Llenado del reservorio cerrado: El circuito es muy pequeño, no necesita cálculos para la cantidad de solución fisiológica ni para el llenado del deposito. Con 2 litros de llenado tenemos más que suficiente.

2.-Llenado del reservorio abierto: Llenaremos de solución fisiológica hasta sobrepasar en un centímetro el vaso capilar.

3.-Calentamiento de la solución fisiológica: Conectaremos las resistencias, estas tienen incorporado un termostato para regular la temperatura, en nuestro caso ambas estarán a 37°.

4.-Calibración de la bomba peristáltica: Calibraremos el flujo a nuestras necesidades. Presión, dosificación y volumen generado.

5.-Utilización del aparato de ultrasonidos: Tenemos gran variedad de sondas, estas las podemos introducir en la solución fisiológica de reservorio abierto hasta hacer contacto con el vaso capilar, a través de la pantalla del ultrasonido podremos ir variando la posición.

6.-Mantenimiento: Podremos utilizar la solución fisiológica en varias pruebas, ya que esta no pierde las propiedades, pero al tener sal la solución, esta se incrusta por el circuito deteriorando piezas y utensilios. Para que esto no ocurra, vaciaremos el circuito cuando se deje de utilizar.

Cada siete días limpiaremos el circuito con agua descalcificada. Tomaremos el agua descalcificada por la entrada de la bomba peristáltica, esta la enviara por todo el circuito limpiando este de suciedad, toda el agua sucia quedará en el interior del reservorio cerrado. Luego limpiamos los reservorios y si es necesario cambiaremos las tuberías.

7. Variables físicas fundamentales que influyen en las variaciones de presión del sistema circulatorio.

- 1 La presión sanguínea.
- 2 Flujo sanguíneo.
- 3 La ecuación de continuidad.
- 4 Resistencia hidrodinámica equivalente.
- 5 La sangre como fluido viscoso. Ley de Poiseuille.
- 6 Fluidos en régimen turbulento.
- 7 Breve descripción de la dinámica del sistema circulatorio.
- 8 Factores físicos fundamentales que influyen en las variaciones de presión en el sistema circulatorio.

7.1 Presión Sanguínea.

En nuestro diseño, al ensayar con la probeta, dependiendo de que vaso capilar se trate, la presión sanguínea será diferente.

-Definición de presión. Unidades.

$$P = F/A$$

Se mide en: Pa, atm, mm Hg, Bar

-Diferencia de presión entre dos puntos:

$$p_2 - p_1 = \rho g (y_1 - y_2)$$

Presión sanguínea: fuerza que ejerce la sangre por unidad de superficie de la pared del vaso que la contiene.

7.2 Flujo Sanguíneo.

-Caudal o flujo en reposo:

$$Q = \Delta V / \Delta t = 5 \text{ L} / 1 \text{ min} = 5 \text{ L/min}$$

-Flujo sanguíneo:

VM (Velocidad Media).

Gasto cardíaco: 5 L/min = 0.083 L/s

7.3 La ecuación de continuidad.

-Circuito cerrado.

-Relación entre caudal, sección y velocidad del fluido:

$$Q = S v = \text{Cte.}$$

-Fluidos incompresibles.

-Velocidad en arterias y capilares.

7.4 La sangre como fluido viscoso. Ley de Poiseuille.

- Viscosidad.
- Ley de Poiseuille: $Q = \Delta p / R_H$
 - R_H = Resistencia hidrodinámica (Pa·s/L).
 - R_H depende de la geometría.
 $R_H = (8\eta l) / (\pi r^4)$
 - η es la viscosidad.
- La inversa de R_H se llama conductancia hidrodinámica, $G = 1/R$

7.5 Resistencia hidrodinámica equivalente.

- $R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n$
Re en serie > la R_i más grande.
- $G_e = G_1 + G_2 + \dots + G_n$
Re en paralelo < la R_i más pequeña.

7.6 Fluidos en régimen turbulento.

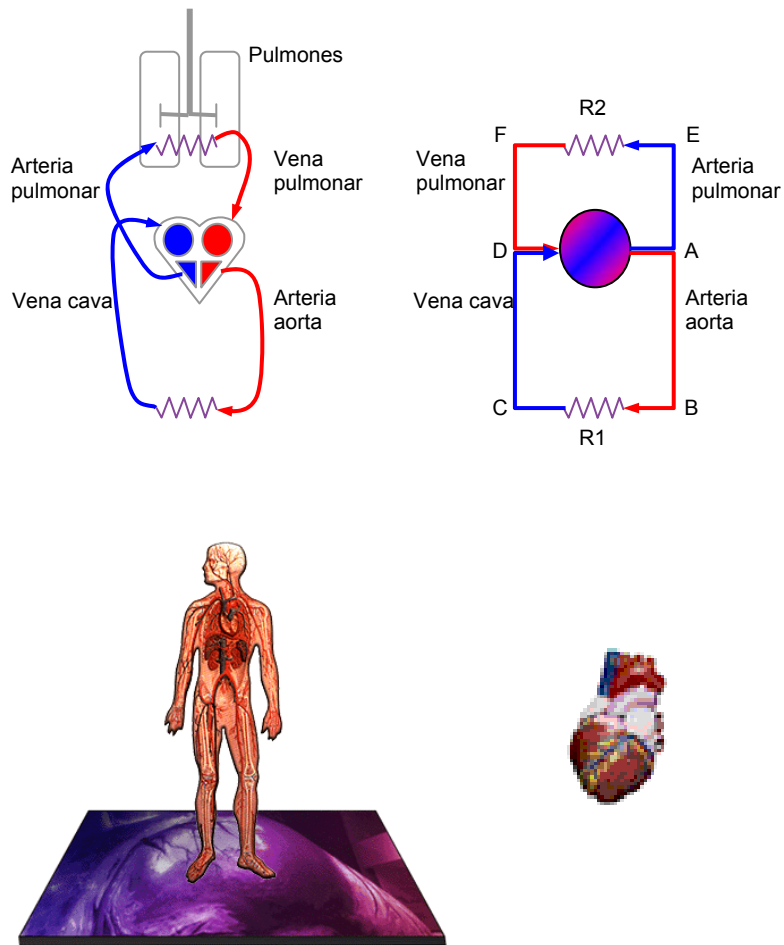
- Régimen laminar
 - Bajas velocidades.
 - Capas concéntricas.
 - Velocidades diferentes.
- Régimen turbulento
 - Velocidades elevadas.
 - Recodos.
 - R_H aumenta, fluidos reales.

7.7 Breve descripción de la dinámica del sistema circulatorio.

- Bombeo.
- Corazón -> arterias -> Capilares -> venas -> Corazón.
- Caída de presión
- Ecuación de Poiseuille.
- Resistencia periférica total $RPT = (p_a - p_v) / VM$
- En horizontal: 100 mm Hg salida y 2 mm Hg entrada. Si VM es 5, ¿RPT?

Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Esquema de la dinámica del sistema circulatorio:



7.8 Factores físicos fundamentales que influyen en las variaciones de presión en el sistema circulatorio.

- Volumen de sangre.
- Variaciones en el radio de los vasos.
- La gravedad.
- La viscosidad de la sangre.

OBSERVACIÓN. En este objetivo, se han descrito únicamente los factores FÍSICOS que influyen en las variaciones de presión del sistema circulatorio. Sin embargo, los factores tales como el radio de los vasos, el índice de viscosidad de la sangre, o el volumen sanguíneo dependen, a su vez, de factores QUÍMICOS o FISIOLÓGICOS.

8. Cálculos.

El propósito del diseño del Banco de pruebas es garantizar “en cierta manera”, que este funcione correctamente.

El circuito hidráulico es muy pequeño, no requiere cálculos en este sentido, ya que la presión de los vasos sanguíneos no es muy grande. Las arterias son los vasos sanguíneos que mas presión tienen, los valores típicos para un ser humano adulto, sano, en descanso, aproximadamente 120 mmHg (16 kPa) para la sistólica y 80 mmHg (11 kPa) para la diastólica.

Calculo de la potencia del motor para bombear sangre:

El corazón se comporta como una bomba. Toma sangre y la impulsa para que circule venciendo el rozamiento que tiene la sangre con las paredes de las venas y las arterias.

Al circular la sangre le crea un gasto de energía al cuerpo.

Al dividir esta energía por tiempo empleado, tengo la potencia en Watts..

Datos:

Caudal que bombea el corazón: El volumen generado por el ventrículo izquierdo en una persona adulta oscila entre 3,2 l/min. Pongamos 5,0 l/min.

