



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE MEDICINA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO  
DEPARTAMENTO DE RADIOLOGIA E IMAGEN  
CLINICA LONDRES**

**ULTRASONIDO DOPPLER COLOR DE LAS ARTERIAS Y VENAS  
DE LOS MIEMBROS INFERIORES: ANATOMÍA, FÍSICA,  
INDICACIONES Y TÉCNICAS DE EXAMEN**

**T E S I S  
PARA OBTENER EL TITULO DE POSTGRADO EN:  
RADIOLOGIA E IMAGEN**

**P R E S E N T A:  
DRA. MÓNICA MARÍA CORREDOR HERNÁNDEZ.**

**ASESOR DE TESIS:  
DR. JAIME ALEJANDRO SAAVEDRA ABRIL**



**MEXICO DF.**

**2009.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Profesos Titular:** **DR. JOSÉ MANUEL CARDOSO RAMÓN.**

**Profesor Adjunto:** **DR. SERGIO FERNANDEZ TAPIA.**

**Jefe de Enseñanza  
e Investigación:** **DR. ENRIQUE GUINCHARD Y SANCHEZ**

**Asesor de Tesis:** **DR. JAIME SAAVEDRA ABRIL.**

**Presenta:** **DRA. MÓNICA MARÍA CORREDOR HERNÁNDEZ**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mis maestros de CT SCANNER por su enseñanza, en especial al Dr. José Luis Criales Cortes.**

**Al Dr. Jaime Saavedra Abril por la enseñanza, asesoría y colaboración en la realización de esta Tesis y por su amistad.**

**A los Doctores Eduardo Martínez Vera y Manuel de Moya por ser buenos compañeros de trabajo y también amigos.**

**A mi familia por el apoyo incondicional.**

## **DEDICATORIA**

**A mis padres Luis Eduardo y Blanquita, por ser unos excelentes padres, por todo el amor que he recibido de ellos.**

**A mi esposo Ángel Eduardo por la ayuda en la realización de esta tesis, por ser mi apoyo y con quien deseo estar toda mi vida.**

**A mis adorados hijos Luis Ángel y Andrés Eduardo, por la felicidad que cada día me brindan.**

**A mis hermanos Jorge Luis, Omar Eduardo y Julián Andrés, por el cariño que me han dado, y en el cielo a mi hermana Patricia quien nos cuida desde allá.**

**A mis sobrinas Ximena y Sofía, y a mi cuñada Isabel, por ser tan especiales conmigo y con mis hijos.**

**A mis amigos en México, Mónica Reveles, Luz Marina Navarro, Omar Salmeron y Manuel de Moya.**

## INDICE

I) INTRODUCCIÓN.....	7
II) OBJETIVOS.....	10
III) MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
IV) INDICACIONES.....	12
V) BASES FÍSICAS DEL ULTRASONIDO Y EQUIPOS.....	13
A. PRINCIPIOS FÍSICOS DEL ULTRASONIDO.....	13
a. Propiedades básicas de las ondas sonoras.....	13
b. Resolución.....	14
B. PRINCIPIOS DEL DOPPLER.....	15
C. ANÁLISIS ESPECTRA.....	18
D. EQUIPOS DE DOPPLER.....	19
a. Doppler color.....	19
b. Doppler potencia.....	21
VI) ANATOMÍA DE LOS SISTEMAS VENOSO Y ARTERIAL DE LOS MIEMBROS INFERIORES.....	21
A. SISTEMA VENOSO.....	21
a. Sistema superficial.....	21
b. Sistema venoso profundo.....	23
Variantes anatómicas.....	25
B. SISTEMA ARTERIAL.....	26
VII) TÉCNICA DEL ESTUDIO VENOSO Y ARTERIAL.....	30
A. EXAMEN VENOSO.....	30
a. Consideraciones técnicas.....	30
b. Protocolo de examen de las venas de las extremidades inferiores.....	30
1. Posición del paciente.....	31
2. Paso i. Venas ilíaca.....	31
3. Paso ii. Segmento femoral.....	31
4. Paso iii. Vena safena mayor.....	33
5. Paso iv. Segmento poplíteo.....	33
6. Paso v. Venas pares de la pierna.....	34
7. Paso vi. Venas gastrocnemias y soleas.....	35
B. EXAMEN ARTERIAL TÉCNICA.....	35
a. Técnicas.....	35
VIII) CARACTERÍSTICAS ULTRASONOGRAFICAS DE LA IMAGEN DE LAS VENAS NORMALES.....	37

A. ESCALA DE GRISES.....	37
a. Compresibilidad.....	37
b. Tamaño de la vena.....	38
c. Cambios respiratorios.....	38
B. DOPPLER COLOR.....	39
a. Flujo espontaneo.....	39
b. Flujo físico.....	40
c. Respuesta a la maniobra de valsalva.....	40
d. Aumento en la compresión distal.....	42
e. Flujo unidireccional.....	42
IX) CARACTERÍSTICAS ULTRASONOGRAFICAS DE LAS ARTERIAS	
NORMALES.....	44
A. ESCALA DE GRISES.....	44
B. ONDA DOPPLER.....	44
C. DOPPLER COLOR.....	45
X) FISIOPATOLOGÍA DE LA TROMBOSIS VENOSA.....	46
A. TROMBOSIS AGUDA.....	46
B. TROMBOSIS SUBAGUDA.....	47
C. CICATRIZ TROMBÓTICA CRÓNICA.....	48
D. TROMBOFLEBITIS SUPERFICIAL.....	49
XI) FISIOPATOLOGÍA DE LAS LESIONES ARTERIALES.....	50
A. GENERALIDADES.....	50
a. Características en la escala de grises.....	50
b. Características de la onda Doppler.....	51
c. Características en el doppler color.....	51
B. CLASIFICACIÓN DE LAS LESIONES ARTERIALES PERIFÉRICAS.....	52
a. Enfermedad mínima.....	52
b. Estenosis moderada.....	52
c. Estenosis de alto grado.....	52
d. Oclusión arterial.....	54
XII) INJERTOS Y RECONSTRUCCIONES.....	58
XIII) RESULTA DOS.....	61
XIV) CONCLUSIONES.....	62
XV) BIBLIOGRAFÍA.....	63

## I) INTRODUCCIÓN

La ecografía se ha convertido en el método de imagen de elección para examinar las venas periféricas. El Doppler color y la escala de grises permiten la obtención de imágenes vasculares en tiempo real y la valoración de los flujos normales y patológicos. En particular el ultrasonido ha asumido el papel principal en el diagnóstico de Trombosis Venosa Profunda (TVP), en pacientes sintomáticos y asintomáticos de alto riesgo y son útiles en el estudio de la insuficiencia venosa secundaria a incompetencia valvular.

Además la ecografía Doppler es una técnica fiable para analizar las venas safenas antes de una cirugía de derivación (bypass).<sup>1</sup>

La detección de la trombosis venosa es importante por que es la fuente principal de embolia pulmonar. Alrededor del 25% de pacientes con TVP de los miembros inferiores sin tratar presentaran un embolismo pulmonar que no será mortal. La tasa de mortalidad de la embolia de pulmón puede llegar hasta el 30% si no se trata.<sup>2</sup> La clave para el manejo óptimo es el diagnóstico y tratamiento precoces de la TVP.

Las manifestaciones clínicas de la TVP son poco específicas. Los signos sugestivos en la extremidad inferior incluyen edema de la pierna, distensión venosa, palidez cutánea, un cordón venoso palpable y un signo de Homan positivo (dolor en la pantorrilla con la dorsiflexión pasiva). Estos hallazgos están presentes en el 50% de los casos. Con frecuencia se asocian a dolor y tumefacción de la pierna afectada, pero pueden estar ausentes.

Si aparecen disnea, taquipnea, taquicardia y dolor torácico hay que sospechar embolismo pulmonar.

Los factores predisponentes para TVP incluyen, reposo en cama prolongado, insuficiencia cardiaca congestiva, trombosis previa, cirugía de la extremidad inferior y pélvica, coagulopatías, trauma, embarazo, abuso de drogas intravenosas, deshidratación. Otros son uso de anticonceptivos orales, obesidad, enfermedades sistémicas como el lupus eritematoso sistémico, síndrome nefrítico y policitemia vera.<sup>3</sup>

La mayoría de las TVP se producen en las venas de la pantorrilla y de ahí, pueden propagarse a la vena poplítea e incluso más proximalmente. La trombosis proximal es menos frecuente y casi siempre es secundaria a cirugía, trauma, TVP previa o tumor maligno.

Aproximadamente el 40% de los trombos de las venas de la pantorrilla se resuelven espontáneamente, otro 40% se organizan in situ sin extenderse y el 20% restante migran en dirección proximal. La trombosis aguda está poco adherida y tiende a embolizar, conforme el trombo envejece, se fija a las paredes de la vena y ocluye total o parcialmente su luz. Puede ocurrir una retracción del coagulo con eventual recanalización de la luz venosa. El trombo puede contraerse concéntrica o excéntricamente con endotelización de la nueva superficie luminal. También puede mantenerse la obstrucción venosa y formarse una compleja red de colaterales, que incluso persisten tras la recanalización del vaso principal. Este proceso se completa típicamente en seis meses y el 50% de las venas afectadas regresa a la normalidad.



**El síndrome posflebítico aparece en el 40-75% de los pacientes con TVP del miembro inferior y se caracteriza por dolor incapacitante, edema de la pierna y ulceraciones cutáneas, que son el resultado de la obstrucción venosa profunda primitiva y la subsiguiente lesión de las válvulas y la pared de la vena. Después de la recanalización, las paredes venosas pierden elasticidad (son menos flexibles) y aparece reflujo venoso relacionado con incompetencia valvular. Estas alteraciones provocan un aumento de la presión venosa, que predispone al desarrollo de úlceras en la pierna. Con frecuencia se observan varices superficiales asociadas a edema y a cambios de pigmentación.**

**La combinación de la imagen en escala de grises, el ultrasonido Doppler y el estudio duplex permite localizar y determinar la severidad de las lesiones arteriales, las oclusiones y las estenosis.**

**Los síntomas de la enfermedad arterial de las extremidades inferiores son progresivos y de aparición tardía en la evolución de la enfermedad. El curso insidioso de los síntomas de las extremidades inferiores hace que, con frecuencia, tanto el paciente como el médico los pasen por alto.<sup>3</sup>**

**La alternativa quirúrgica de revascularización se reserva para pacientes con sintomatología muy severa, cuando los programas de ejercicio fracasan o cuando la estenosis inicialmente focal se hace segmentaria.**

**La enfermedad arterial periférica es parte de una afectación arterial por aterosclerosis mas generalizada. Los síntomas suelen comenzar después de los 50 años y existe un predominio masculino. Los factores de riesgo son el tabaco, hipercolesterolemia, la hipertensión y la diabetes.**

**En la oclusión de la arteria, el trombo se puede extender y puede dar tiempo a que se formen colaterales, pero si la obstrucción es brusca y no se compensa, da síntomas agudos de isquemia.<sup>4</sup>**

**Los pacientes diabéticos tienen mayor incidencia de daño en las arteriolas pequeñas. En estos pacientes, las lesiones ocurren en arterias más periféricas como es el caso de las arterias tibioperoneas.**

**El compromiso vascular arterial, interfiere en la oxigenación de la extremidad y eventualmente puede causar pérdida de tejido y amputación del miembro. Los objetivos de cualquier intervención terapéutica son detener la progresión de la enfermedad hacia la isquemia y además de proporcionar alivio sintomático a largo plazo.**

**La alternativa quirúrgica clásica consiste en la derivación vascular. Las lesiones de las arterias iliacas se tratan con injertos de dacrón, normalmente desde la aorta hasta las arterias femorales comunes. En la pierna se emplean materiales sintéticos del tipo del politetrafluoroetileno para tratar la obstrucción, habitualmente anastomosándolo con la arteria poplítea sana sobre la rodilla. Este injerto no tiene índices de permeabilidad satisfactorios a largo plazo. En esta región el injerto de elección son venas superficiales evertidas o venas superficiales locales que forman puentes a ambos lados de la obstrucción.**

**Otras opciones son los procedimientos percutáneos, como la angioplastia, la aterectomía y la colocación de prótesis endovasculares (stents). Este tipo de técnicas actúan sobre la placa ateromatosa, bien desplazándola contra la pared al inflar un balón (angioplastia, stent), o bien eliminándola. Los mejores resultados se consiguen en lesiones cortas, sobretudo en las estenosis.**

**Cuando las lesiones son más extensas, también pueden recanalizarse con la ayuda de agentes trombolíticos, como la estreptoquinasa, uroquinasa o el activador de plasminógeno tisular. El éxito del tratamiento trombolítico se debe a que gran parte de la obstrucción está causada por la formación de un trombo proximal a la zona de estenosis arterial original.**

**La ecografía Doppler desempeña un papel importante en la selección de pacientes sobre los que hay que realizar procedimientos adicionales, antes de realizar una arteriografía diagnóstica.<sup>4</sup>**

## **II) OBJETIVOS**

- 1. Conocimiento de la anatomía, técnicas de estudio, indicaciones, física y equipos en donde se realizan los estudios de Ultrasonido Doppler Color (USDC).**
- 2. Describir y mostrar con USDC ejemplos de las patologías más importantes y relevantes de la enfermedad vascular arterial y venosa de los miembros inferiores.**
- 3. Contribuir al conocimiento de los radiólogos y médicos ultrasonografistas del diagnóstico por medio del USDC de la patología vascular de los miembros inferiores.**
- 4. Dar a conocer el estado actual del USDC en relación a otros métodos de diagnóstico por imagen en el estudio de la patología arterial y venosa de los miembros inferiores.**

### **III) MATERIAL Y MÉTODOS**

**En el Departamento de Ultrasonido del Centro PET-CT Scanner del Sur en la ciudad de México, se realizaron en un período de 8 años desde enero 2001 a julio 2008, un total de 183 estudios de USDC de arterias y venas de miembros inferiores. De los cuales 21 exámenes correspondieron para valoración arterial, en 122 casos los estudios fueron para descartar patología venosa y en 40 pacientes para patología arterial y venosa.**

**Se estudiaron 67 hombres y 116 mujeres con edades entre los 14 y 97 años, para un rango de edad de 59 años.**

**Para los estudios vasculares en todos los pacientes se utilizó un equipo de ultrasonido Sonoline Antares Siemens y un transductor lineal de 4 a 9 MHz.**

#### **IV) INDICACIONES**

- 1. Diagnóstico de TVP, debido a que es un método de exploración no invasivo y no expone al paciente al medio de contraste o a la radiación.**
- 2. Localización exacta y extensión del coágulo.**
- 3. Puede realizarse en forma seriada para seguir las lesiones venosas y su respuesta al tratamiento.**
- 4. Seguimiento de los cambios postflebíticos.**
- 5. Valoración del reflujo de las venas de los miembros inferiores.**
- 6. Valoración de las venas superficiales antes de una cirugía de derivación (bypass). Se evalúa la disponibilidad de los vasos como injerto.**
- 7. Presencia de placas en los diferentes segmentos arteriales de los miembros inferiores.**
- 8. Detección de oclusión arterial periférica.**

## V) BASES FÍSICAS DEL ULTRASONIDO Y EQUIPOS

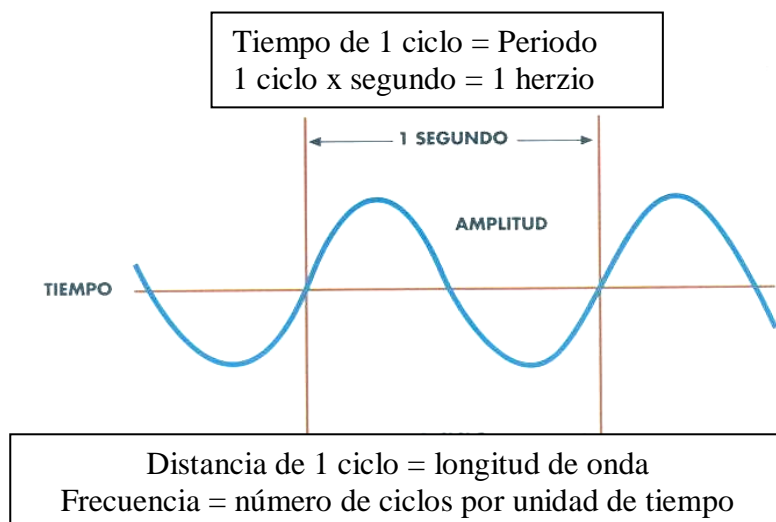
### A. PRINCIPIOS FÍSICOS DEL ULTRASONIDO

El Ultrasonido son ondas sonoras que están por encima del límite de la audición humana (mayor de 20.000 Herzio.) (Hz). La ecografía diagnóstica en medicina emplea ondas sonoras de mas de 1 MHz (1 Millón de ciclos por segundo).