Presión a la salida de la aorta: 13.000 Pa.

Presión a la entrada de la vena cava: 1.000 Pa.

Solución:

-Calculo el caudal que bombea el corazón.

El caudal en m^3 por segundo es :

$$Q = (5/1000) m^3 / 60 \text{ seg} \rightarrow Q = 8,334 \times 10^{-5} m^3 / \text{seg} .$$

-El ΔP entre los 2 lados del corazón es:

$$\Delta P = 13.000 \text{ Pa} - 1.000 \text{ Pa} \rightarrow \Delta P = 12.000 \text{ Pa} .$$

-Calculo la potencia que genera el corazón: $Pot = Q \times \Delta P$

$$Pot = 8,334 \times 10^{-5} m^3 / \text{seg} \times 12.000 \text{ N} / m^2 \rightarrow Pot = 1 \text{ Joule/seg}$$

$$\text{El motor tendrá una potencia aproximada} \rightarrow \text{Pot} = 1 \text{ Watt}$$

Calculo de la resistencia hidrodinámica:

En nuestro caso tenemos un circuito por donde circula solución salina. La solución salina tiene dificultad en avanzar por el circuito, ya que las tuberías son muy pequeñas. Debemos hacer una fuerza de empuje para que avance.

Resumiendo, la solución salina tiene tendencia a ser frenada por las tuberías, esta sería nuestra resistencia hidrodinámica.

Por ley de Poiseuille:	$\Delta P = Q \times R_H$
Anteriormente calculamos	$\Delta P = 12.000 \text{ Pa.}$
Anteriormente calculamos	$Q = 8,334 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg.}$

Entonces: $R_H = \Delta P / Q$
 $R_H = 12.000 \text{ Pa} / 8,334 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{seg.}$

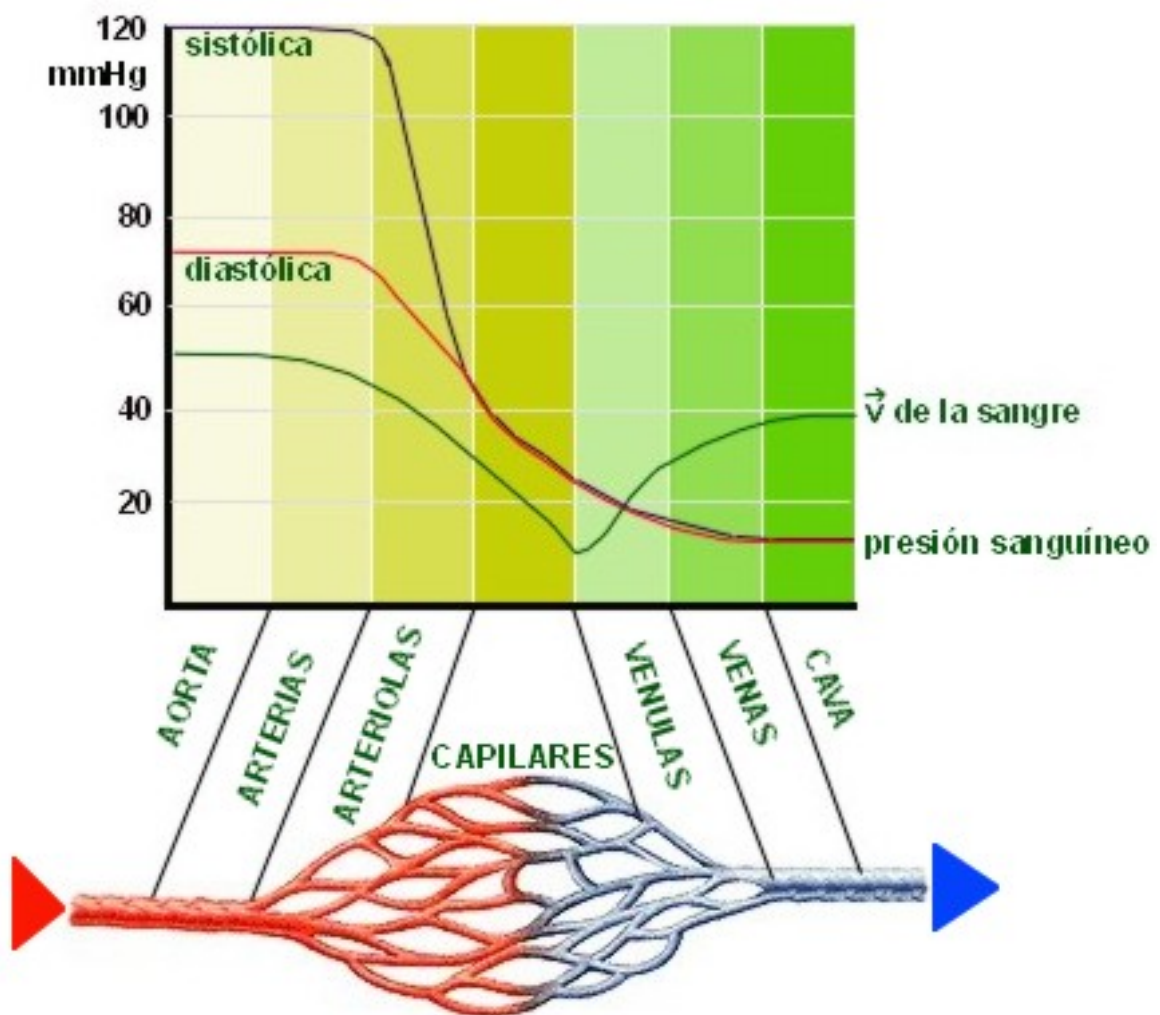
$$R_H = 1,44 \times 10^8 \text{ Pa} \cdot \text{seg} / \text{m}^3$$

9. Evaluación del flujo sanguíneo.

Con el fin de conseguir un acercamiento real del funcionamiento de bombeado del corazón, no nos basta con instalar en el diseño una bomba peristáltica.

El corazón bombea la sangre por impulsos, lo que en teoría el flujo de sangre de las tuberías debería ser un flujo discontinuo e intermitente. Esto no es así, ya que las arterias, debido a su elasticidad almacena sangre, que más tarde, al contraerse envía a la red de vasos sanguíneos.

Veamos en la siguiente grafica un promedio de las diferentes velocidades y presiones de los vasos sanguíneos:



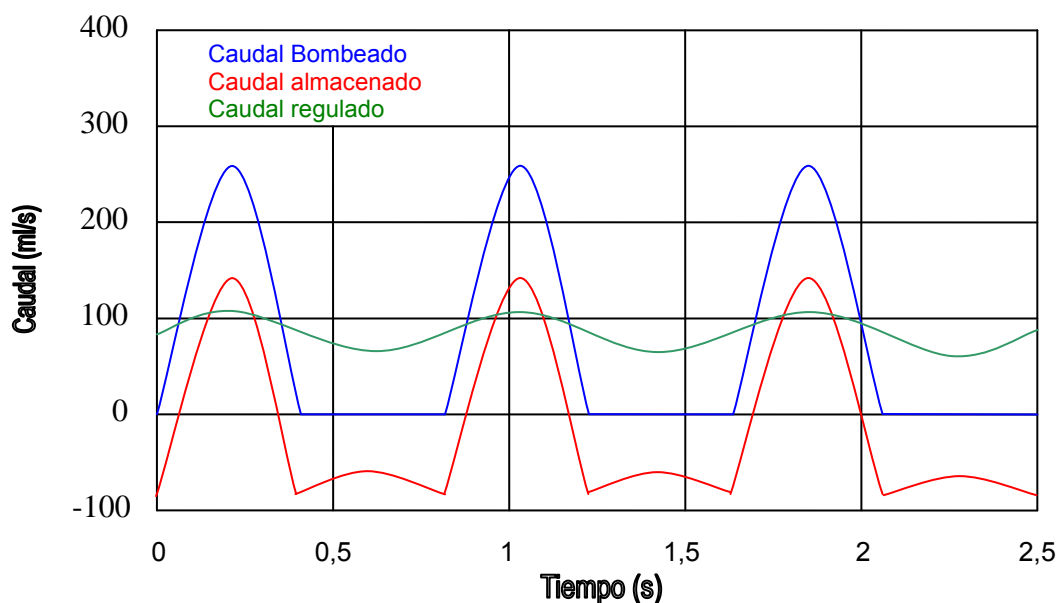
9.1 Teoría de Windkessel.

En el siglo XVIII se establecieron dos corrientes teóricas distintas que intentaban dar una explicación al movimiento de la sangre (MILNOR [1989]).

La primera de ellas llamada *Teoría de Windkessel*, que tiene en cuenta la elasticidad de las **arterias**. Según esta teoría, el corazón impulsa un volumen de sangre durante la sístole, pero parte de ese volumen se queda almacenado en las arterias debido a que la presión produce una extensión radial en estas. Entonces, las arterias, al ser flexibles se deforman aumentando el diámetro.

Posteriormente, durante la diástole el corazón no bombea sangre, luego en principio se cortaría el flujo sanguíneo, pero esto no es así, ya que lo que sucede es que la sangre anteriormente almacenada en las arterias es ahora impulsada por estas, debido a que las arterias se contraen, empleando la energía elástica almacenada durante la sístole para impulsar la sangre, favoreciendo la continuidad del flujo.

Veamos el siguiente ejemplo: supongamos una persona en condiciones normales, con un ritmo cardiaco de de 72 pulsaciones/min. y un caudal de 5000 ml/min. Podemos decir que durante la sístole el caudal bombeado tiene forma sinusoidal y que durante la diástole no se bombea ningún caudal.



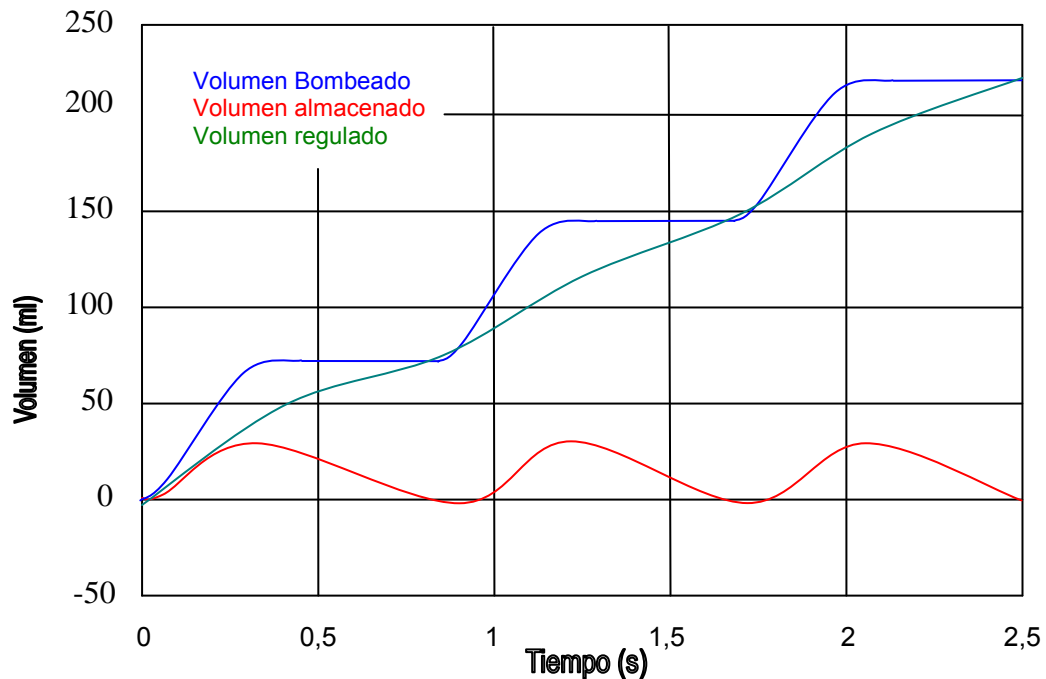
Teoría de Windkessel. Flujos de bombeado, almacenado y regulado.

Si las arterias fueran rígidas, el resultado sería un flujo discontinuo e intermitente como se muestra en la gráfica (caudal bombeado). Ahora bien, si se supone que las arterias son flexibles, como ocurre en realidad, éstas se agrandan durante el incremento de presión de la sístole, almacenando parte del caudal. Después, en la Diástole, ese caudal almacenado es liberado, reflejándose en los valores negativos de la curva roja (caudal almacenado) de la misma figura.

Finalmente, la curva verde (caudal regulado) es el resultado de este mecanismo, donde se ve que el flujo es continuo y bastante uniforme.

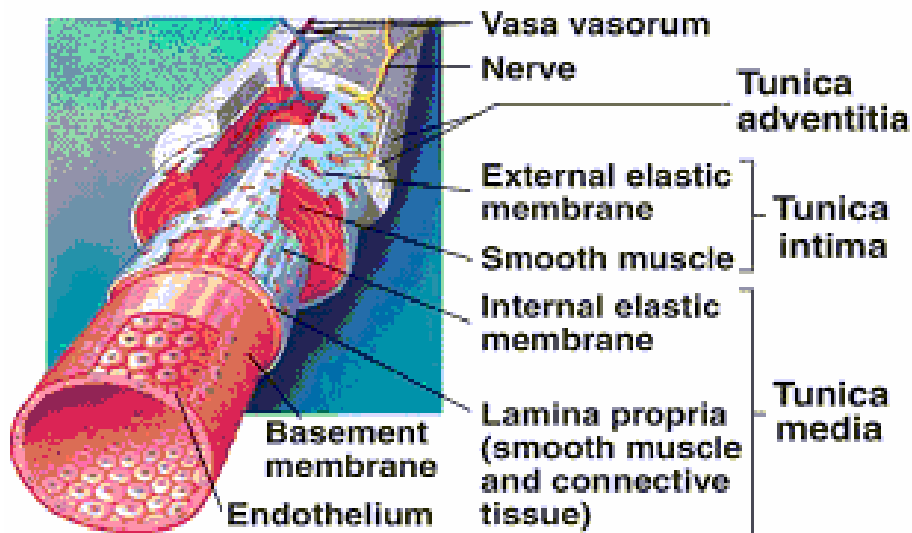
Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

En la siguiente figura se muestra el volumen total de cada uno de los flujos anteriores, esto es, dichos flujos integrados en el tiempo. Podemos apreciar como el flujo almacenado (curva roja) suaviza la curva original de bombeo del corazón (curva azul) dando como resultado el flujo regulado (curva verde). En definitiva la elasticidad de las arterias actúa como regulador del flujo.



Teoría de Windkessel. Suavizado el flujo sanguíneo.

Veamos en la siguiente imagen la composición de una arteria, donde apreciaremos la membrana elástica externa e interna, facilitando la elasticidad de la arteria.