Las ondas sonoras son vibraciones mecánicas u ondas mecánicas de presión.<sup>5</sup>

#### a. Propiedades básicas de las ondas sonoras:

1. Frecuencia: Número de ciclos por unidad de tiempo.
2. 1 Herzio (Hz) es igual a un ciclo por segundo.
3. 1 Megaherzio (MHz) es igual a 1 millón de ciclos por segundo. El periodo de una onda es el tiempo de un ciclo.
4. El periodo y la frecuencia son recíprocos (al aumentar la frecuencia, el periodo disminuye y viceversa).
5. La longitud de onda es la distancia de un ciclo (se expresa por  $\lambda$ ).
6. La amplitud de la onda es la intensidad relativa de la energía acústica.
7. La amplitud disminuye a medida que el sonido se propaga a través del cuerpo.<sup>5</sup> (Figura 1)



**Fig. 1. Onda acústica, el sonido se transmite en forma de ondas de presión, el tiempo que tarda una onda de presión en atravesar un determinado punto se conoce como período.**

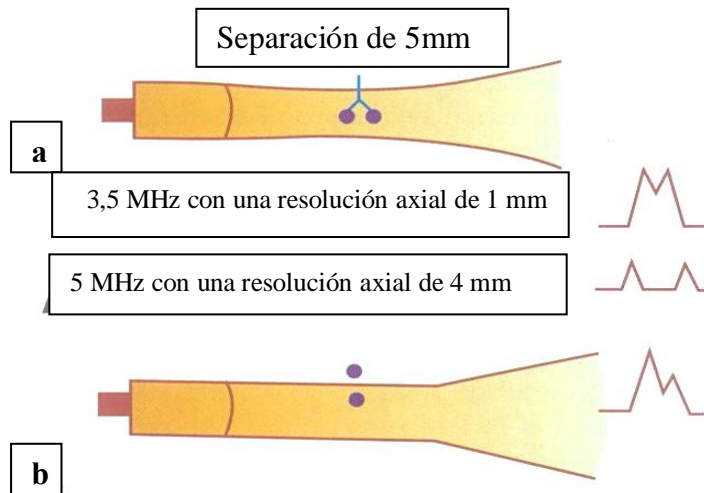
Un aumento en la frecuencia conlleva una disminución en la longitud de onda, lo que aumenta la resolución. Además, la frecuencia y la longitud de onda son inversamente proporcionales. En la práctica clínica debe emplearse la mayor frecuencia posible conservando la capacidad de penetración necesaria.<sup>5</sup>

Las ondas sonoras se producen por un efecto piezoeléctrico que es propio del cristal del transductor. Se trata de un efecto que convierte la energía eléctrica en energía mecánica. El material piezoeléctrico también puede convertir la energía mecánica en eléctrica, lo que permite que el transductor pueda enviar y recibir ondas acústicas. Los sistemas continuos de ultrasonido tienen un cristal que envía ondas continuamente y otro que las recoge también de forma continua. La Frecuencia de Repetición del Pulso (PRF), es el número de pulsos por segundo. El PRF depende de la proximidad de la imagen y suele variar entre mil y 10.000 KHz.<sup>5</sup>

#### **b. Resolución:**

Se refiere a nitidez del detalle de la imagen y se divide en dos tipos: axial y lateral.<sup>5</sup>

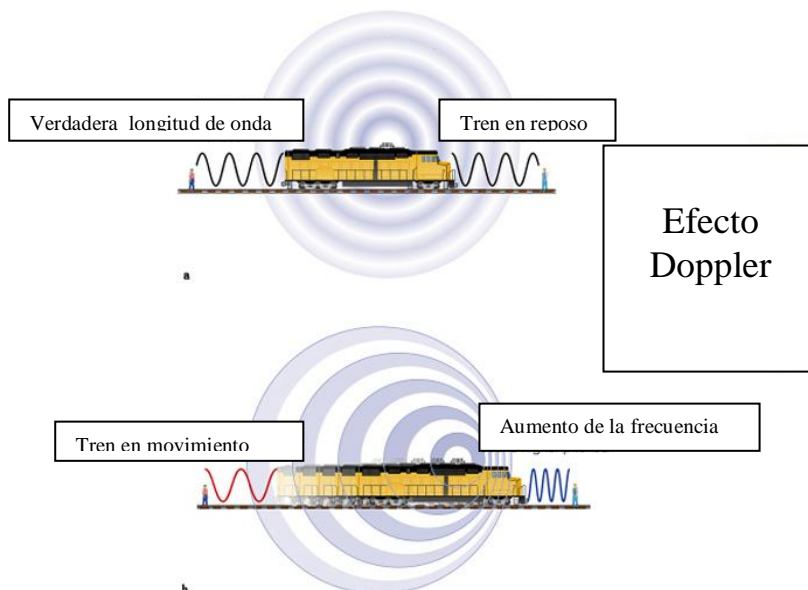
- 1. La resolución axial (en profundidad), es la separación mínima entre los reflectores situados en el trayecto longitudinal del haz, necesaria para producir reflexiones separadas. La resolución axial es igual a la mitad de la longitud espacial del pulso. Mejora con las frecuencias más altas muy amortiguadas.<sup>5</sup>**
- 2. La resolución lateral se define como la separación mínima entre los reflectores perpendiculares a la trayectoria del haz, necesaria para producir reflexiones separadas. La resolución lateral nunca es tan buena como la axial y esta afectada por el diámetro del material piezoeléctrico. Cuanto mayor es la frecuencia mejor es la resolución lateral y axial. Sin embargo, al aumentar la frecuencia disminuye la penetración porque aumenta la atenuación. La atenuación es la pérdida de energía de la onda acústica al atravesar el medio.<sup>5</sup> (Figuras 2 a y b)**



**Fig. 2. a. Esquema de resolución axial, esta se refiere a la capacidad de analizar reflectores que están muy próximos a lo largo del haz del ultrasonido, b. resolución lateral se refiere al espacio mínimo resoluble para reflectores colocados en una línea perpendicular al eje del haz del ultrasonido.**

## B. PRINCIPIOS DEL DOPPLER

El efecto Doppler, descrito por primera vez por Christian Doppler en 1842, se refiere al cambio de la frecuencia de una onda sonora con el movimiento de la fuente respecto al receptor. El cambio de frecuencia Doppler es la diferencia entre la frecuencia reflejada y la transmitida, definidas por la ecuación Doppler.<sup>5</sup> (Figura 3)





**Fig. 3. Esquema del efecto Doppler. a. El sonido de un tren en reposo, emite una onda si hay dos personas a la misma distancia, escucharán igual el sonido, o sea sería una misma frecuencia o longitud de onda. b. Con el tren en movimiento, va a haber un cambio en la frecuencia del sonido disperso, observándose disminución en la frecuencia cuando el objeto se aleja, y aumento de la frecuencia, al acercarse.**

La formula del efecto Doppler es:

$$f = 2Vf_0 \cos \theta / c$$

Donde  $f$  : frecuencia Doppler.

$V$  : velocidad de flujo.

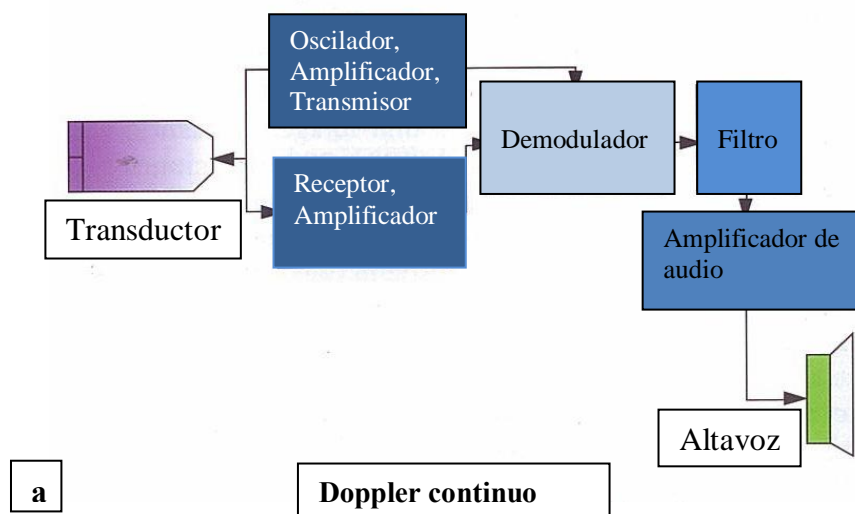
$f_0$  : Frecuencia del transductor.

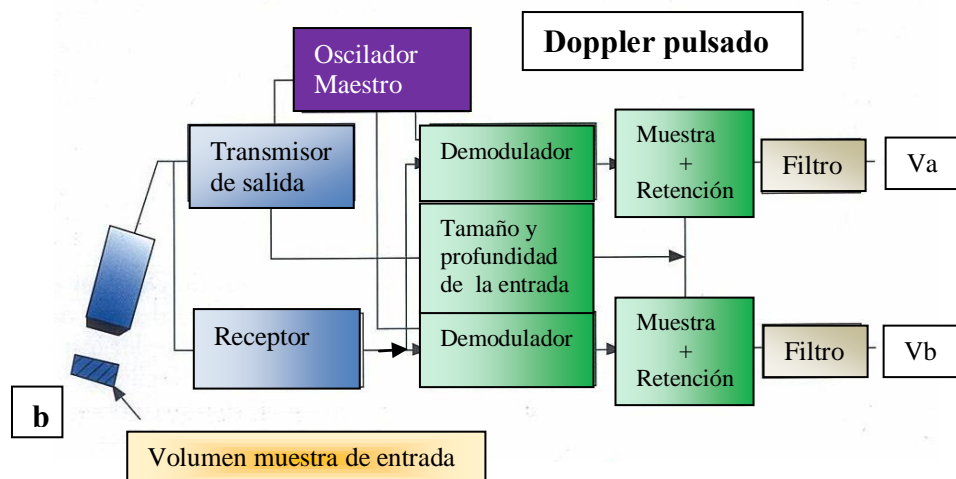
$\theta$  : ángulo entre la dirección del flujo y el eje del haz ultrasónico mirando hacia el transductor.

$C$  : velocidad del sonido.

El cambio de frecuencia Doppler es proporcional a la velocidad del reflector y a la frecuencia y se relaciona con el coseno del ángulo Doppler, que es esencial para medir correctamente las velocidades. Los ángulos pequeños generan cambios de frecuencia Doppler grandes. El máximo cambio de frecuencia Doppler ocurre cuando la sangre fluye directamente hacia el transductor o alejándose de él. Por ello, el ángulo óptimo de exploración es de 0 o 180 grados. Se recomienda que el ángulo Doppler sea de 40 a 60 grados. El cambio de frecuencia Doppler puede expresarse en términos de frecuencia o de velocidad.<sup>5</sup>

Hay dos modalidades de Doppler, el continuo y el pulsado. Los equipos de Doppler continuo transmiten y reciben constantemente la señal ultrasónica. Para ello se necesitan dos cristales, uno transmisor y otro receptor. Los sonidos de un equipo de Doppler continuo pueden ser audibles o imprimirse.<sup>5</sup> (Figuras 4 a y b)

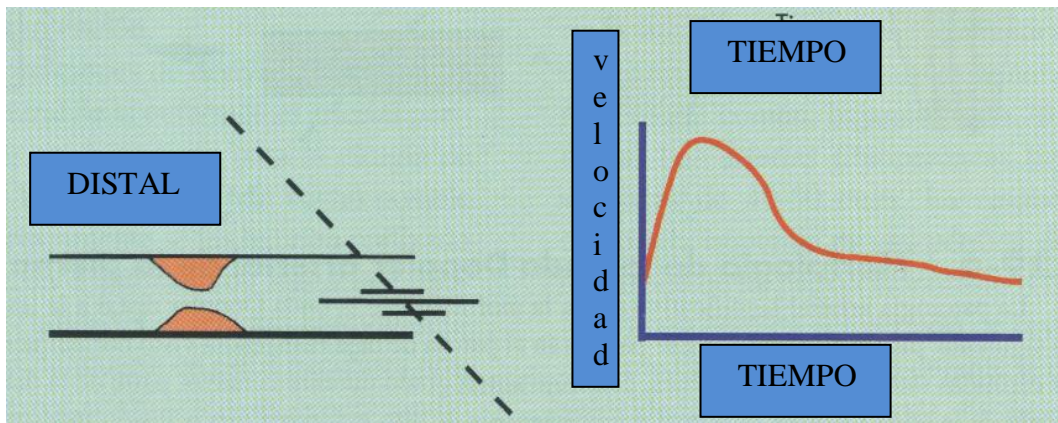




**Fig. 4. a. Doppler continuo, la señal Doppler se obtiene demodulando las señales de los ecos amplificadas y aplicando luego un filtro bajo; como las señales están en el intervalo audible, se puede utilizar un altavoz para representar las señales Doppler, b. Doppler pulsado, el transductor es excitado por un pulso breve, las señales de los ecos son amplificadas en el receptor y enviadas a los demoduladores, una parte de la forma de la onda demodulada se mantiene en la muestra y en la unidad de retención, los cuales forman la señal Doppler utilizando varias secuencias de pulsos de ultrasonidos. Va y Vb son señales que representan el flujo que se acerca y se aleja del transductor.**

El Doppler pulsado supera el inconveniente de la falta de resolución en profundidad y permite que se obtengan las señales Doppler procedentes de una profundidad seleccionada. El haz es pulsado para obtener información tanto de velocidad como de posición. Todos los sistemas de imagen utilizan Doppler pulsado, por lo que son sistemas dúplex.