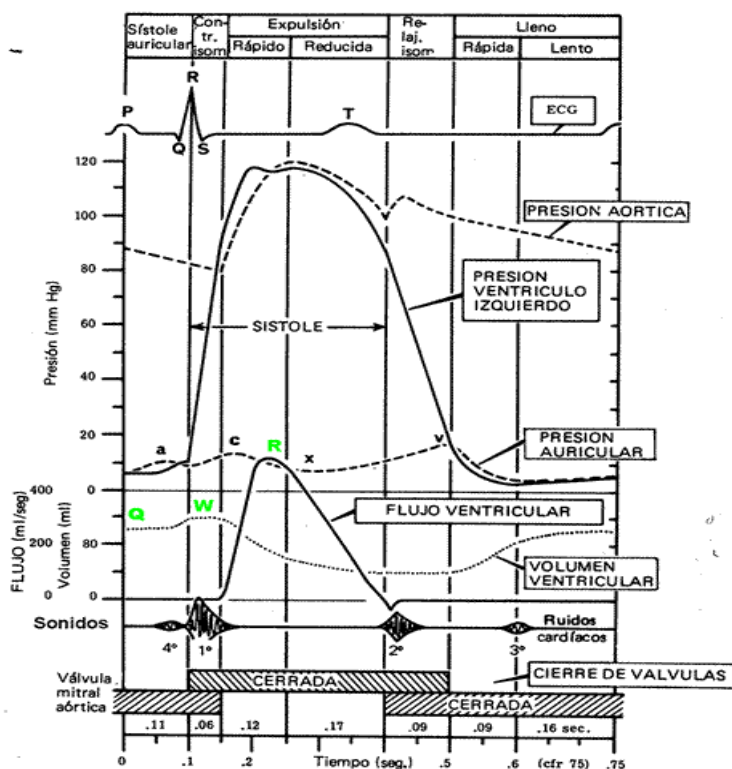


9.2 Ciclo cardiaco.

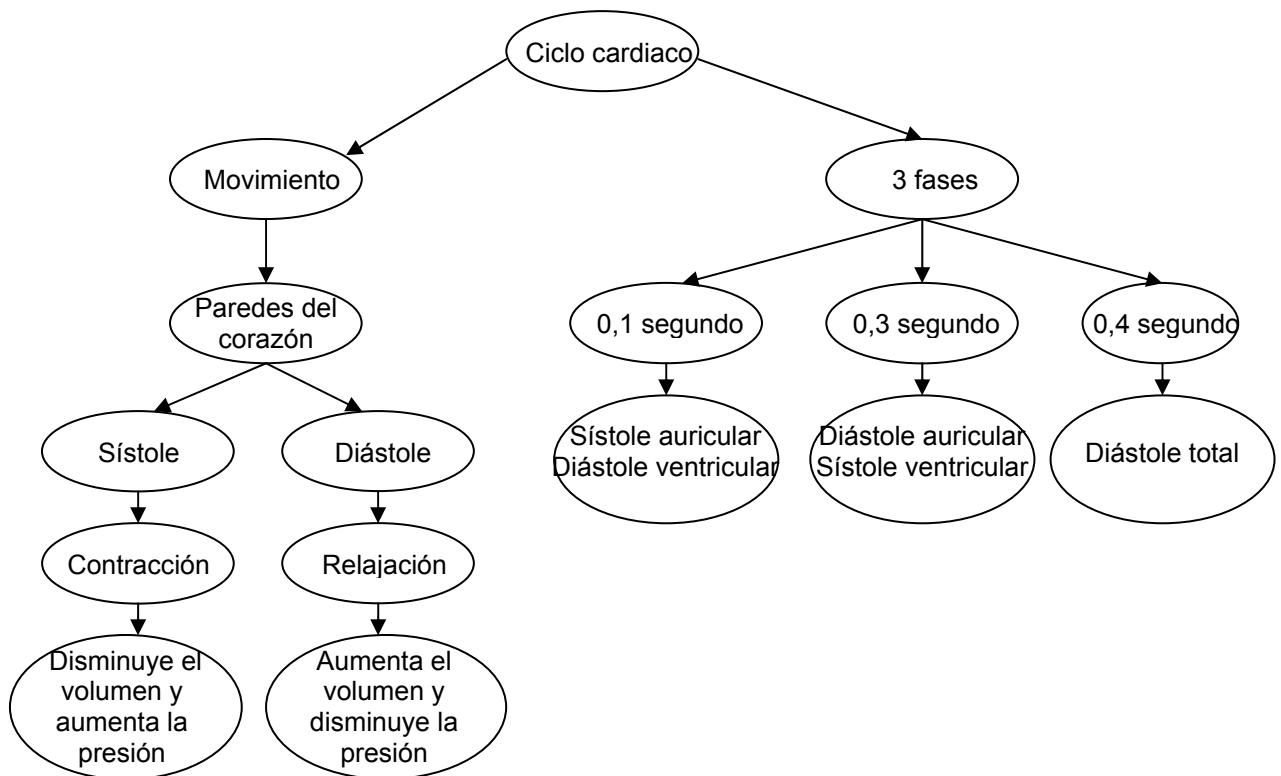
En los años 20 se hicieron los primeros esfuerzos de correlacionar los diferentes eventos que se suceden en cada latido cardiaco. Luego Wiggers, en 1943 publicó la primera correlación de eventos que ocurren en cada latido conocida hoy en día como el ciclo cardiaco.

El ciclo comprende entonces todos los eventos eléctricos, mecánicos, sonoros, volumétricos y de flujos que se suceden en cada latido. Los eventos de cada latido se agrupan a su vez en dos grandes fases con objetivos específicos. Estas son la sístole y la diástole, donde la sístole tiene como objetivo propulsar sangre a la periferia, y la diástole llenar el ventrículo que se ha vaciado parcialmente durante la sístole.

La sístole a su vez se subdivide en subfases que son: la contracción isométrica, la eyección rápida, y la eyección lenta. Algunos incluyen la relajación isométrica en la sístole, ya que se sabe que el proceso de relajación del cardiomiocito es un proceso "activo" que consume una cantidad importante de energía. Siguiendo un esquema tradicional, se incluirá dentro de la diástole. La sístole representa dos quintas partes de un latido, y la diástole las tres restantes. Cuando se aumenta la frecuencia el ciclo se acorta mas a expensas de la diástole que de la sístole. Para seguir las fases del ciclo observe la figura 1 (tomada de Selkurt) que grafica la presión auricular, la ventricular, aórtica, y los ruidos. En el punto Q se pueden observar los cambios del volumen ventricular y el flujo aórtico.



Representación del ciclo cardiaco



Contracción auricular (CA)

El primer evento de cada latido es la despolarización del nodo SA que produce a su vez la despolarización de la aurícula. Unos milisegundos después por acople excitación-contracción se contrae la aurícula generando un aumento de las presiones dentro de la cavidad de esta por lo que esta fase inicial se conoce como la contracción auricular, o con el termino confuso "sístole" auricular. Con esta contracción se produce lo que denominamos la onda auricular.

Mientras esto ocurre, el corazón está en el proceso de terminar el "tanqueo" final de los ventrículos, que es el objetivo final de la diástole. Las presiones en las aurículas son superiores a las del ventrículo por estar éste relajado, y las válvulas aurículo-ventricular (AV) que son unidireccionales, permanecen abiertas permitiendo el paso de sangre de la aurícula al ventrículo. La contracción de la aurícula genera un incremento final de la presión y por lo tanto aumenta el flujo de sangre para terminar de llenar el ventrículo. Así se logra propulsar el 30% final del volumen total del ventrículo en diástole que se conoce como el volumen de fin de diástole (VFD). Punto W. En algunas circunstancias como en los niños con FC altas y en adultos con ventrículos "rígidos" o poco distensibles se puede producir turbulencia con este paso de sangre. Así es como se puede generar o producir lo que se denomina el cuarto ruido o sonido cuatro (S4).

El llenado mediado por la CA reviste una mayor importancia con la taquicardia cuando al acortarse el ciclo el llenado "pasivo" en la diástole es menor y al ocurrir la CA existe un mayor volumen en la aurícula, por lo que la proporción de volumen que aporta la CA puede ser hasta el 50% del VFD. Por eso en reposo una persona normal no tiene mayor dificultad con la instauración de una fibrilación auricular (contracciones desordenadas sin efectividad mecánica), sin embargo se le imposibilitaría hacer ejercicio. También resulta esencial esta "patada auricular" en situaciones de "rigidez" ventricular como hipertrofia ventricular, donde la pobre distensibilidad limita el flujo aurículo-ventricular pasivo.

Contracción isométrica / isovolumétrica (CI)

Después del paso del impulso eléctrico del nodo A-V al haz de His y fibras de Purkinje, se inicia la despolarización ventricular con la subsecuente contracción mecánica. Al producirse esta contracción generalizada del ventrículo, se produce un aumento rápido de las presiones dentro de éste y al ser superior la presión ventricular que la auricular se cierran las valvas A-V. Al cerrarse se produce un cambio abrupto del flujo de sangre y por lo tanto turbulencia generándose un ruido, el S1. En este momento las válvulas A-V están cerradas y las semilunares estaban cerradas desde la relajación isométrica, al ser la presión ventricular inferior a la aórtica. Por eso durante este tiempo de generación de presiones no hay entrada ni salida de sangre del ventrículo y se conoce esta fase como la contracción isométrica o isovolumétrica (isos= igual; metros= longitud). Como se ve junto al punto W, en esta fase no hay cambio de volumen ventricular. La fase se inicia con el cierre de las válvulas A-V y termina cuando la presión ventricular excede la presión decreciente aortita y por haber un gradiente de presión del ventrículo hacia la aorta se abren las válvulas semilunares con el inicio de la eyección. El punto mínimo de presión aórtica se conoce como la presión diastólica (observe que sin embargo ésta ocurre en sístole). Por el gran aumento de la presión se produce protrusión de las válvulas A-V hacia las aurículas y se produce la onda c auricular.

Eyección rápida (ER).

El aumento de presión en la CI es muy rápido (por lo tanto la pendiente de la curva de presión es alta, $m=dP/dt$, tanto mayor la pendiente mejor la calidad de la contracción) y al abrirse las semilunares se produce una rápida eyección de sangre hacia la aorta con un aumento de las presiones ventricular y aórtica hasta lograrse el máximo de presión que corresponde a la presión sistólica. Esta fase produce una caída rápida del volumen ventricular y el máximo flujo aórtico. Punto R .