Cuando se estudia el flujo sanguíneo la señal Doppler surge por el movimiento de los glóbulos rojos, todos ellos con velocidades diferentes dependiendo si se están en el centro del vaso o a lo largo de sus paredes. En un vaso recto con paredes uniformes el flujo sanguíneo tiene un perfil de velocidad liso y uniforme, lo que se conoce como flujo laminar. En el flujo laminar la velocidad de la sangre es máxima en el centro del vaso y disminuye gradualmente al acercarse a la pared del vaso. Cuando la geometría del vaso cambia por estenosis o acumulación de placas, el patrón del flujo se altera y se desvía del tipo laminar. En una estenosis severa la sangre circula a mayor velocidad en la región más estrecha y se hace turbulenta distalmente a la estenosis (turbulencia postestenótica).<sup>5</sup> (Figura5)



**Fig. 5. Distal a una estenosis, la velocidad picosistólica vuelve a valores iguales o menores a los proximales de la estenosis, la vasodilatación periférica origina un aumento del flujo diastólico.**

### C. ANÁLISIS ESPECTRAL

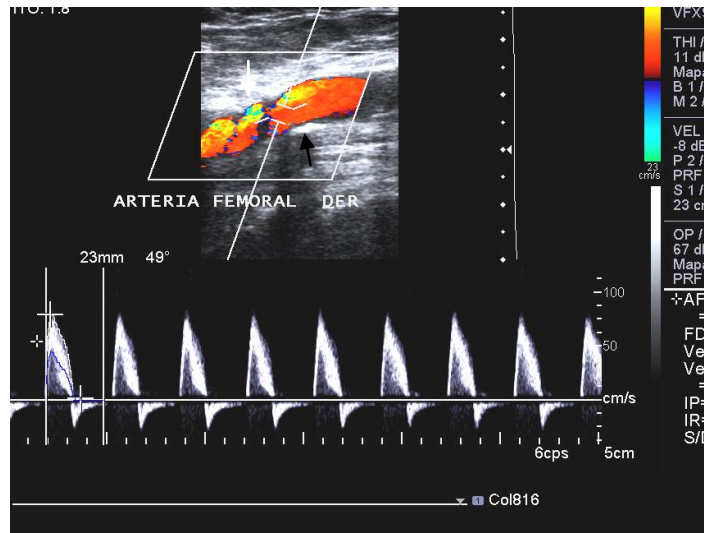
El análisis espectral determina la presencia, la dirección y las características del flujo sanguíneo.<sup>5</sup> El flujo arterial se representa de color rojo porque la sangre se acerca al transductor, y el venoso de color azul porque la sangre se aleja del transductor.

Puede emplearse el análisis espectral para valorar el grado de estenosis, la localización de la obstrucción, el tipo del vaso, la presencia de flujo turbulento, las resistencias periféricas y la velocidad relativa del flujo. La visualización de la onda acústica con el Doppler permite una caracterización más exacta y objetiva que la resultante de basarse solo en la señal acústica. Esta técnica asegura una exploración eficaz y facilita la localización y la identificación de los vasos sanguíneos.<sup>5</sup>

**Análisis Espectral Anormal:** Las características del análisis espectral que se deben analizar son:

- a) Pulsatilidad.
- b) Flujo sistólico anterógrado.
- c) Flujo invertido diastólico.
- d) Oscilaciones diastólicas.

Las perturbaciones del flujo causan un relleno de la ventana espectral que varía desde leve (un punteado en la ventana) hasta obliteración completa de la ventana. La alteración del flujo también produce un aumento de la frecuencia máxima y causa la formación de pequeños espirales que invaden el centro de la corriente e introducen un movimiento desordenado de los hematíes con lo que se detectan mas velocidades con el Doppler. Este proceso aumenta el ancho de banda y se conoce como ensanchamiento espectral. Los espectros turbulentos hacen que se deteriore el contorno del pulso sin que aumente la frecuencia máxima; la ventana puede estar ensanchada o no.<sup>5</sup> **(Figura 6)**



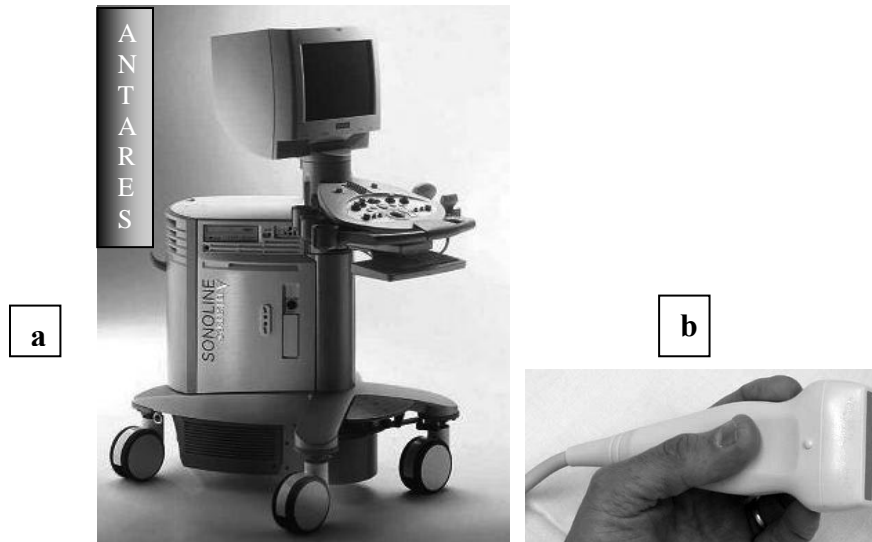
**Fig. 6. Perturbación de flujo debido a presencia de placa (flecha negra), donde se aprecia turbulencia (flecha blanca).**

## D. EQUIPOS DE DOPPLER

### a. Doppler Color:

Los sistemas de imagen con Doppler en color muestran las partículas en movimiento en color, ofrecen información del flujo de todo el campo en escala de grises y detectan y procesan la amplitud, fase y frecuencia de los ecos recibidos. Según el principio de las imágenes basadas en el eco de los pulsos, el Doppler color indica mediante un código de color tanto la velocidad como la dirección del flujo. Los equipos de Doppler color muestran el flujo codificando en color una estimación de la media del cambio de frecuencia Doppler en una posición determinada. Cuando el eco vuelve le asigna un color que indica la dirección del flujo. La intensidad del color traduce el grado de cambio de frecuencia y la magnitud de la velocidad del flujo.<sup>6</sup>

Los equipos de Doppler color ofrecen imágenes en tiempo real, el análisis espectral y las características del flujo a través del color. La mayoría de estudios de Doppler color se realiza con transductores lineales.<sup>6</sup> (Figuras 7 a y b)

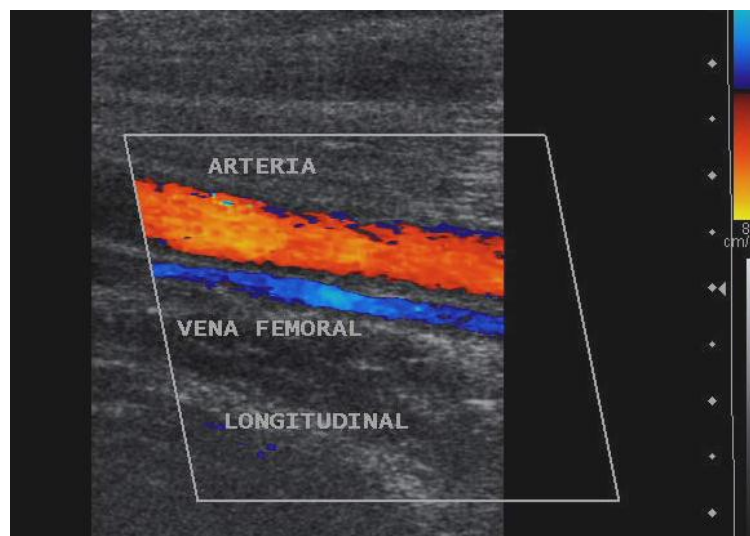


**Fig. 7. a. Equipo de ultrasonido Sonoline Antares y b. transductor lineal de 4 a 9 MHz**

La mayoría de los equipos actualmente disponibles tienen los parámetros preajustados que automáticamente seleccionan la técnica para cada tipo de exploración.<sup>6</sup>

**Tabla 1. Interpretación del flujo del Doppler color.<sup>6</sup> (Figura 8)**

Color	Flujo	Color
Rojo	Hacia el transductor	Rojo-amarillo/verde
Negro	No hay cambio de frecuencia Doppler	Negro
Azul	Se aleja del transductor	Azul-azul claro /verde

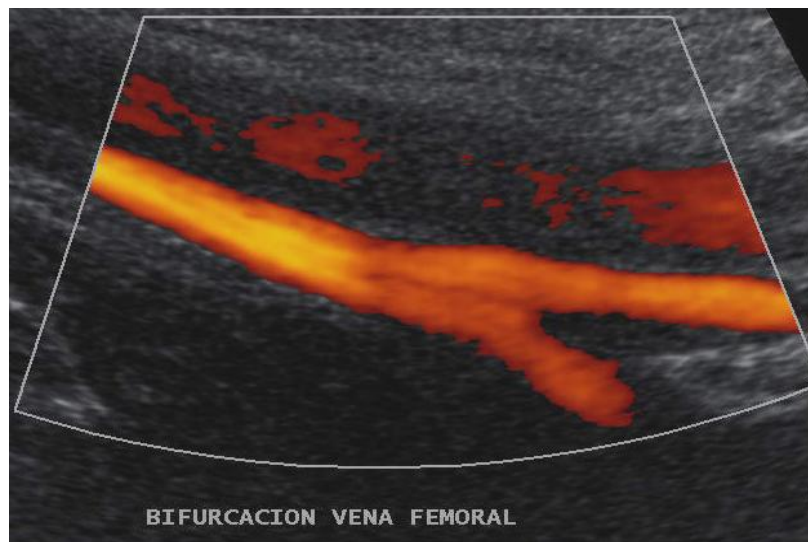


**Fig. 8. Imagen de ultrasonido Doppler color que muestra de color rojo el flujo arterial que se dirige al transductor, color azul, el flujo venoso que se aleja del transductor.**

**b. Doppler Potencia:**

El Doppler potencia o de energía amplía los estudios de imagen de Doppler color aumentando la sensibilidad al flujo sin dependencia del ángulo. Esta técnica ofrece una imagen de tipo perfusión de flujo sanguíneo en el lecho vascular de los tejidos. Se observa flujo en vasos pequeños que en otras circunstancias sería difícil de detectar.

La principal ventaja del Doppler potencia es que es mas sensible para detectar los ecos en zonas de baja perfusión.<sup>6</sup> (Figura 9).



**Fig. 9. Ultrasonido Doppler potencia que muestra la bifurcación de la vena femoral.**

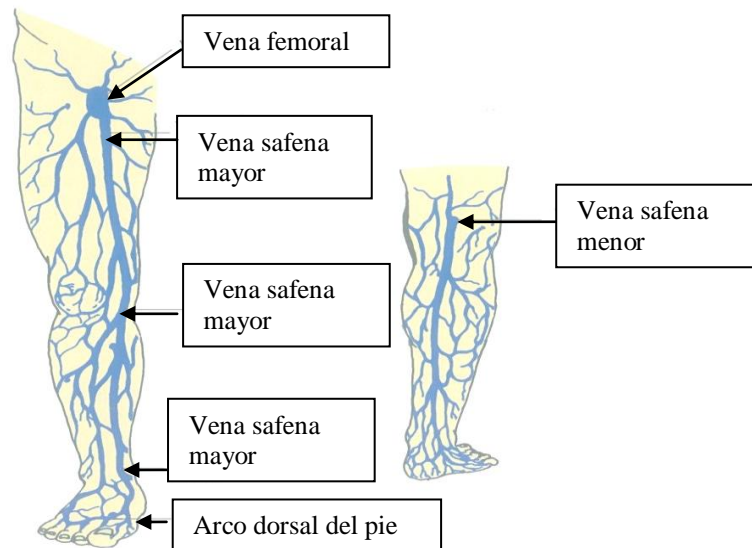
## **VI) ANATOMIA DE LOS SISTEMAS VENOSO Y ARTERIAL DE LOS MIEMBROS INFERIORES**

### **A. SISTEMA VENOSO**

**Las extremidades inferiores tienen un sistema venoso superficial y uno profundo, que se comunican entre si por las venas perforantes. El sistema superficial drena en el profundo, que empuja la sangre hacia el corazón. En las personas normales las válvulas venosas impiden el flujo retrógrado hacia el sistema superficial.**<sup>7</sup>

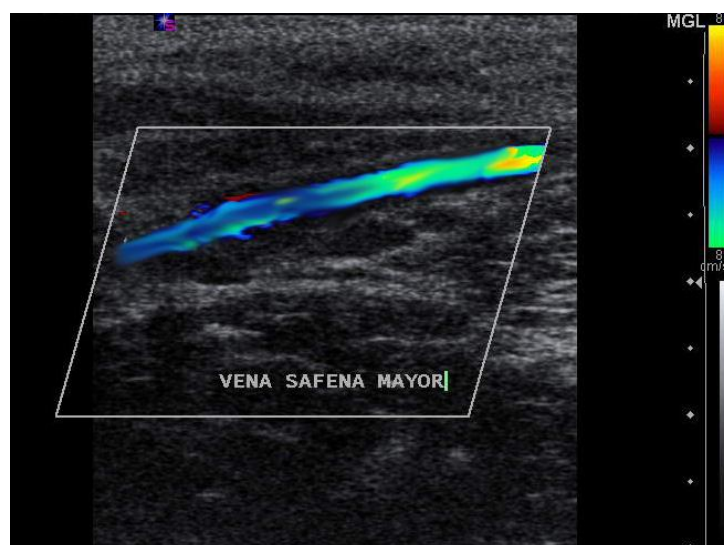
#### **a. Sistema superficial:**

**Las venas superficiales se localizan en la grasa subcutánea. En ultrasonido se pueden ver a 1-2 cm. de la piel y se diferencian fácilmente de las venas profundas. De distal a proximal, las venas superficiales son la arcada venosa dorsal, las venas marginales y las safenas mayor y menor.**<sup>7</sup> **(Figura 10)**



**Fig. 10. Esquema anatómico del sistema venoso superficial de los miembros inferiores.**

La vena safena mayor (interna) es la vena más larga del cuerpo, se extiende a lo largo de la parte medial del muslo y la pierna hasta el tobillo. Se origina en la vena marginal medial y termina en la vena femoral (unión safenofemoral), justo por debajo del ligamento inguinal. La vena safena mayor tiene dos tributarias principales: una se une a la altura del tobillo (arco posterior y venas anteriores de la pierna) y otra en el agujero oval (epigástrica superficial, circunfleja iliaca superficial y venas pudendas externas profundas).<sup>7</sup> Mide 3 a 5 mm de diámetro en el nivel de la unión safenofemoral, y 1 a 3 mm en el nivel del tobillo.<sup>8</sup> Es importante la evaluación de la vena safena mayor, debido a que sirve de ruta colateral en casos de obstrucción del sistema venoso profundo, y también pueden formarse trombos en su interior (tromboflebitis superficial).<sup>9</sup> (Figura 11)