Eyección lenta (EL)

Una vez termina la contracción del ventrículo deja de "acelerarse" la sangre por lo que las presiones empiezan a descender. La sangre sigue fluyendo por la "inercia" que se le ha transferido a la sangre ventricular y continua hasta que ésta se agote. En esta fase aparece la repolarización ventricular reflejado por la onda T, que a su vez implica la relajación ventricular con caída de la fuerza generadora. A pesar que al final de fase la presión aortita es superior a la ventricular persiste el flujo del ventrículo hacia la aorta hasta agotar la "inercia" de esta sangre. El flujo aórtico es menor que en la ER y simultáneamente la caída de volumen también es mas lenta. Al final de esta fase ocurre el mínimo volumen ventricular que se llama volumen de fin de sístole o volumen residual (VFD). [Nótese que el volumen del ventrículo nunca es cercano a 0, es mecánicamente imposible]. La diferencia entre el VFD y el VFS es el volumen latido o volumen sistólico. La proporción que representa el VL del VFD es la fracción de eyección, o sea la proporción de sangre latida. Esta proporción o FE normalmente es de 55-65%. Todo el tiempo desde el cierre de las válvulas A-V se han ido llenado las aurículas ya que hay un flujo casi continuo desde las cavas y venas pulmonares. Por ello al estar las válvulas cerradas se produce un incremento de las presiones auriculares llamada onda v.

Relajación isométrica (RI)

Cuando la inercia "ventrífuga" de la sangre se agota, el gradiente adverso de presión de la aorta hacia el ventrículo tiende a producir un reflujo que es frenado inmediatamente por el cierre de las semilunares. Por ello se produce un "rebote" contra las válvulas que genera otro pequeño incremento de la presión. Este fenómeno produce una onda con dos picos llamada incisura dicrótica (dos picos). Este cierre de las semilunares con turbulencia produce un ruido llamado S2. Durante esta fase hay una caída rápida de la presión intraventricular y al cerrarse las semilunares al principio de la fase y al estar las A-V cerradas desde el inicio de la CI; no hay ni flujo ni influjo de sangre. Por ello se llama relajación isométrica en que no hay cambios de volumen. Por ser la relajación un proceso que consume energía, algunos incluyen esta fase en la sístole.

Llenado ventricular rápido (LIVR)

Cuando la presión intraventricular es inferior a la presión auricular, existe un gradiente para el paso de sangre A-V y se abren las válvulas A-V. Como en este punto la presión auricular es máxima, por haberse acumulado el retorno venoso durante las fases de CI, ER y EL, y la presión ventricular es mínima (cercana a 0 mmHg) por la relajación total; el gradiente es máximo y hay un paso rápido de sangre A-V. Además se ha documentado un efecto "aspiradora" del ventrículo al relajarse pues genera un vacío funcional que succiona sangre

de la aurícula, acelerando el llenado. Esta fase es responsable de un 50% del llenado ventricular.

Ocasionalmente cuando el ventrículo esta dilatado y por lo tanto sus volúmenes residuales son elevados se produce turbulencia al "estrellarse" la sangre contra este volumen remanente y se genera un S3 que es anormal. Este ruido es común en aquellos pacientes con insuficiencia cardiaca y se describe como galope

Llenado ventricular lento (LIVL)

Una vez el gradiente entre la aurícula y el ventrículo se ha reducido se lentifica el paso de sangre A-V y se inicia la fase de llenado lento o diástasis (pendiente de cambio de volumen). Esta fase que es de las mas acortadas al aumentar la FC aporta un 20% del volumen ventricular, quedando el 30% restante a ser aportado por la CA. Al aumentar la FC y acortarse la diástole las fases de LLVR y LIVL se acortan y la proporción de llenado que estas aportan en vez de ser 70% puede ser del orden del 50% del llenado y la CA el 50% restante.

Esta fase termina cuando se produce una nueva despolarización del nodo S-A y se produce una onda P que posteriormente se convertirá en actividad mecánica que es la onda A auricular.

Ciclo Cardíaco Derecho

El ciclo derecho es esencialmente igual que el izquierdo. Las diferencias se dan por las duraciones de las fases. El ventrículo derecho (VD) se caracteriza por un manejo de volumen a bajas presiones, pues le corresponde propulsar la sangre a un circuito de baja presión, el pulmonar. Esta característica es la responsable de las diferencias mecánicas que ocurren entre los dos. La despolarización del ventrículo izquierdo (VI) se inicia milisegundos antes que la derecha, así la actividad mecánica del VI es anterior al del VD, por eso la CI del VI se inicia antes. Por ello la válvula mitral se cierra milisegundos antes que la tricúspide. La diferencia temporal de los componentes mitral y tricuspídeo es muy pequeña lo que no permite la discriminación de los componentes con el oído, y solo se logran ver con un fono cardiograma de alta resolución. Sin embargo las presiones que deben vencer los dos ventrículos durante las CI para la apertura de la válvula aórtica y pulmonar son muy diferentes. La presión diastólica pulmonar es del orden de los 7-10 mmHg mientras que en la aorta es de 60-80 mmHg. Así la CI del VD es mucho mas corta que el VI y se inicia antes la eyección del VD. Las duraciones de las fases eyectivas son distintas por la gran diferencia de las presiones, la eyección del VI se hace a presiones promedio de 80-90 mmHg mientras la del VD a promedios de 12-15 mmHg. Por ello la ER y EL del VI es mas corta y la semilunar aórtica se cierra antes que la pulmonar. La eyección del VD además tiene la particularidad de ser muy sensible al retorno venoso (RV). Así cuando

hay una inspiración el RV se incrementa por la presión negativa intratorácica y las eyecciones se prolongan más tiempo. Así el componente pulmonar del S2 se desplaza a la izquierda. El pericardio es una membrana rígida que envuelve a ambos ventrículos, por ello al llenarse más el VD por el mayor RV el VI se llenará menos por la interdependencia ventricular pues el pericardio permite un volumen "fijo" de llenado, por lo tanto la eyección izquierda se acorta. Así, en inspiración se diferencian al oído los dos componentes y se produce el "desdoblamiento fisiológico del segundo ruido".

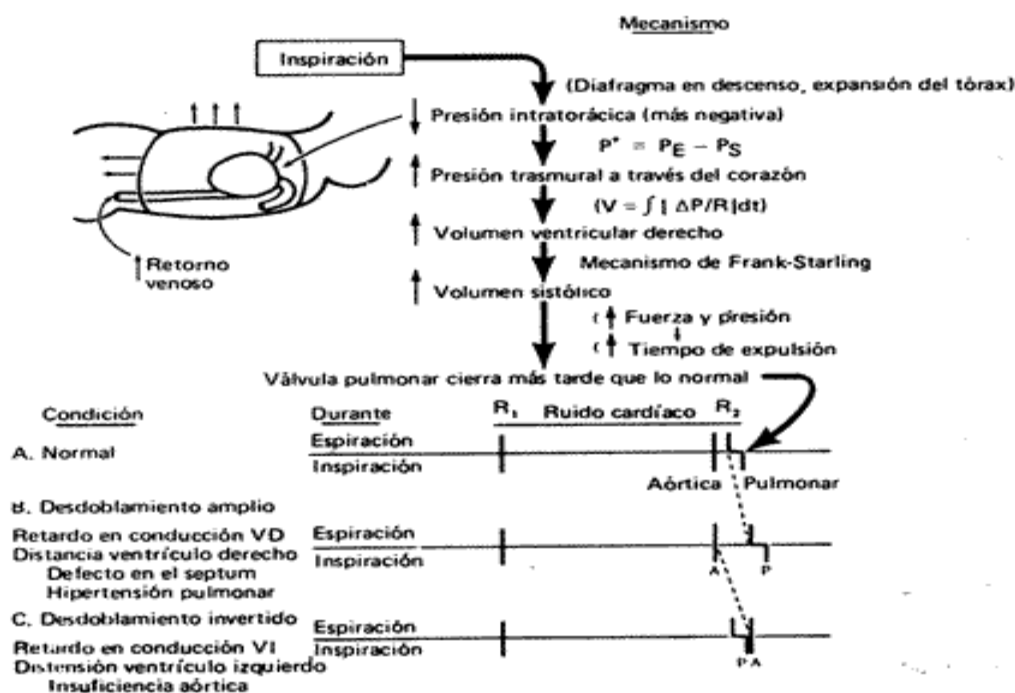
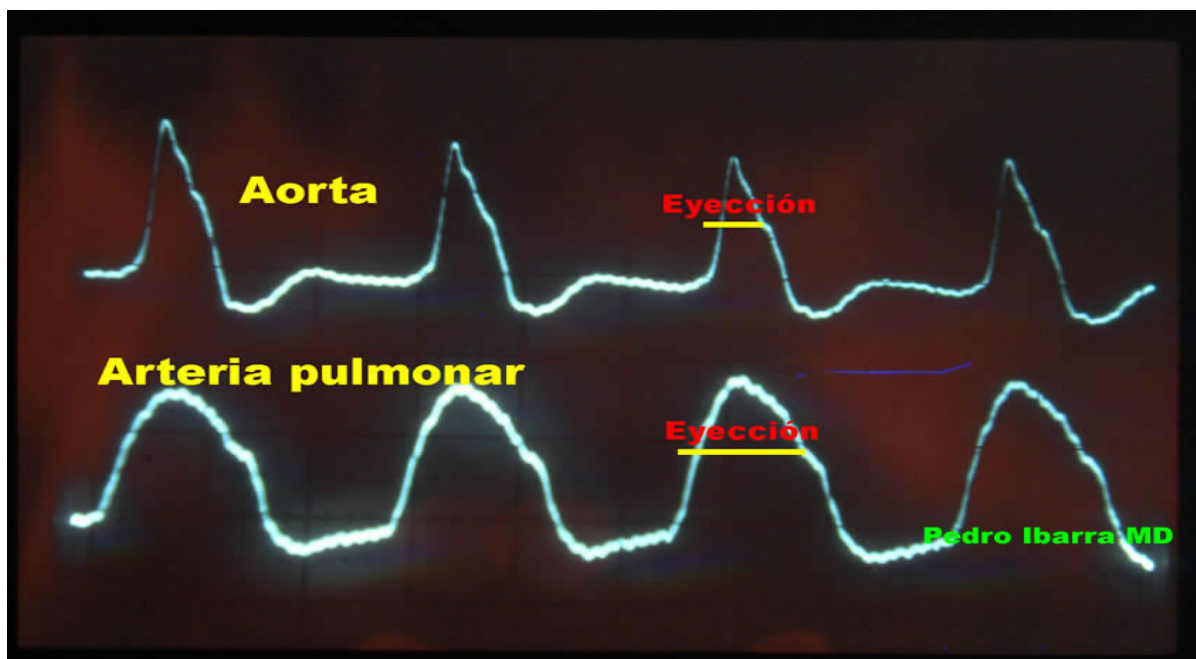


Figura tomada de la editorial Selkurt.

Durante la espiración ocurre lo opuesto, el VD se llena menos por menor RV, la eyección derecha se acorta y el VI se llena más por aumento del retorno por las venas pulmonares y el menor llenado del pericardio a expensas del VD, permite mayor llenado izquierdo. Así el componente pulmonar se desplaza a la izquierda y el aórtico a la derecha y se "unen" los dos componentes del ruido y al oído se ausculta uno solo. Cualquier fenómeno que prolongue la eyección del VD, como una comunicación auricular, que aumenta el flujo del circuito derecho continuamente, generará un "desdoblamiento fijo del S2". Así mismo un retraso de la eyección del VI (como un bloqueo de rama izquierda) puede producir un "desdoblamiento paradójico del S2" (desdoblamiento en espiración, y un solo ruido en inspiración).

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Imagen de electrocardiograma:



Electrocardiograma de arteria aorta y pulmonar.

9.3 Diseño de bombeado.

Para este apartado tan importante en el diseño de nuestro proyecto, hay el inconveniente de no poder realizar las pruebas necesarias en vivo para verificar el flujo que necesitamos.

Teniendo en cuenta que nuestro diseño es para realizar pruebas en los vasos sanguíneos, es decir, en arterias, venas y vasos capilares, hay que constatar que cada vaso sanguíneo tiene su propio flujo. Por lo cual, hay algunas variables que pueden interferir entre el caudal deseado y el obtenido al programar la bomba:

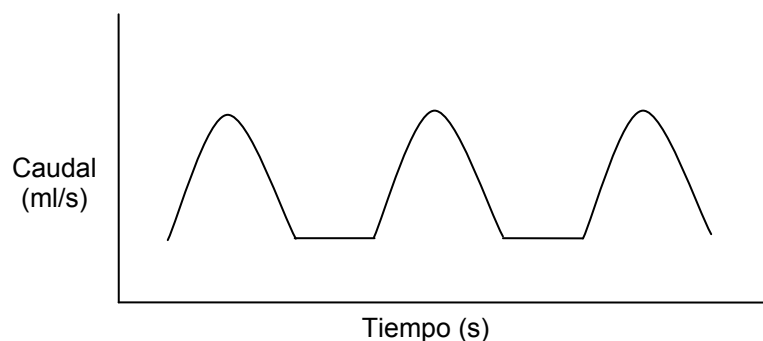
- Diámetros de las tuberías:
- Resistencia hidrodinámica de las tuberías.
- Elasticidad de las tuberías.
- Longitud de las tuberías.
- Posición tuberías.
- Temperatura ambiente.
- Varios.

Para asegurarnos de que el diseño funcione correctamente instalamos un equipo de ultrasonidos de última generación, que una vez colocando la sonda en contacto con la probeta nos dará toda la información deseada del flujo, pudiendo así, regular la bomba a nuestra conveniencia. Hay que considerar que el corazón funciona como nuestra bomba peristáltica, es decir por pulsaciones por minuto.

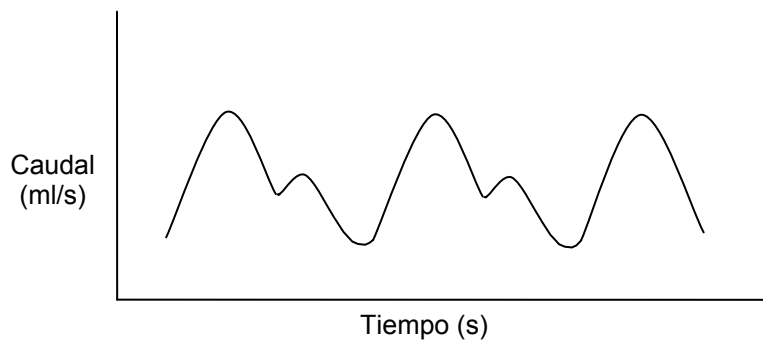
Como hemos visto en este último capítulo, aunque el corazón funcione por pulsaciones, es decir a caudal fijo y discontinuo, el flujo de los vasos sanguíneos no es así. Para ello con nuestra bomba peristáltica podemos conseguir todos los flujos deseados, ya que tiene un temporizador que puede programarse para ello. Podemos enviar un volumen X en el 0.1 segundo, otro volumen Y en el 0,15 y de nuevo el volumen X en el 0,3 segundo, rompiendo la discontinuidad del flujo.

Aun disponiendo de instrumentos de última generación, a fin de asegurar que nuestro flujo sanguíneo sea lo más parecido al efecto de bombeado similar al ciclo cardíaco, se instala el reservorio cerrado, tuberías flexibles y una válvula reguladora de caudal. El propósito es conseguir un flujo sanguíneo artificial lo más similar posible al real.

Supongamos que la bomba peristáltica se programa como el corazón, para enviar un caudal cada cierto tiempo, pudiera ser en 70 pulsaciones/minuto, por lo que la probeta sería sometida a un caudal fijo y discontinuo:



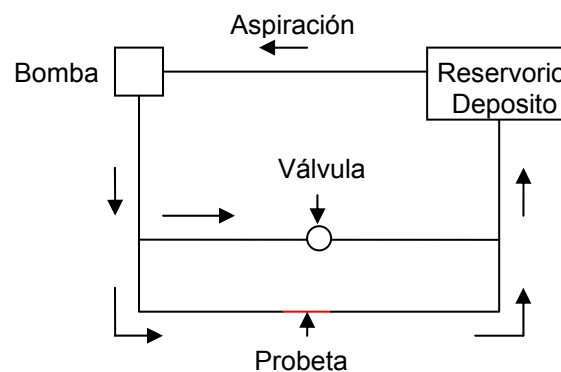
Lo que interesa es un flujo constante y uniforme, por ello instalamos el reservorio cerrado, con el objeto de que el agua salina que circula por las tuberías tenga una salida, de esta manera, conseguimos que las ondas de flujo no interfieran unas con otras. Este reservorio, tiene colocada una tapa transparente de material Policloruro de Vinilo flexible, la cual, con su flexibilidad se expande al entrar solución fisiológica en el reservorio, ayudando en su compresión a la aspiración producida por la bomba. El otro punto a destacar en este proceso para conseguir que nuestro flujo sanguíneo sea constante y uniforme, se trata de colocar unas tuberías flexibles a fin de conseguir, que durante el paso del caudal procedente de la bomba peristáltica las tuberías se expandan. Al expandirse estas, y tras el paso de la onda de caudal, inmediatamente las tuberías se comprimen, enviando otra nueva onda de caudal.