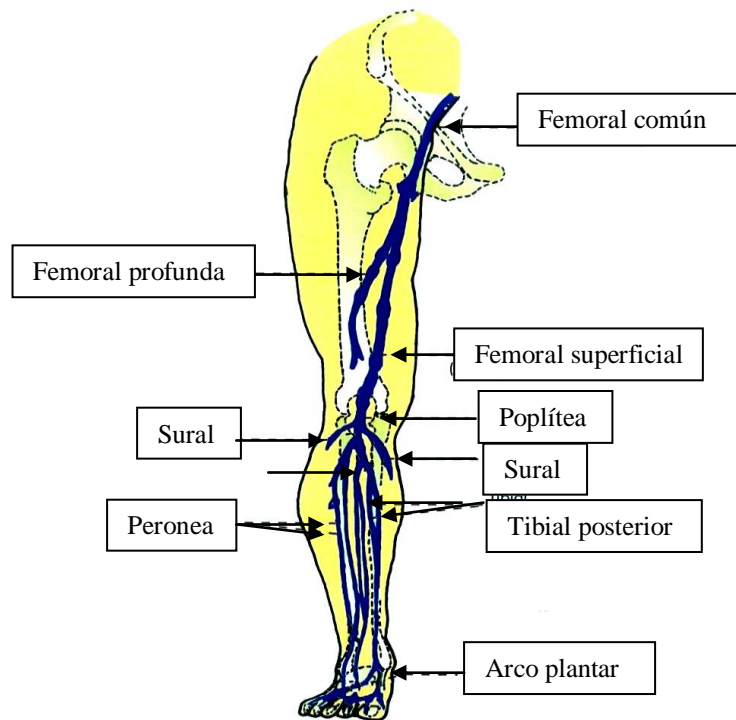
**Fig. 11. Vena safena mayor**



La vena safena menor se origina por detrás del maléolo lateral y asciende por el centro de la pantorrilla. Recibe tributarias de la parte dorsal de la pierna antes de acabar en la vena poplítea.<sup>9</sup>

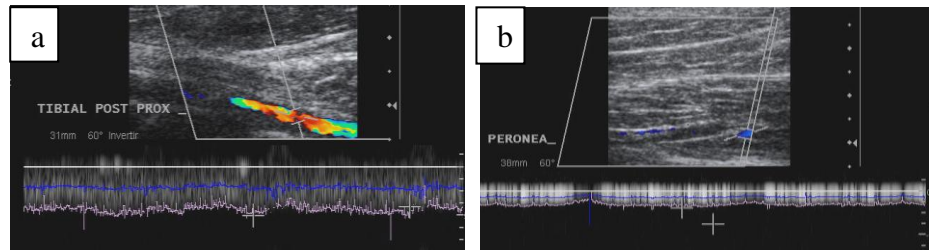
**b. Sistema venoso profundo:**

Las venas profundas se sitúan por debajo de la fascia profunda y están rodeadas por una vaina de tejido conectivo, acompañadas por la arteria correspondiente. De distal a proximal las venas profundas son: las venas tibial posterior, tibial anterior, peronea y solea; los sinusoides soleos; las perforantes, la vena poplítea, la vena femoral profunda, la vena femoral superficial y la vena femoral común. (Figura 12)



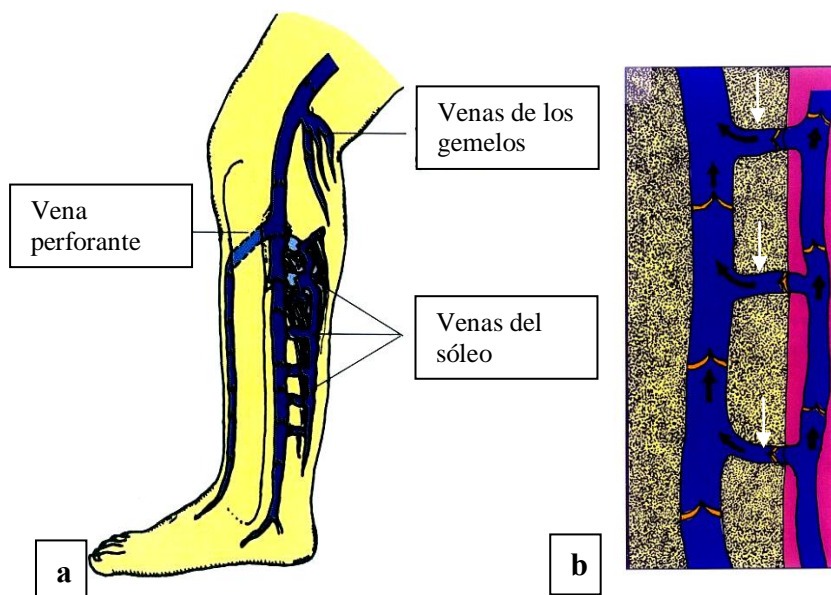
**Fig. 12. Esquema del sistema venoso profundo de la extremidad inferior.**

Las venas poplíteas y femorales generalmente son únicas y reciben múltiples tributarias. Las venas tibial anterior, tibial posterior y las de la pantorrilla son pares. Las venas tibiales anteriores, son continuación de la dorsal del pie, se sitúan entre la tibia y el peroné, en el compartimiento anterior por encima de la membrana interósea. En la parte alta de la pantorrilla se unen a la vena poplítea. El drenaje venoso del músculo soleo se realiza a través de múltiples venas que contienen los senos venosos soleos, estos constituyen las principales cámaras colectoras de la bomba muscular de la pantorrilla. Así mismo estas drenan en venas mayores con válvulas que dirigen la sangre de las partes distales del músculo a las proximales y acaban en las venas tibial posterior y peronea.<sup>9</sup> (Figura 13 a y b)



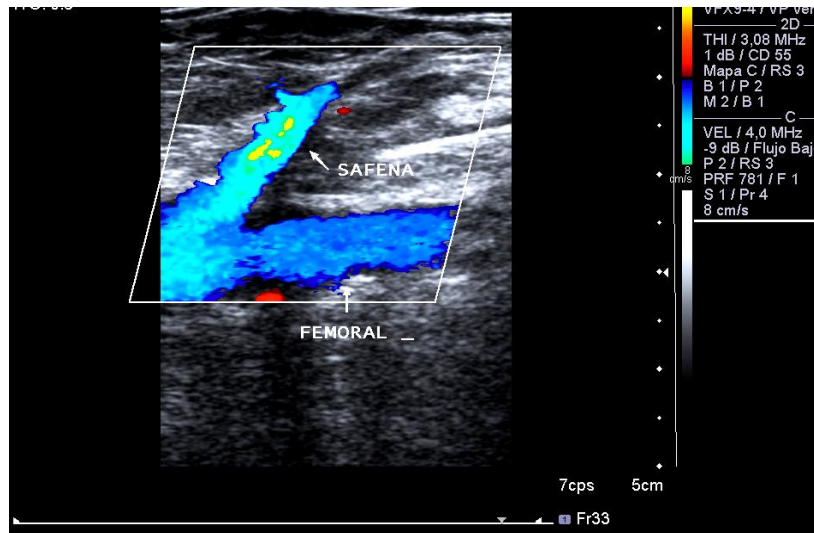
**Fig. 13. a. Vena tibial posterior, b. Vena peronea**

Las venas perforantes conectan las venas superficiales con las profundas. Atraviesan la fascia profunda y permiten que la sangre llegue desde el sistema superficial al profundo. Las válvulas venosas de las perforantes impiden el flujo retrogrado.<sup>9</sup> (Figura 14 a y b)



**Fig. 14 a. Venas de los gemelos, venas del soleo y vena perforante de la extremidad inferior. b. Esquema de las venas perforantes (flechas blancas)**

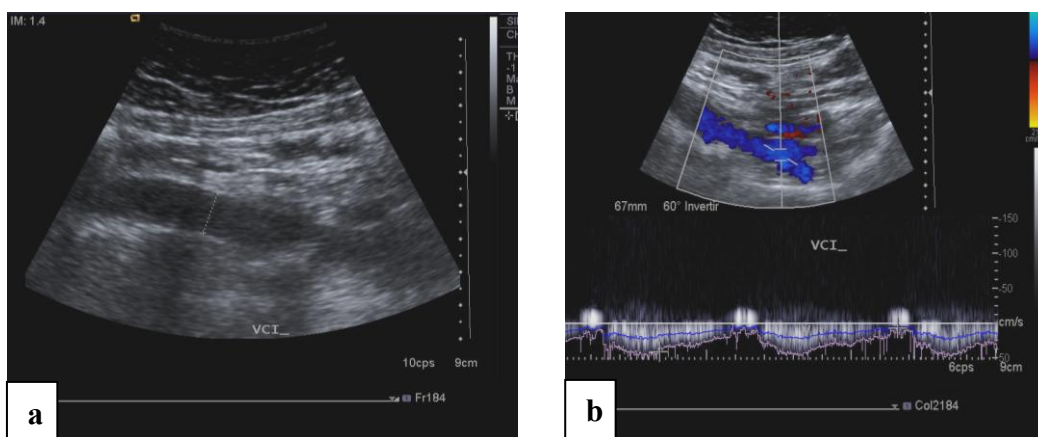
La vena poplítea esta formada por la confluencia de las venas peroneas, tibial anterior y tibial posterior cada uno de estos sistemas consta de venas pares que acompañan a la arteria del mismo nombre y un tronco que se forma al confluir las venas pares. Los troncos tibial posterior y peroneal se unen en la parte superior de la pantorrilla o en la fosa poplítea formando la vena poplítea. El tronco tibial anterior tiene una única configuración anatómica que se extiende casi siempre lateralmente desde su unión con la vena poplítea<sup>10</sup>; asciende desde la fosa poplítea hasta el orificio del músculo aductor mayor, donde se convierte en la vena femoral. Esta asciende por los dos tercios superiores del muslo y recibe múltiples tributarias. Aproximadamente a 4 cm. por debajo del ligamento inguinal se une a la femoral profunda y forman la femoral común. Cerca de su terminación recibe a la vena safena mayor (unión safenofemoral).<sup>11</sup> (Figura 15).



**Fig. 15. Imagen en color de la unión safenofemoral.**

Las venas de los sistemas superficial y profundo contienen válvulas para impedir el flujo retrógrado. Estas válvulas son más numerosas en el sistema profundo, aumentan de número distalmente y hay más en las extremidades inferiores. La mayoría de las válvulas contienen dos valvas o repliegues semilunares, unidos a la pared venosa por bordes convexos.<sup>11</sup>

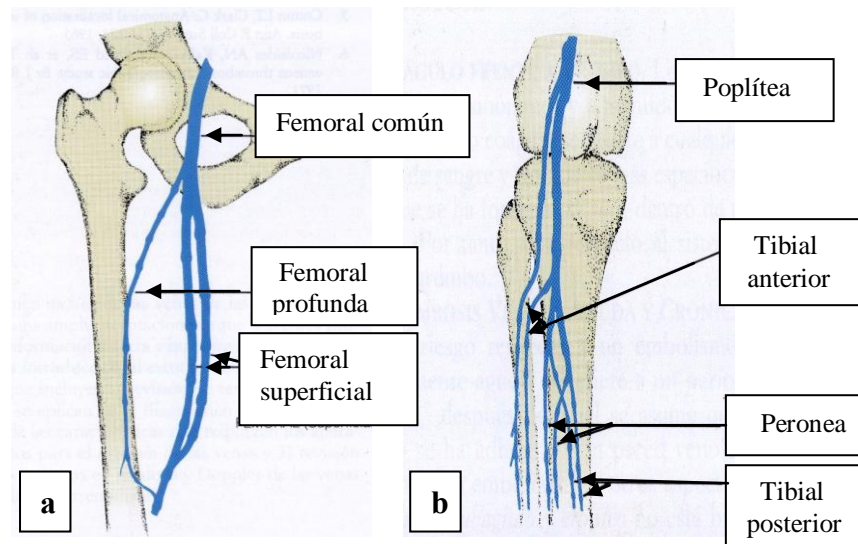
La vena iliaca externa es la continuación de la vena femoral común. Se extiende desde el ligamento inguinal hasta el nivel de la articulación sacroiliaca, allí se une a la vena iliaca interna y forman la vena iliaca común, las venas iliacas comunes derecha e izquierda se dirigen cranealmente y van a formar la vena cava inferior( a nivel de L5), esta vena va hasta la aurícula derecha.<sup>11</sup> (Figura 16).



**Fig. 16. Vena cava inferior a. Escala de grises. a. Doppler Color**

#### **Variantes Anatómicas:**

Las venas femoral superficial y poplíteas están duplicadas en aproximadamente en un 25% de los individuos. En muchos casos, la duplicación poplítea es el resultado de la unión en una posición más alta de los troncos tibiales en la fosa poplítea.<sup>12</sup> (Figuras 17a y b).

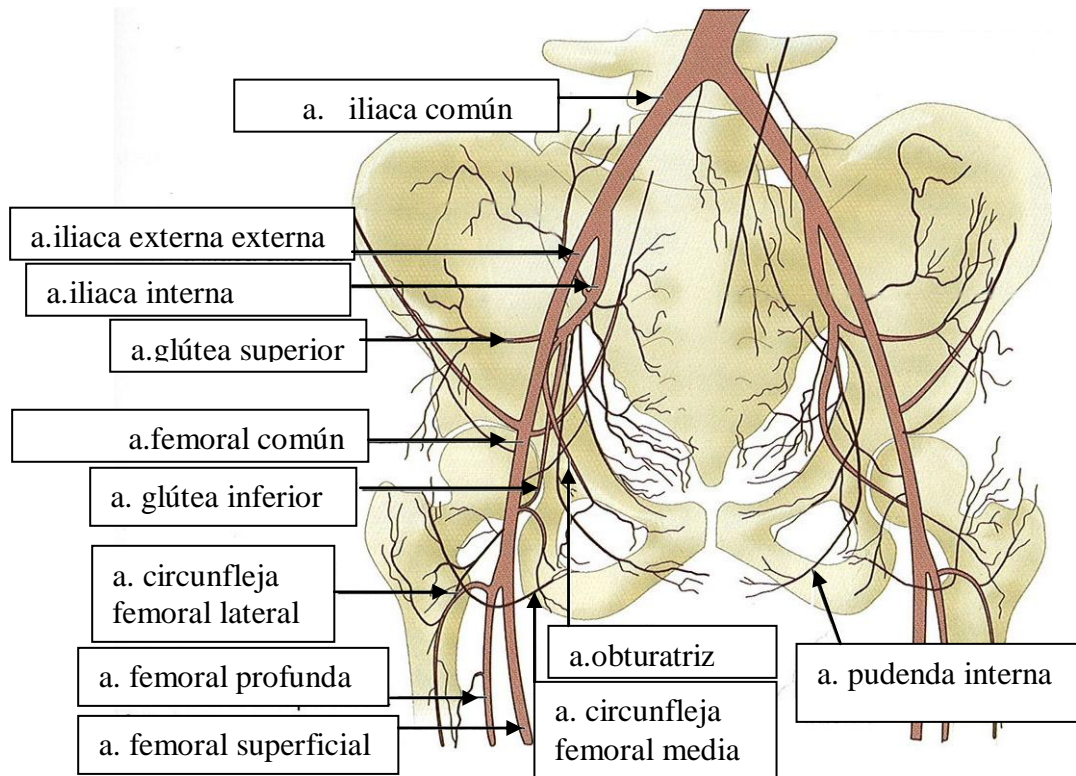


**Fig. 17 a. Esquema donde se visualiza duplicación de la vena femoral superficial, b. Duplicación de la vena poplítea.**

## B. SISTEMA ARTERIAL

La aorta abdominal empieza a la altura del hiato diafragmático, se sitúa por delante de la duodécima vértebra dorsal. Desciende por delante de las vértebras y un poco hacia la izquierda de la línea media hasta la altura de la cuarta vértebra lumbar, donde se bifurca en las ramas ilíacas comunes derecha e izquierda. La arteria ilíaca común se divide en arteria ilíaca interna y externa a la altura de las últimas vértebras lumbares y las primeras sacras.<sup>13</sup>

La arteria ilíaca interna se dirige hasta el agujero ciático mayor, donde se divide en un tronco anterior y otro posterior. El tronco anterior es el origen de las arterias vesicales superior e inferior, la arteria rectal media, la arteria uterina, la arteria vaginal, la arteria obturatriz, la pudenda interna, las arterias del pene, la arteria uretral y la arteria glútea inferior.<sup>13</sup>  
**( Figura 18)**

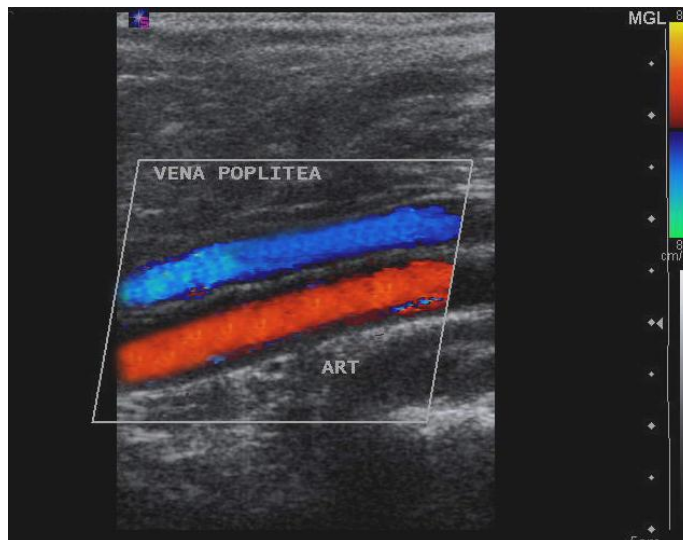


**Figura 18. Esquema de la arteria iliaca común y sus ramas.**

La arteria iliaca externa desciende desde el ligamento inguinal y a una distancia intermedia entre la espina iliaca anterosuperior y la sínfisis del pubis se convierte en la arteria femoral.

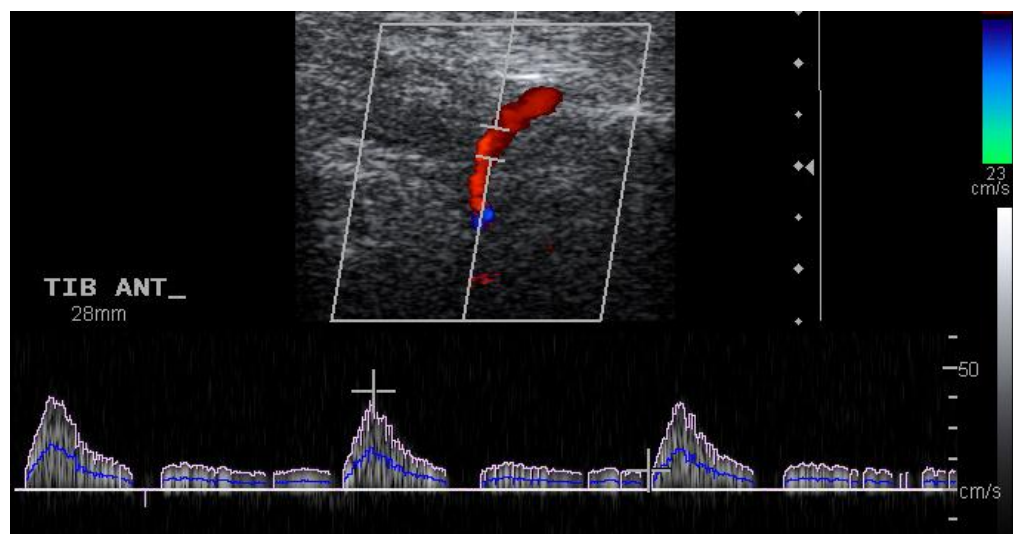
La arteria femoral común es corta (3,75 cm. a 5 cm.) y se ramifica en la arteria femoral superficial y profunda. A la altura del tercio medio del muslo la arteria femoral superficial pasa al canal de los aductores (canal de Hunter). La arteria femoral superficial se continúa distalmente con la arteria poplítea.

La arteria poplítea comienza en el hiato del canal de los aductores en el tercio distal del muslo y se dirige oblicuamente hacia abajo y lateralmente por detrás de la rodilla hasta el borde inferior del músculo poplíteo. La arteria poplítea se divide en la arteria tibial anterior y tronco tibioperoneo posterior. En algunos casos hay trifurcación en lugar de bifurcación.<sup>13</sup> (Figura 19)



**Fig. 19. Arteria Poplítea**

La arteria tibial anterior se incurva hacia delante y pasa a través de la membrana interósea a la parte profunda del compartimiento anterior. Suele originarse por encima de la tuberosidad tibial anterior. En la parte inferior de la pierna se sitúa al lado de la tibia y cruza el tobillo para convertirse en la arteria dorsal del pie. (Figura 20)



**Fig. 20. Arteria tibial anterior**

La arteria tibial posterior, o el tronco tibioperoneo posterior, se divide en las arterias tibial posterior y peronea. Está en el espacio entre la tibia y el peroné, pero más cerca de la tibia. Al descender se hace más superficial y se acerca a la parte interna de la pierna por detrás de la tibia. Por debajo del maléolo interno la arteria tibial posterior se divide en las ramas plantares interna y externa.<sup>13</sup>

La arteria peronea tiene una localización profunda a lo largo de la parte dorsal del lado peroneo de la pierna. En la parte inferior de la pierna sale de ella la rama peronea anterior. La arteria peronea cruza la

**articulación entre la tibia y el peroné y llega a la parte externa del calcáneo, donde da sus ramas terminales.<sup>13</sup>**

## VII) TÉCNICA DEL ESTUDIO VENOSO Y ARTERIAL

### A. EXAMEN VENOSO

#### a. Consideraciones Técnicas:

La orientación de la imagen ecográfica respecto al eje de la vena se puede describir de varias formas: Las imágenes orientadas a lo largo de la vena se enuncian como eje largo o longitudinal, y las imágenes perpendiculares al eje de la vena se rotulan como eje corto o transversal.<sup>14</sup>

#### b. Protocolo de examen de las venas de las extremidades inferiores:

Las rutas primarias de drenaje de la extremidad inferior son las venas profundas, que se acompañan de arterias del mismo nombre. Las venas superficiales no se acompañan de arterias.<sup>14</sup>

Las venas pares tibiales anteriores, tibiales posteriores y peroneales están acompañadas de arterias que sirven para ayudar a identificarlas.

En muchos casos no son posibles las imágenes directas con Doppler color de las venas iliacas comunes y externa; incluso cuando estas venas se pueden examinar directamente, la calidad de la imagen puede estar limitada. Por tanto es esencial confirmar indirectamente la permeabilidad de las venas iliacas, lo que se logra mediante un cuidadoso examen de las señales Doppler de flujo a nivel de la femoral común.<sup>14</sup>

La trombosis aislada de la vena femoral común es inusual, pero tal trombosis tiene riesgo de embolización pulmonar.<sup>14</sup>

Es difícil examinar la parte de la vena superficial que pasa a través del canal aductor.<sup>14</sup>

En aproximadamente el 25% de los individuos normales se presenta la duplicación de la vena femoral común en el muslo. Es importante estar atento a esta duplicación ya que una de las ramas puede estar permeable y la otra estar trombosada. Comúnmente también se presenta una duplicación poplítea. En muchos caso la duplicación poplítea esta producida por la extensión de los troncos tibiales posteriores y peroneales hasta el espacio poplíteo.

En los músculos gastrocnemios (en particular en la cabeza medial), y soleo hay venas grandes. En muchos casos, se piensa que el trombo se origina en estas venas musculares y por tanto, se debe tener mucho cuidado al identificar tales trombos que pueden estar aislados.<sup>14</sup>

Comúnmente se presentan variantes normales en las venas de la pantorrilla en forma de interconexiones entre las venas tibiales posteriores y peroneales. Entre las venas pares de la pantorrilla también son comunes los canales de interconexión. Debido a estas interconexiones el potencial de colateralización es enorme, lo cual tiene importancia diagnostica porque puede haber flujo sanguíneo proximal o distal a un segmento venoso ocluido. Por consiguiente, la identificación de flujo normal en un segmento de una vena de la pantorrilla no excluye una trombosis en otra parte del mismo sistema.<sup>14</sup>

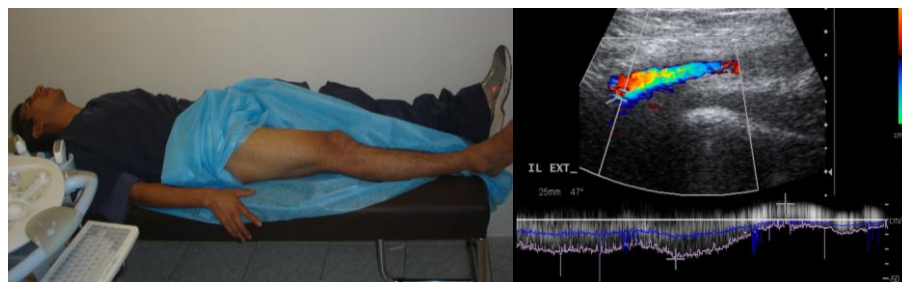


### 1. Posición del paciente:

La visualización clara de las venas de las extremidades inferiores, requiere una adecuada distensión del sistema venoso. Para este fin la extremidad inferior debe estar colgando, lo que se puede lograr elevando la cabecera de la mesa de examen o examinando al paciente sentado. El cuarto de exploración debe tener las condiciones adecuadas paciente para no sentir frío y prevenir la vasoconstricción que da lugar a una pobre distensión venosa.<sup>14</sup>

### 2. Paso I. Venas Iliacas:

Se requiere un transductor de 3 MHz, con el paciente en posición de anti-Trendelenburg, se identifica la vena iliaca externa en la ingle y se sigue en dirección cefálica tan lejos como sea posible. A menudo no se puede identificar la unión de las venas iliacas común y externa.<sup>14</sup> (Figuras 21a y b).



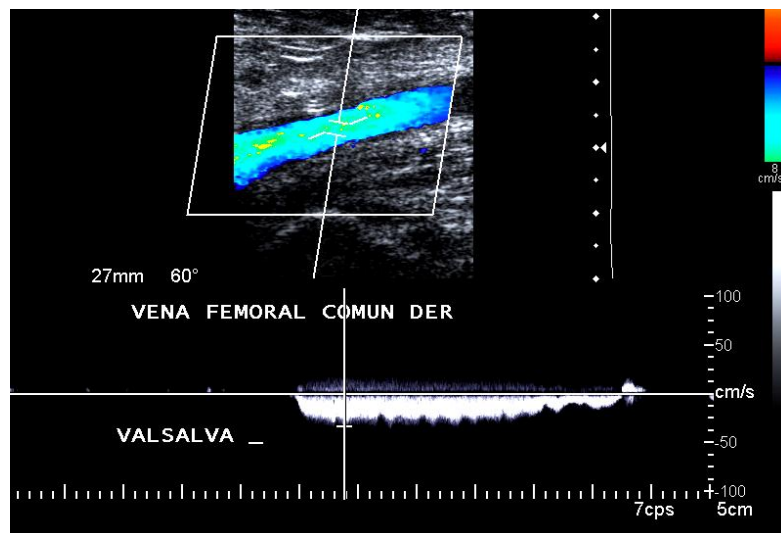
**Fig. 21 a. Paciente en posición anti-Trendelenburg. b. Vena iliaca externa.**

### 3. Paso II. Segmento Femoral:

El examen del sistema venoso desde el área femoral hasta la parte distal normalmente se hace con un transductor lineal de 5 o 7 MHz. Con el paciente en posición de anti-Trendelenburg, se comienza el examen en la ingle con imágenes del eje longitudinal de la parte distal de la vena iliaca externa. Más caudalmente, en la vena femoral común se buscan dos importantes puntos de referencia: La vena safena mayor y la unión de las venas femorales superficial y profunda. Estos son unos de los puntos de referencia que se deben identificar en cada examen venoso.

Se confirma la permeabilidad de la vena safena mayor y femoral profunda con imágenes del flujo en color.