Así hemos conseguido interrumpir el flujo discontinuo de la bomba, obteniendo prácticamente un flujo semejante a una onda sinusoidal.

Posiblemente las tuberías expansibles no fueran necesarias, ya que la bomba peristáltica se programa para resolver este problema.

Con respecto a la válvula reguladora de caudal, trataremos de utilizarla como un regulador de nuestra onda sinusoidal, es decir, la onda de caudal que enviara la bomba peristáltica circulara por dos caminos distintos, el que va hacia la probeta de ensayo y otro que se conectara al tubo que va a la probeta de ensayo inmediatamente después de haber circulado por la probeta, en este colocaremos la válvula reguladora, veamos la figura siguiente.



Ahora trataremos de justificar el por que de la válvula reguladora, el cálculo del caudal viene expresado por la ecuación de la continuidad:

$$Q = V * S$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} = (\text{m}^3/\text{s})$$

$$V = \text{Velocidad} = (\text{m}/\text{s})$$

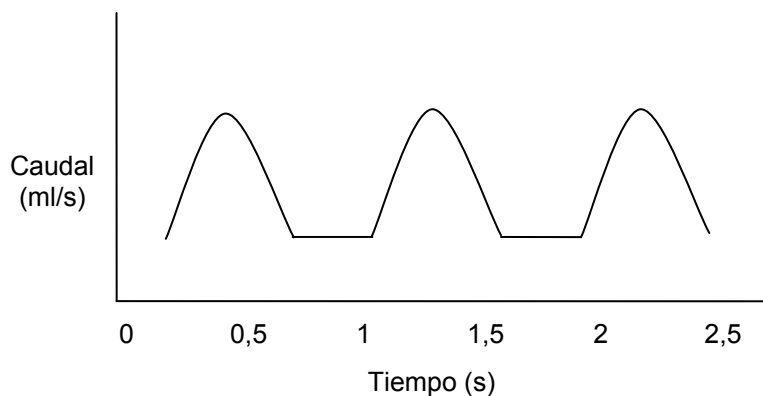
$$S = \text{Sección de la tubería} (\text{m}^2)$$

Despejando:

$$V = Q / S$$

Así pues, al reducir o aumentar el paso del caudal por la válvula, el caudal y la velocidad circulante por la probeta también variara.

Grafica al salir de la bomba peristáltica:



Al variar el paso con la válvula reguladora el caudal varia, en este caso abrimos el paso de caudal y notamos que el caudal que circula por la probeta disminuye, en consecuencia la velocidad también disminuye en relación al caudal $V = Q / S$. La velocidad va en función de la distancia y el tiempo:

$$V = d / t$$

Donde:

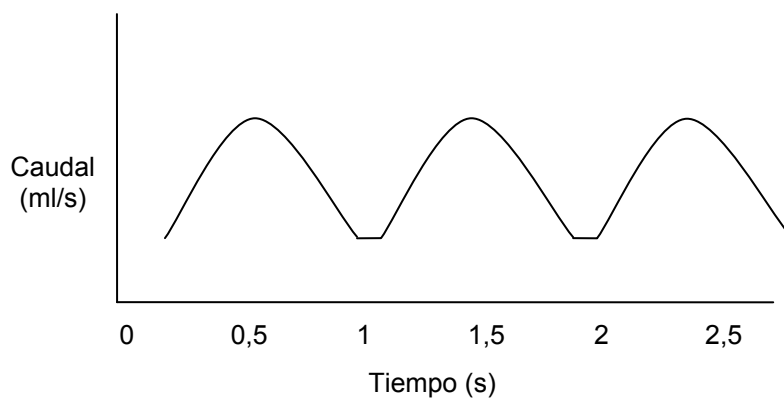
$$d = \text{distancia} = (\text{m})$$

$$t = \text{tiempo} = (\text{s})$$

Despejando el tiempo $t = d / V$

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

Entonces al disminuir la velocidad, el tiempo aumentará en relación a la onda sinusoidal. Por lo cual al cerrar la válvula reguladora de caudal conseguimos que circule menos caudal por la probeta de ensayo a menos velocidad y en más tiempo. Veamos la grafica:



Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

10. Presupuesto.

MATERIAL DE COMPRA:

-Mesa:

Modelo: Mesa Laboratorio.

Cantidad: 1

Suministrador: Romero Muebles de laboratorio S.A

Web: <http://www.romero.es>

Precio: 759,36 €.

-Medidor de presión:

Modelo: Manómetro de bajas presiones Ø 63.

Cantidad: 3

Precio unidad: 150 €.

Suministrador: Mida i pressió S.L.

Web: <http://www.midaipressio.com>

Precio: 450,00 €.

-Aparato de ultrasonido. Doppler.

Modelo: ECOGRAFO DOPPLER COLOR portátil M-5

Cantidad: 1

Suministrador: QUERMED S.A

Web: <http://www.quermed.com>

Precio: 25.818,00 €.

-Caudalímetro:

Modelo: SC-250

Cantidad: 1

Suministrador: TECNO FLUID S.A

Web: <http://www.tecfluid.com>

Precio: 354,00 €.

-Solución fisiológica:

Modelo: Agua Salina.

Cantidad: 25 litros.

Suministrador: Adesco S.A.

Web: <http://www.adescosa.com>

Precio: 0,18 €/l.

Precio de 25 litros: 4,50 €.

Precio del envase: 7,00 €.

Precio total: 11,50 €.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

- Resistencia con termostato.

Modelo: NA001 con 500 W.
Cantidad: 2
Suministrador: Santiago Scoin Homs.
Web: <http://santiescoin.com>
Precio: 85,81 €/u.
Precio 2 unidades: 171,62 €.

-Agua descalcificada para mantenimiento:

Modelo: Agua descalcificada.
Cantidad: 25 litros.
Suministrador: Adesco S.A.
Web: <http://www.adescosa.com>
Precio: 0,23 €/l.
Precio de 25 litros: 5,75 €.
Precio del envase: 7,00 €.
Precio total: 12,75 €.

-Bomba dispensadora peristáltica, flujo variable.

Bomba dispensadora peristáltica, flujo variable.
Modelo: Watson Marlon Bredel pump 620 series.
Suministrador: Técnica de fluidos, S.L
Cantidad: 1
Web: www.tecnicafluidos.com
Precio: 860,70 €/u.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

ACCESORIOS:

Compraremos más unidades de las necesarias para recambio.

Accesorios proporcionados por:

Suministrador: Legris Terrassa S.A.

Web: <http://www.legris.com>

Ver anexos.

-Tuberías:

Modelo: Tubo de Ø Ext. 4,6,8,10,12 de Poliuretano Polietileno cristal transparente.

Cantidad: 25 metros de cada Ø.

Característica: Gran flexibilidad.

Precio: 3,42 €/m.

Precio de 125 metros: 427,5 €.

-Racores:

Racor LF 3601 para tubos de Ø4: 10 unidades.

Racor LF 3601 para tubos de Ø6: 10 unidades.

Racor LF 3601 para tubos de Ø8: 10 unidades.

Racor LF 3601 para tubos de Ø10: 10 unidades.

Racor LF 3601 para tubos de Ø12: 20 unidades.

Racor LF 3601 para tubos de Ø14: 10 unidades.

Precio: 2,65 €/u.

Racor conexión triple Modelo: 1804 te igual.

Cantidad: 2.

Precio unidad: 4,15 €/u.

Precio 2 unidades: 8,30 €.

Racor regulador de caudal Modelo: 7822 en línea.

Cantidad: 1.

Precio: 27,34 €/u.

Válvula anti-retorno Modelo: 4890.

Cantidad: 2.

Precio unidad: 22,14 €/u.

Precio 2 unidades: 44,28 €.

Precio total: 265,42 €.

-Espigas acanaladas enclavables:

Espiga acanalada enclavable LF 3622 tubo de Ø4: 10 unidades.
Espiga acanalada enclavable LF 3622 tubo de Ø6: 10 unidades.
Espiga acanalada enclavable LF 3622 tubo de Ø8: 10 unidades.
Espiga acanalada enclavable LF 3622 tubo de Ø10: 10 unidades.
Espiga acanalada enclavable LF 3622 tubo de Ø12: 10 unidades.
Espiga acanalada enclavable LF 3622 tubo de Ø14: 10 unidades.
Precio: 1,43 €/u.

Precio total: 85,80 €.

Accesorios proporcionados por:

Suministrador: MIKALOR S.A
Web: <http://www.mikalor.com>
Ver anexos.

- Abrazadera sujeción probeta. DIN 3016:

Suministrador: MIKALOR S.A.
Abrazadera perfil de goma. Mod W1 de Ø5: 10 unidades.
Abrazadera perfil de goma. Mod W1 de Ø6: 10 unidades.
Abrazadera perfil de goma. Mod W1 de Ø8: 10 unidades.
Abrazadera perfil de goma. Mod W1 de Ø10: 10 unidades.
Abrazadera perfil de goma. Mod W1 de Ø12: 10 unidades.
Abrazadera perfil de goma. Mod W1 de Ø14: 10 unidades.
Precio: 0,78€/u.

Precio total: 46,80 €.

Accesorios proporcionados por:

Suministrador: Hispanox S.A.
Web: <http://www.hispanox.com>
Ver anexos.

-Tuercas:

Tuerca exagonal paso fino M-24x1,5 DIN 439: 4 unidades.
Tuerca exagonal paso fino M-35x2 DIN 439: 6 unidades.
Precio: 2,46 €/u.

Precio total: 24,60 €.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

ELEMENTOS MECANIZADOS:

Los materiales técnicos de mecanizado son proporcionados por:

Suministrador: Lumetal Plastic, S.L.
<http://www.lumetalplastic.com>

Suministrador: DIGITAL PRESS S.L.
Web: <http://www.demetacrilato.com>

Ver anexos.

Tiempos de mecanizados en sistema decimal.

Conjunto reservorio cerrado.

-Reservorio cerrado:

Num. Plano 1001.0
Suministrado tubo de Ø200 ext. Ø190 int. X 200 mm. Cerrado por una cara.
Precio tubo: 63 €.
Fresado: 2,00horas.
Ajuste: 0,25 horas.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio hora ajuste: 30 €/h.
Precio: 133,5 €.

-Tapa reservorio cerrado:

Num. Plano 1001.4
Torneado: 1,00 horas.
Fresado: 1,50 horas.
Ajuste: 0,25 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 82 €.

-Manguito de entrada y salida:

Num. Plano 1001.3
Torneado: 1,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €/u.
Precio 2 unidades: 94 €.

-Arandela manguito de salida:

Num. Plano 1001.1
Torneado: 0,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 15,50 €/u.
Precio 2 unidades: 31,00 €.

-Acople radial interior:

Num. Plano 1001.2.2
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €/u.
Precio 2 unidades: 94,00 €.

-Acople radial exterior:

Num. Plano 1001.2.1
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €/u.
Precio 2 unidades: 94,00 €.

-Manguito unión resistencia:

Num. Plano 1001.7
Torneado: 1,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47,00 €.

-Arandela:

Num. Plano 1001.5
Torneado: 0,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 15,50 €.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar "in-vitro" prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

-Acople radial interior resistencia:

Num. Plano 1001.6.2
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €.

-Acople radial exterior resistencia:

Num. Plano 1001.6.1
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €.

Conjunto reservorio abierto.

-Reservorio abierto:

Num. Plano 1000.0.
Suministrado tubo de Ø200 ext. Ø190 int. X 120 mm. Cerrado por una cara.
Precio tubo: 68 €.
Fresado: 2,00horas.
Ajuste: 0,25 horas.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio hora ajuste: 30 €/h.
Precio: 138,5 €.

-Manguito de entrada y salida:

Num. Plano 1000.5.salida.
Torneado: 1,50 horas.
Ajuste: 0,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 63 €/u.
Precio 4 unidades: 252 €.

-Arandela:

Num. Plano 1000.3
Torneado: 0,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 15,50 €.
Precio 4 unidades: 62,00 €.

-Alargo manómetro superior:

Num. Plano 1000.6.2
Torneado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 30,50 €.
Precio 2 unidades: 61.00 €.

-Alargo manómetro inferior:

Num. Plano 1000.6.1
Torneado: 1,50 horas.
Ajuste: 0,25 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora ajuste: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 52,50 €.
Precio 2 unidades: 105 €.

-Acople radial interior:

Num. Plano 1000.4.2
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €/u.
Precio 4 unidades: 188,00 €.

-Acople radial exterior:

Num. Plano 1000.4.1
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €/u.
Precio 4 unidades: 188,00 €.

Banco de ensayos hidráulico para experimentar “in-vitro” prótesis e injertos de los vasos sanguíneos.

-Manguito unión resistencia:

Num. Plano 1000.9
Torneado: 1,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47,00 €.

-Arandela:

Num. Plano 1000.7
Torneado: 0,50 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 15,50 €.

-Acople radial interior resistencia:

Num. Plano 1000.8.1
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.
Precio: 47 €.

-Acople radial exterior resistencia:

Num. Plano 1000.8.1
Torneado: 0,50 horas.
Fresado: 1,00 horas.
Precio hora torneado: 30 €/h.
Precio hora fresado: 30 €/h.
Precio material: 4 €/kg.

Precio: 47 €.

Precio total = 30.770,59 €.

*Nota: El precio del Banco de pruebas se encarece bastante debido al precio alto del equipo de ultrasonidos “ECOGRAFO DOPPLER COLOR portátil M-5”, sin este equipo el precio sería aprox. unos 4.400,30 €. Podemos reemplazar el Ecógrafo por un Doppler, pero **no** tendríamos las imágenes de ultrasonidos que son las que necesitamos para este proyecto. Entonces el precio total oscilaría sobre los 7.200 €. Los precios son sin IVA, ya que al ser un estudio de investigación podría estar exento de el.*

13. Conclusiones.

Se ha realizado un sistema hidráulico que nos permitirá realizar pruebas de los vasos sanguíneos “in-vitro”. Podemos realizar pruebas con vasos sanguíneos de seres vivos, así como de vasos sanguíneos con materiales biológicos.

La clave del proyecto ha sido conseguir que el líquido experimental del proyecto tuviera el flujo sanguíneo lo más parecido al de los vasos sanguíneos, ya que de otra manera las pruebas realizadas solo hubieran sido hipótesis. Así, se garantiza en cierta manera una efectividad del diseño muy elevada.

Hay que tener en cuenta que las imágenes, como las variables hemodinámicas obtenidas, se observaran con mayor nitidez en organismos de seres vivos que en las prótesis de materiales biológicos.

14. Agradecimientos.

Doy las gracias al Dr. Juan José Rivera Amores, mi director de proyecto, del departamento de Resistencia de Materiales, por proporcionarme una idea para realizar el proyecto final de carrera, dirigiendo en todo momento este proyecto con el fin de que resultara un diseño lo mas eficiente posible, proporcionándome sus conocimientos y su experiencia para este tipo de proyectos tan puntuales.

Así como a todas las empresas que facilitaron datos para realizar el proyecto, empresas como Mindray , Watson-Marlow, Legris y varias mas que también proporcionaron información para este diseño.

Agradezco a mi esposa Nora Lydia Reyna todo el apoyo que me dio para realizar los estudios de Ingeniería, así como para realizar este proyecto. También a mi hijo Bruno Sánchez Reyna de 6 meses de edad a la fecha de presentación de este proyecto, que me mantuvo despierto todas las noches, y así me apporto en cierta manera mas horas para realizar el proyecto.

15. Bibliografía.

Paginas Web:

<http://www.angiocor.com.ar>

<http://www.seacv.org>

<http://www.revangiol.com>

Libros:

-Tratado de las enfermedades Vasculares. Tomo I y Tomo II.

Autores: SEACV, Sociedad Española de Cirugía Vascular.

Editorial: Viguera Editores S,L.

Artículos:

-Simulación numérica de flujo sanguíneo: una herramienta útil en cirugía vascular.

Autores: J. Rivera-Amores ^a, G. Houzeaux ^b

-Desarrollo de un prototipo de bomba de flujo pulsátil para caracterizar las condiciones hidrodinámicas en un ambiente de circulación extracorpórea.

Autores: John Bustamante.

- Evaluación hidromecánica de venas yugulares bovinas frescas y fijadas en glutaraldehído para uso como bioimplante cardiovascular.

Autores: John Bustamante.

- Evaluación de la función arterial mediante estudios in vivo e in vitro: validación de homo injertos arteriales crió preservados.

Autores: Dres. Ricardo Armentano, Yanina Zócalo, Héctor Pérez.

Interactivo:

<http://www.mie.utoronto.ca/labs/bsl/gallery.html>

<http://www.physics.uwo.ca/~poepping/gallery.html>