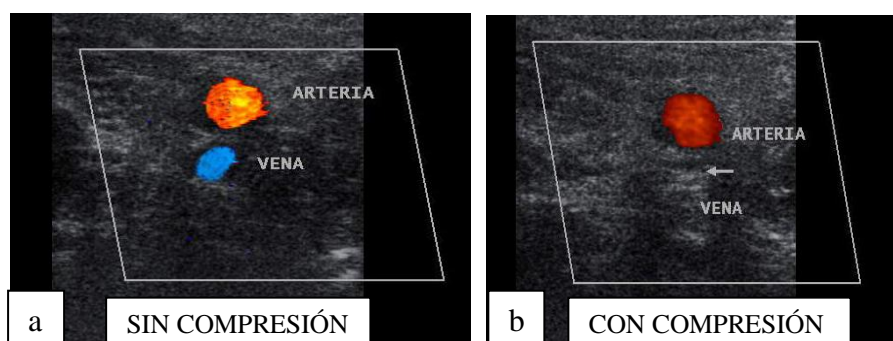
Después, se evalúa el flujo en la vena femoral común con el espectro Doppler. Se verifica el flujo espontáneo y fásico así como una respuesta a la maniobra de Valsalva normal (no se debe existir reflujo). Estas observaciones sirven para excluir la oclusión (trombosis) de las venas iliacas o de la vena cava inferior.<sup>14</sup> (Figura 22)



**Fig. 22. Imagen de ultrasonido de la vena femoral común que muestra una respuesta normal a la maniobra de valsalva.**

Después de la evaluación con Doppler, se continúa el examen con compresión transversal de la vena femoral común y superficial. Comenzando en el punto mas alto posible de la vena femoral común se continúa hasta el canal aductor, comprobando de forma secuencial la permeabilidad venosa a intervalos de aproximadamente 2 cm. Hay que asegurarse que se identifican los puntos de referencia a lo largo del recorrido para confirmar la localización anatómica. Para el examen con compresión transversal se pueden utilizar imágenes en escala de grises o con Doppler color. Las áreas anormales (no compresibles), se deben evaluar además con imágenes transversales y del eje longitudinal para determinar si el material del interior de la vena es un trombo que se ha formado recientemente o una cicatriz crónica.<sup>14</sup>

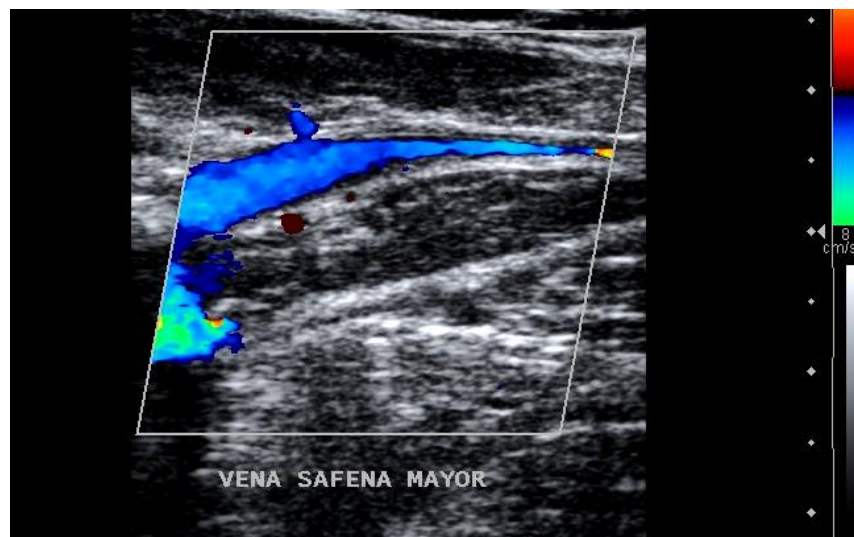
La vena femoral superficial se examina con compresión transversal a nivel del canal aductor, donde discurre entre los músculos aductores y desde la parte medial del muslo hasta el espacio poplíteo. El segmento aductor de la vena femoral superficial es demasiado profundo para poder comprimirlo con efectividad en la mayoría de los pacientes y solo se deberá examinar con imágenes en color.<sup>14</sup> (Figura 23)



**Fig. 23. Imagen de Doppler color en corte transversal de la vena femoral superficial distal a. Sin compresión, b. Con compresión desaparece el flujo (flecha).**

#### 4. Paso III. Vena Safena Mayor:

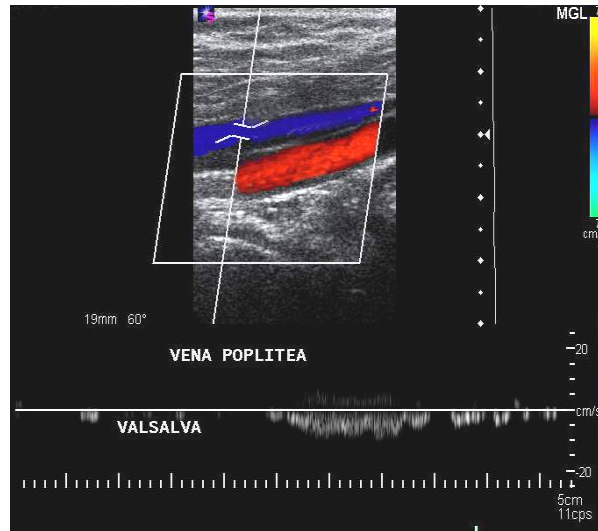
Se exploran los cinco centímetros proximales o su unión con la vena femoral común. Este vaso se debe examinar en detalle cuando los síntomas sugieren una trombosis de la vena safena mayor (“cordón” subcutáneo palpable y doloroso). Para este examen se requiere un transductor de alta frecuencia (7 a 10 MHz) focalizado superficialmente y con una presión suave, una presión excesiva oblitera la luz de la vena y la hace invisible. Lo mas eficaz para examinar la vena safena es observarla con compresión transversal.<sup>14</sup> (Figura 24)



**Fig. 24. Imagen con Doppler color de la vena safena mayor.**

#### 5. Paso IV. Segmento Poplíteo:

Con el transductor en una posición posteromedial se inicia visualizando el eje longitudinal de la vena poplíteo y se asciende hacia el canal aductor, para examinar la parte distal de la vena femoral superficial. La vena poplíteo se sitúa superficial respecto de la arteria poplíteo. Se continúa el examen con el eje longitudinal hacia la parte inferior hasta que la vena poplíteo se bifurca en los troncos tibial posterior y peroneo. Después se regresa a la parte superior del espacio poplíteo y se comprueba la permeabilidad de la vena poplíteo.<sup>14</sup> (Figura 25)



**Fig. 25. Imagen longitudinal con ultrasonido Doppler color de los vasos poplíteos, donde la vena se encuentra superficial a la arteria.**

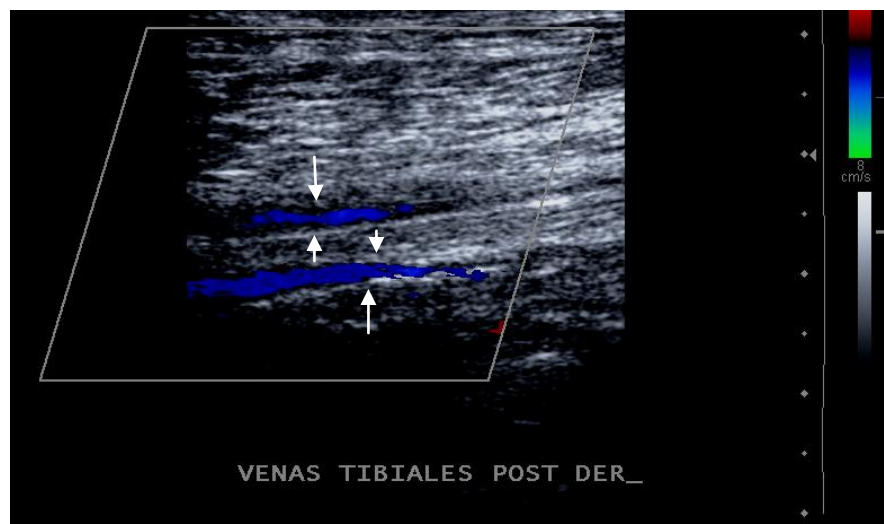
#### 6. Paso V. Venas pares de la pierna:

Existen dos vías de acceso para el estudio de las venas de la pantorrilla: Se puede comenzar en la rodilla o en el tobillo.<sup>14</sup>

Se inicia el examen con compresión transversal y se puede completar con imágenes de flujo en color del eje longitudinal. Generalmente, el flujo sanguíneo no es espontáneo en las venas de la pantorrilla y debemos aumentarlo periódicamente mediante la compresión del pie o de la parte inferior de la pantorrilla.<sup>14</sup>

Los accesos recomendados para las tres principales venas de la pantorrilla son los siguientes:

**Venas tibiales posteriores:** Estas venas se sitúan posteromediales a la tibia y se ven desde la parte posteromedial de la pierna. Se van haciendo más superficiales hacia el tobillo. En la parte alta de la pantorrilla las venas pares tibiales posteriores se unen para formar un tronco común denominado tronco tibial posterior.<sup>14</sup> (Figura 26)



### **Fig. 26. Imagen de las venas tibiales posteriores (flechas).**

**Venas peroneas:** Son profundas respecto a las venas tibiales posteriores se ven si la pantorrilla no es demasiado grande o está edematosa.

**Venas tibiales anteriores:** Se ven desde un acceso anterolateral con el transductor colocado entre la tibia y el peroné. Las ramas tibiales anteriores son pequeñas y es infrecuente la trombosis aislada en este sistema.<sup>14</sup>

#### **7. Paso VI. Venas Gastrocnemias y Soleas:**

Las venas gastrocnemias son ramas de la vena poplítea, están localizadas en la cabeza medial del músculo gastrocnemio. Estas venas tienen una dirección pósteroinferior. Las venas soleas son difíciles de reconocer y tienen orientación lateral y están en la parte inferior de la pantorrilla.

## **B. EXAMEN ARTERIAL**

### **a. Técnica:**

Tanto en el estudio convencional en escala de grises como en la imagen Doppler-color de las arterias de la extremidad inferior, se emplea la imagen en modo B o en color para identificar la arteria a estudiar y facilitar la posición correcta del volumen muestra. La imagen es útil para reconocer variantes anatómicas y para identificar la enfermedad arterial (placa de ateroma, calcificaciones). No ha sido posible, sin embargo, determinar el grado de estenosis arterial solo con la imagen en modo B o en color. Por tanto, la clasificación de la severidad de la enfermedad se basa principalmente en el análisis espectral con Doppler pulsado.<sup>15</sup>

Cuando se explora un segmento arterial es esencial evaluar el patrón de flujo en intervalos de espacio reducidos, debido a que las alteraciones del flujo producidas por una lesión arterial sólo se propagan por el vaso en una distancia corta. Trabajos experimentales han mostrado que los jets o chorros de alta velocidad (aumentos de la velocidad pico sistólica) y flujos turbulentos asociados a estenosis arteriales, prácticamente desaparecen a una distancia de pocos milímetros del vaso en cuestión. Así pues, la falta de identificación de alteraciones localizadas del flujo suelen ser bien aparentes con las imágenes Doppler-color, esta técnica permite que los volúmenes muestra del Doppler pulsado puedan ser obtenidos en intervalos de espacio más amplios. Aun así, es aconsejable valorar las características del flujo con el análisis espectral con Doppler (a intervalos cortos) en los vasos con enfermedad arterial extensa.<sup>15</sup>

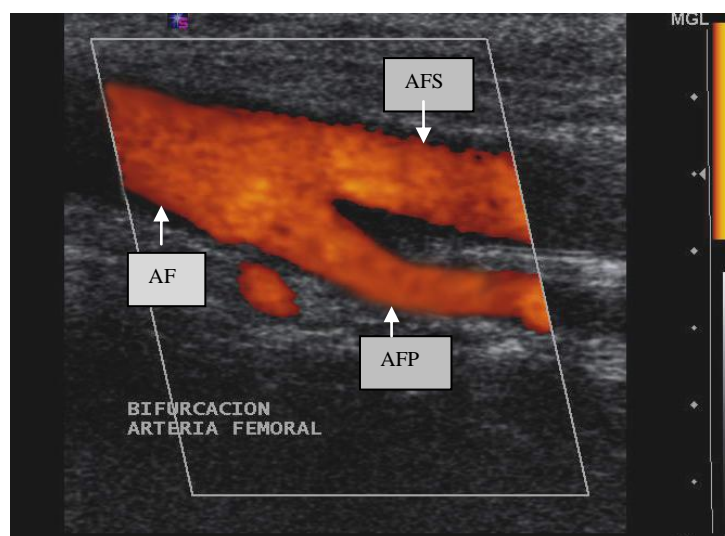
La longitud de los segmentos arteriales ocluidos puede determinarse con técnicas estándar o de Doppler-color, mediante la visualización del punto proximal de oclusión y del punto distal en el que el flujo vuelve a detectarse gracias a los vasos colaterales. Debido a que la velocidad de flujo distal a un segmento ocluido puede ser baja, es importante ajustar

correctamente el sistema Doppler color para que pueda detectar velocidades de flujo bajas.

Para una completa evaluación arterial de la extremidad inferior, se debe comenzar el estudio en la porción superior de la aorta abdominal. Para estudiar la aorta se emplea un abordaje anterior y en la línea media, situando el transductor inmediatamente por debajo del apéndice xifoides. Tanto las imágenes ecográficas como las señales Doppler se obtienen mejor en el plano longitudinal de la aorta, aunque los cortes transversales son útiles para definir relaciones anatómicas. Se sigue la aorta distalmente hasta su bifurcación, explorándose cada arteria iliaca por separado hasta llegar a la ingle.<sup>15</sup>

Cada extremidad inferior se explora por separado, empezando por la arteria femoral común y siguiendo hacia abajo. Tras estudiar las arterias femorales por todo el muslo, suele ser bastante útil colocar al paciente en posición de decúbito prono para explorar las arterias poplíteas. Puede resultar difícil valorar completamente las arterias tibiales y peronea, pero suelen visualizarse con la imagen en Doppler color. Estos vasos se exploran mejor de dos formas: (1) identificando sus orígenes desde la arteria poplítea y haciendo un barrido hacia abajo; o (2) buscando estas arterias a nivel del tobillo para luego hacer un barrido hacia arriba. Existen ramas de gran calibre, que se originan en las arterias femoral superficial distal y poplítea, que también pueden observarse con ultrasonidos (sobre todo con Doppler-color) y que representan los vasos de la red arterial de la rodilla y las arterias surales.

Las ondas espectrales registradas con un cursor Doppler se obtienen a partir de cualquier segmento en el que existan velocidades aumentadas o alteraciones del flujo detectadas por Doppler color. Los registros de ondas espectrales también deben obtenerse en las siguientes localizaciones: (1) aorta proximal y distal; (2) arterias iliacas comunes, internas y externas; (3) arterias femorales común y profunda; (4) arteria femoral superficial (segmentos proximal, medial y distal); (5) arteria poplítea; (6) arterias tibiales a nivel de su origen en la poplítea o a nivel del pie.<sup>15</sup> (Figura 27)

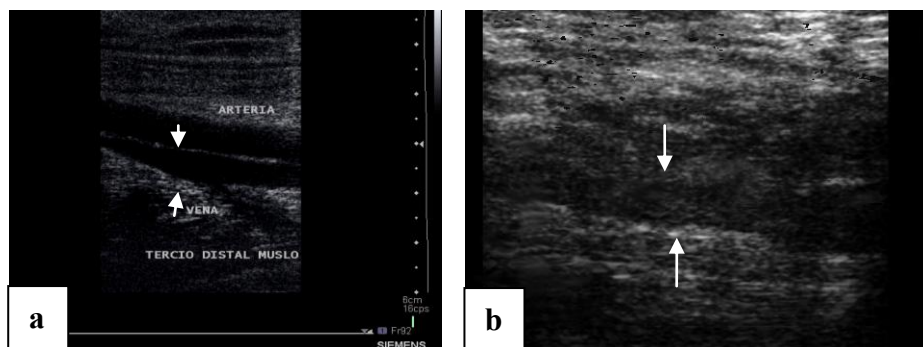


**Fig. 27. Bifurcación de la arteria femoral (AF), en arteria femoral superficial (AFS) y profunda (AFP).**

## VIII) CARACTERISTICAS ULTRASONOGRAFICAS DE LA IMAGEN DE LAS VENAS NORMALES

### A. ESCALA DE GRISES

La luz de la vena normal, no tiene ecos en la escala de grises y la superficie interna de la pared venosa es lisa. La pared es tan delgada, a veces imperceptible. En aparatos de alta resolución se puede ver flujo sanguíneo en la imagen en modo B y en estos casos, la luz venosa es de débil a moderadamente ecogénica. Se puede diferenciar del trombo por que se ve con facilidad el movimiento de la sangre, mientras que el trombo esta fijo.<sup>16</sup> (Figura 28 a y b)

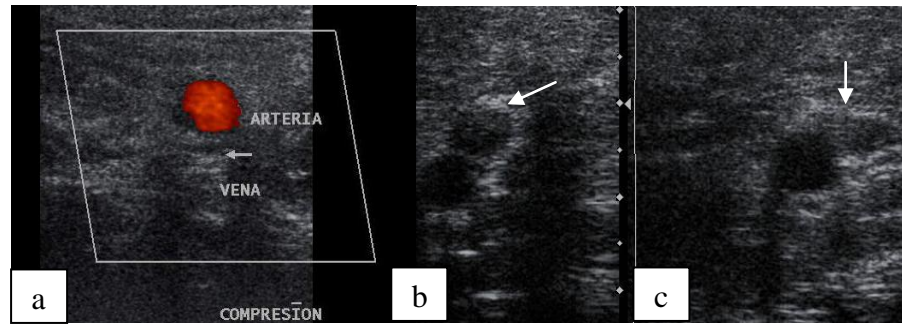


**Fig. 28 a. Vena femoral en escala de grises, donde se visualiza la pared delgada (flechas) b. Vena con imágenes hipoeoicas en la luz que representan trombos (flechas).**

En la luz de las venas son numerosas las válvulas que solo permiten el flujo con dirección cefálica. En general, el número de válvulas aumenta de proximal a distal. Los senos valvulares son áreas luminales ensanchadas que alojan cúspides valvulares. Las dos cúspides que constituyen la mayoría de las válvulas son finas y de aspecto delicado. Los extremos libres de las cúspides se mueven libre y simétricamente dentro del flujo.<sup>16</sup>

#### a. Compresibilidad:

Las venas tienen paredes finas y se mantienen abiertas primariamente por la presión de la sangre dentro de la luz, por lo cual la luz de la venas se puede obliterar con una pequeña presión extrínseca. Esta observación es de importancia diagnóstica y explica porque las paredes no se comprimen cuando la luz contiene un trombo. (Figuras 29 a y b).



**Fig. 29. Imagen de Doppler color en corte transversal de la vena femoral superficial distal a. Con compresión en la vena normal desaparece el flujo (flecha), b y c. Imágenes en escala de grises en una vena con trombo con y sin compresión (flechas) en donde no hay cambios (flecha)**

La compresibilidad de la vena se comprueba mejor en corte transversal al eje de la vena. En las imágenes del eje longitudinal se pueden producir falsas impresiones de compresibilidad, debido a que la vena se puede deslizar durante la compresión y desaparecer de la imagen.<sup>16</sup>

#### **b. Tamaño de la vena:**

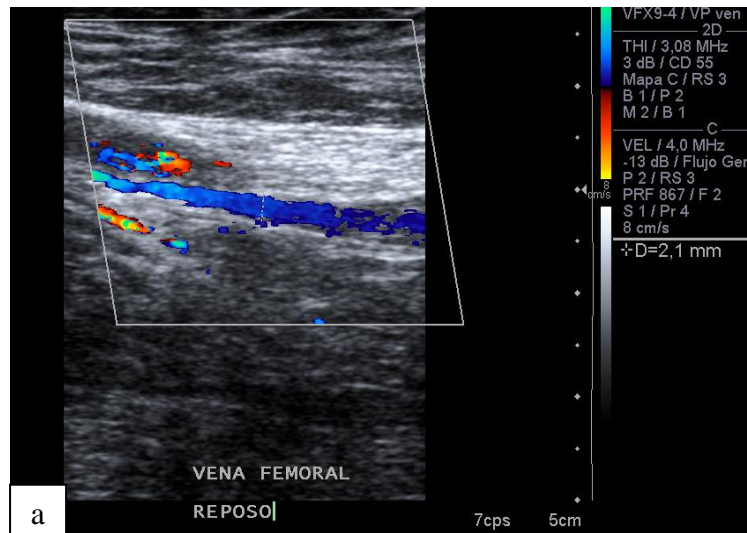
Cuando la vena es mucho más grande que la arteria y ese tamaño no varía con la respiración se debe sospechar una trombosis, ya que el trombo distiende la luz de la vena. El tamaño de la vena también puede aumentar por la presión aumentada retrograda de una insuficiencia cardiaca congestiva, una obstrucción venosa proximal o un reflujo venoso. Además ciertas venas como las peroneas, soleas y gastronecmias normalmente son grandes. Por lo que el agrandamiento no puede ser el único criterio para diagnosticar una trombosis venosa.<sup>16</sup>

Un tamaño pequeño de las venas puede ser la manifestación de un antiguo episodio de trombosis venosa, pero este tampoco es el único criterio de diagnóstico de esta anomalía. Si el paciente está deshidratado o con severa vasoconstricción, las venas pueden ser más pequeñas de lo normal.<sup>16</sup>

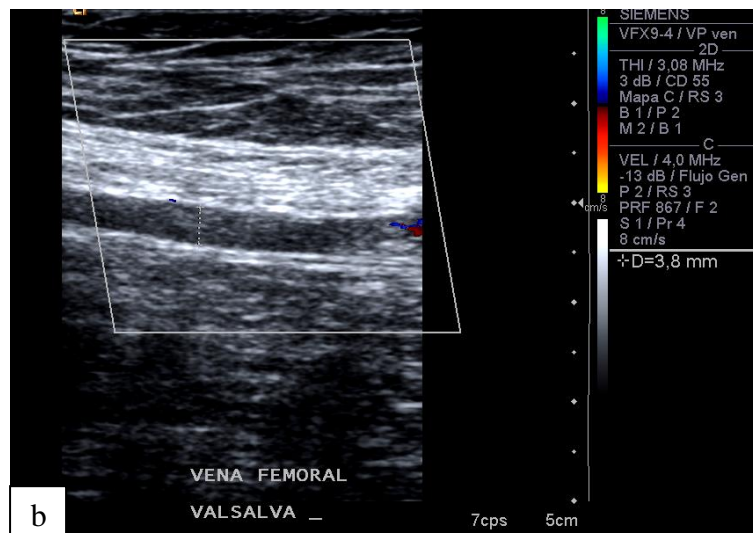
#### **c. Cambios respiratorios:**

El diámetro de las venas más grandes (vena femoral) aumenta con la inspiración profunda o con la maniobra de Valsalva. Estos cambios relacionados con la respiración indican que el sistema venoso es permeable proximalmente respecto al punto de examen.<sup>16</sup> **(Figuras 30 a y b)**





**Fig. 30a. Diámetro anteroposterior, de la vena femoral en reposo (2.1 mm).**



**Fig. 30 b. Medida de la vena femoral con la maniobra de valsalva, en donde observamos aumento del diámetro anteroposterior (3.8 mm).**

## B. DOPPLER COLOR

El flujo sanguíneo en las venas normales, tiene cinco características:

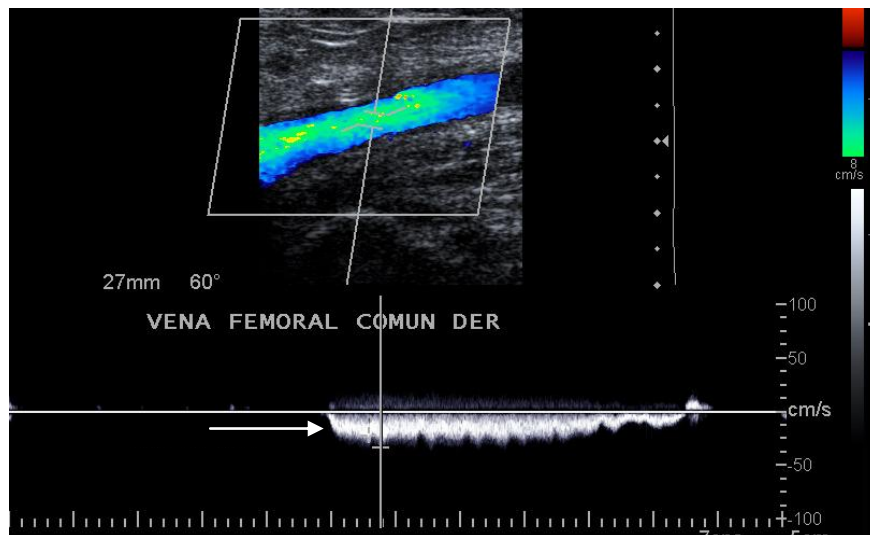
### a. Flujo Espontáneo:

Con el paciente en reposo normalmente hay flujo en las venas de tamaño grande y mediano. La ausencia de flujo espontáneo puede ser la consecuencia de una trombosis en la zona del examen o de una obstrucción proximal o distal a ese punto. A menudo el flujo no es espontáneo en las

venas pequeñas normales, como las ramas pares tibiales de la pantorrilla, las venas del pie o de la mano.<sup>16</sup>

**b. Flujo Fásico:**

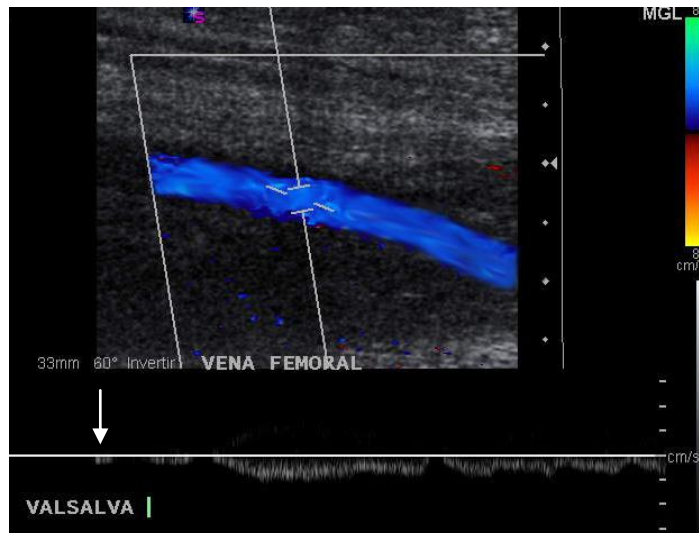
El flujo venoso normal es fásico, lo que significa que la velocidad de la sangre cambia en respuesta a una respiración tranquila y a las pulsaciones cardiacas. Los cambios fásicos de la velocidad son evidentes en la imagen Doppler en color, el espectro Doppler y en la señal Doppler audible. El espectro Doppler y la señal audible son los mejores medios para evaluar el patrón de flujo fásico ya que las anomalías sutiles son más aparentes en ellos que en la imagen Doppler color. Cuando no hay patrón fásico, el flujo se describe como continuo e indica la presencia de una obstrucción sustancial proximal o algunas veces distal a la zona de estudio Doppler y la sangre corre a través de pequeñas ramas colaterales o canales recanalizados y pierden los cambios fásicos. El patrón fásico puede persistir cuando el trombo no obstruye totalmente la luz de la vena por lo tanto el patrón de flujo fásico no excluye completamente un trombosis venosa pero si excluye un trombo que ocluye la totalidad de la luz del vaso.<sup>16</sup> (Figura 31).



**Fig. 31. Flujo fásico espontáneo. La velocidad del flujo varía con la respiración y a la contracción de la aurícula derecha.(flecha)**

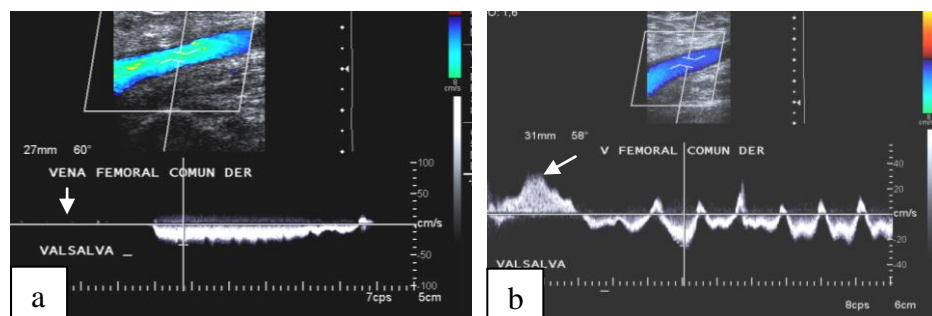
**c. Respuesta a la maniobra de valsalva:**

La inspiración profunda seguida de una presión hacia abajo (maniobra de valsalva), da como resultado el cese brusco del flujo sanguíneo en las venas grandes y medianas.<sup>16</sup> (Figura 32).



**Fig. 32. Espectro normal venoso, en la maniobra de Valsalva no se observa reflujo (flecha).**

Esta importante respuesta documenta la permeabilidad del sistema venoso en toda su extensión. Aunque el cese del flujo es visible en las imágenes de Doppler en color, la respuesta al Valsalva se evalúa mejor en la imagen del espectro Doppler o con la señal Doppler audible. La maniobra de Valsalva es particularmente útil para confirmar la permeabilidad de aquellos segmentos del sistema venoso que no se pueden examinar de forma directa. Sin embargo se debe hacer notar que una respuesta anormal a la maniobra de Valsalva se produce solo en una obstrucción venosa sustancial. Se puede observar una respuesta normal si la luz de la vena solo esta parcialmente bloqueada. <sup>16</sup> (Figura 33)



**Fig. 33 a. El aumento de la presión intraabdominal hace cesar el flujo venoso (flecha), las válvulas son competentes por que no hay flujo retrógrado; b. Existe flujo retrógrado (flecha).**

El reflujo se mide y se puede valorar la severidad en una escala de 0 a 3:<sup>17</sup>

0 = No hay reflujo

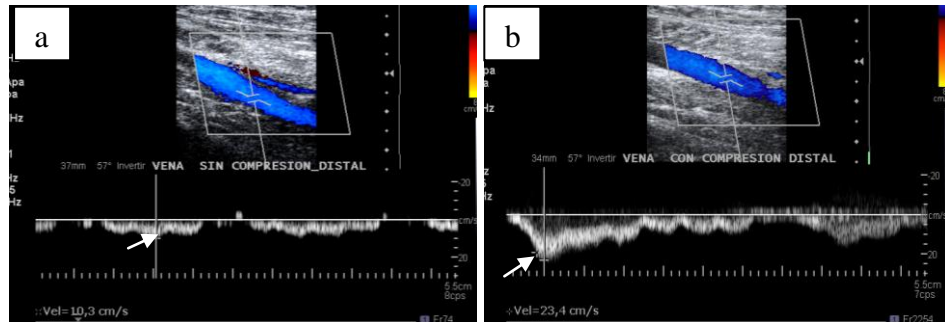
1 = Reflujo leve (< 10 cm. /seg.)

2 = Reflujo moderado (<15 cm. /seg.)

3= Reflujo severo ( 15 cm./seg.)<sup>17</sup>

#### d. Aumento en la compresión distal:

La compresión manual de la extremidad en la zona distal al lugar en que se realiza el examen Dúplex aumenta el flujo venoso. El chorro de sangre resultante queda reflejado como un aumento brusco del cambio de frecuencia Doppler.<sup>18</sup> (Figura 34).

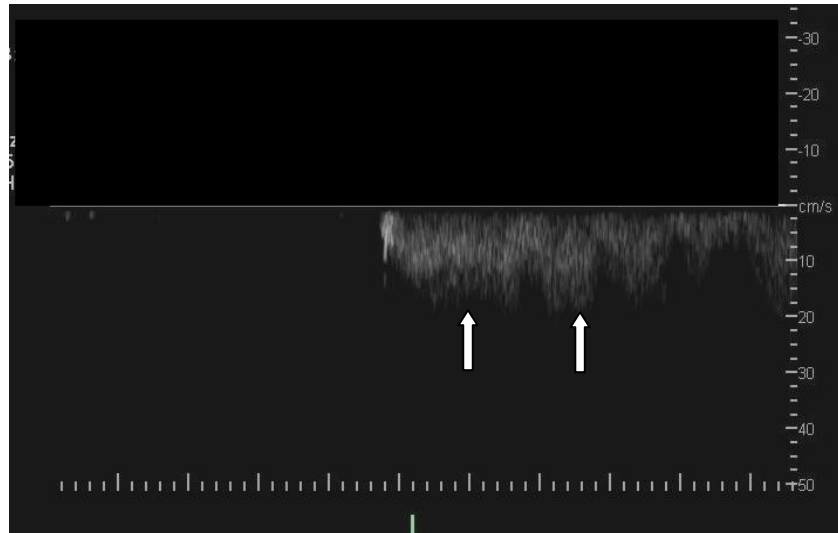


**Fig. 34 a. Imagen sin compresión distal de la vena (flecha) y b, vena con compresión distal donde se aprecia cambios en el flujo (flecha).**

Esta respuesta confirma una adecuada permeabilidad de las venas entre el lugar del examen Doppler y el lugar de la compresión venosa. La ausencia de esta respuesta indica una obstrucción importante al lugar del examen Doppler. Un aumento retrasado o débil indica una obstrucción distal incompleta o evitada por colaterales. Hay que notar que el aumento puede ser normal cuando una vena está parcialmente obstruida. Los efectos del aumento son visibles en las imágenes de Doppler en color, pero si el aumento es el adecuado se evalúa mejor en el espectro Doppler o en las señales audibles de Doppler.<sup>18</sup>

#### e. Flujo Unidireccional:

En el sistema venoso normal la sangre fluye solo hacia el corazón porque las válvulas impiden el flujo en la dirección opuesta (flujo retrogrado). Normalmente las válvulas funcionantes se describen como competentes y las válvulas que permiten el flujo retrogrado se describen como incompetentes. La incompetencia valvular se diagnostica demostrando el flujo retrogrado en respuesta a la maniobra de Valsalva, o por compresión manual proximal al lugar del examen Duplex.<sup>4</sup> El reflujo se valora mejor en la imagen con Doppler color y se documenta con el análisis del espectro Doppler.<sup>18</sup> (Figura 35).



**Fig. 35. Espectro venoso normal con flujo unidireccional retrógrado (flechas).**

## IX) CARACTERISTICAS ULTRASONOGRAFICAS DE LAS ARTERIAS NORMALES

### A. ESCALA DE GRISES

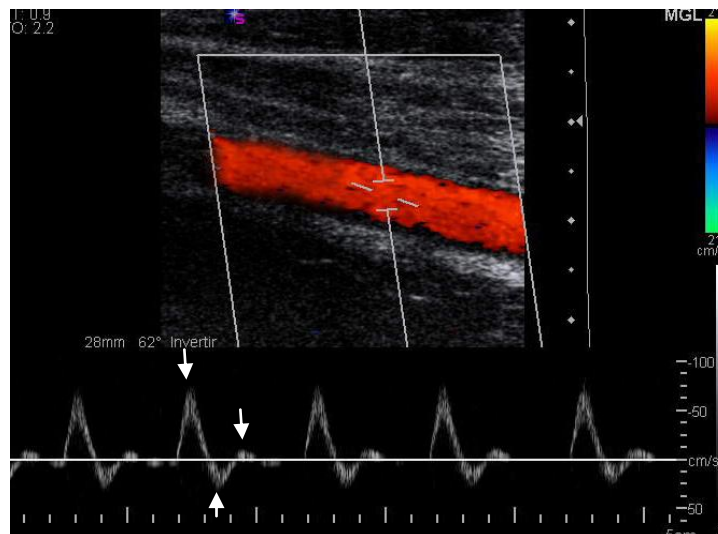
a. Aunque las arterias pueden localizarse en las imágenes en escala de grises, el Doppler color es superior para identificarlas con rapidez y establecer su permeabilidad. La resolución de la escala de grises es excelente para ver las arterias pequeñas y para demostrar hiperplasia y calcificaciones.

b. Las arterias normales son estructuras tubulares anecoicas con una pared ecogénica.

c. Pueden demostrarse estenosis vasculares, pero para ver el porcentaje de estenosis es necesario el análisis espectral, empleando las velocidades sistólicas para clasificar los grados de estenosis.<sup>19</sup>

### B. ONDA DOPPLER

a. La curva característica es trifásica y la velocidad máxima va disminuyendo en sentido distal. **(Figura 36).**



**Fig. 36. Espectro trifásico en la arteria femoral (flechas).**

b. Después del flujo anterógrado de alta velocidad durante la sístole cardiaca hay una fase breve de inversión del flujo al inicio de la diástole y una fase diastólica final de flujo anterógrado lento.

c. El flujo invertido se debe a las altas resistencias vasculares periféricas en las extremidades inferiores.

d. El componente de flujo invertido disminuye con el ejercicio o la hipermia reactiva al disminuir las resistencias periféricas.

e. El flujo invertido puede desaparecer en extremidades normales por la vasodilatación que acompaña a la hiperemia reactiva o el aumento de temperatura de las extremidades.

**Tabla 2 . Valores Normales de la Velocidad Sistólica Máxima.** <sup>19</sup>

<b>Arteria</b>	<b>Media cm./seg.</b>	<b>DE</b>
- Aorta	76	17
- Iliaca Común	111	17
- Iliaca Externa	112	49
- Femoral Común	90	41
- Femoral Superficial Proximal	89	23
- Femoral Superficial Media	83	25
- Femoral Superficial Distal	74	21
- Poplítea	59	12

**C. DOPPLER COLOR**

- a. En las arterias periféricas hay un patrón de flujo laminar típico.
- b. Permite seguir el trayecto arterial.
- c. Si los parámetros técnicos son correctos el color rellena toda la luz del vaso de pared a pared.

## **X) FISIOPATOLOGIA DE LA TROMBOSIS VENOSA**

No se conocen por completo los mecanismos de formación de los trombos en el sistema venoso. Una teoría los relaciona con la estasis venosa y postula que los trombos se empiezan a formar en la sangre estancada en los senos de las válvulas venosas. Las corrientes espirales alrededor de las cúspides valvulares dañarían el endotelio y ello haría crecer el trombo depositado en esa zona. Las contracciones musculares pueden movilizar estos pequeños trombos. Sin embargo, puede adherirse un foco al endotelio valvular que sirve de nido para la propagación del trombo, el cual puede crecer hasta tal punto que rellene por completo la luz venosa.<sup>20</sup>

Otras causas de daño endotelial (traumatismos, cirugía, colocación de catéteres intravenosos) conducen a una proliferación de fibrina y plaquetas en la zona de la lesión que lleva a la formación del trombo. Inicialmente este solo está unido a la vena en el lugar de origen, por lo que es un trombo no oclusivo que flota libremente y que puede embolizar. Entre los individuos de riesgo para la formación de trombos están las gestantes, los ancianos, las personas encamadas y los que han sufrido traumatismos o intervenciones quirúrgicas.<sup>20</sup>

La consecuencia más peligrosa de la trombosis venosa profunda es la embolia del pulmón. El embolismo pulmonar es poco frecuente cuando los trombos están localizados en las venas de las pantorrillas, pero su prevalencia es mucho mayor.<sup>20</sup>

La ecografía es la principal técnica de imagen para detectar una trombosis venosa. En los primeros días después de su formación los trombos hipocogénicos, con el tiempo el tiempo se hacen más ecogénicos y los cambios adicionales que se producen permiten que en la mayoría de los pacientes se pueda determinar la edad del trombo. Para detectar el trombo y evaluar su edad se requiere estar familiarizado con los hallazgos ecográficos que se describirán más adelante en trombosis aguda, subaguda y crónica.<sup>21</sup>

### **A. TROMBOSIS AGUDA:**

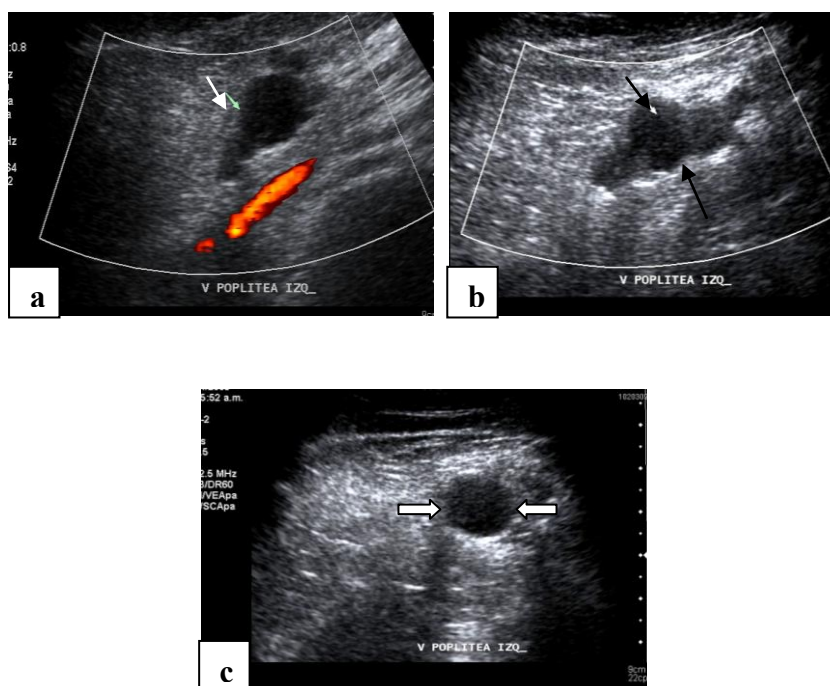
Se refiere a un trombo que tiene de días a quizás uno o dos semanas de edad. Los trombos en este intervalo de edad se identifican por los siguientes hallazgos ecográficos:<sup>21</sup>

- a. **Ecogenicidad baja:** Los trombos formados recientemente solo generan ecos de bajo nivel y pueden ser virtualmente anecoicos, por su baja ecogenicidad puede ser difícil visualizar trombos pequeños y no oclusivos.
- b. **Distensión venosa:** Generalmente la vena que se ha trombosado recientemente está distendida hasta un tamaño anormalmente grande. La excepción de esta regla se produce cuando el trombo es pequeño y no oclusivo.
- c. **Pérdida de la compresibilidad:** Cuando está presente un trombo de cualquier edad al comprimir la vena no se puede obliterar su luz. La ausencia de la compresibilidad de la vena



es quizás el hallazgo individual mas fiable para diferenciar entre venas trombosadas y normales. Sin embargo solo se puede excluir el trombo cuando la compresión produce una desaparición completa de la vena. Si la vena no se colapsa completamente, la luz puede estar parcialmente rellena por trombos.

- d. **Trombo flotante libre:** El extremo proximal del trombo agudo puede que no se adhiera bien a la pared venosa y en tales casos, se dice que el trombo flota libremente dentro de la luz.
- e. **Anormalidad de la señal Doppler:** La respuesta a la Valsalva esta disminuida o ausente. Los trombos localizados que son parcialmente oclusivos pueden no afectar la señal del flujo.
- f. **Colateralización:** Los canales venosos colaterales se agrandan rápidamente durante la fase aguda de la trombosis venosa y a menudo, estos canales son visibles durante el examen ecográfico. La colateral puede estar localizada adyacente a la vena trombosada o a mas distancia, ya que otras venas asumen la función de la vena ocluida. (Figuras 37 a, b y c).



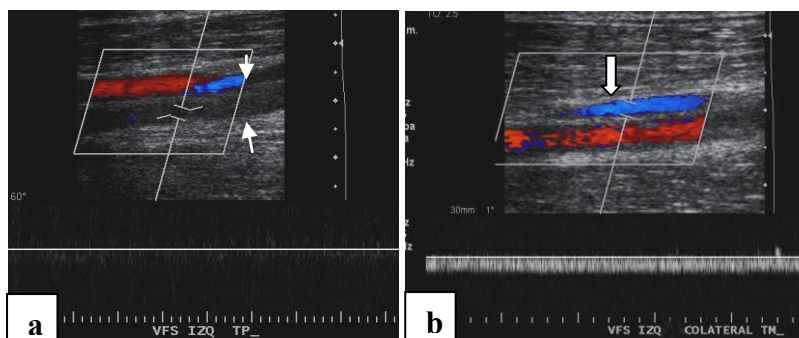
**Fig. 37. a. Se aprecia un trombo con ecogenicidad baja (flecha blanca), b. En el sitio del trombo, se observa aumento del diámetro de la vena (flechas negras), c. Perdida de la compresibilidad a la presión con el transductor (flechas).**

#### **B. TROMBOSIS SUBAGUDA:**

Es cuando el trombo tiene de semanas a 1- 2 meses de edad. La transición del trombo formado recientemente (agudo) a subagudo se produce de forma gradual y todas las anomalías ecográficas referidas en la trombosis reciente persisten en algún grado en la fase subaguda.

Cuando el trombo envejece, se retrae o se lisa y sin embargo, se pueden ver los siguientes cambios.<sup>21</sup>

- a. **Aumento de la ecogenicidad:** Gradualmente el trombo se va haciendo más ecogénico.
- b. **Disminución del tamaño del trombo:** La retracción y la lisis pueden reducir notablemente el tamaño del trombo, por lo que el trombo cada vez ocupa menos la luz venosa.
- c. **Tamaño venoso reducido con la retracción y la lisis del trombo,** la vena esta menos distendida y vuelve a su calibre normal. Si la vena no se recanaliza puede reducir su volumen cuando el trombo se retrae y se convierte en cicatriz.
- d. **Adherencia del trombo:** El trombo puede adherirse a la pared venosa.
- e. **Reanudación del flujo:** Con la retracción y la lisis del trombo, generalmente disminuye la obstrucción al flujo sanguíneo, lo que se revela en la reaparición del flujo en el examen con Doppler color. Sin embargo, no todas las venas trombosadas se recanalizan, algunas se ocluyen de forma permanente.
- f. **Colateralización:** Generalmente se forman en la fase aguda de la trombosis y permanecen visible durante la fase subaguda. **(Figuras 38 a y b)**



**Fig.38. a. Trombo subagudo moderadamente ecogénico (flechas), b. vaso colateral (flecha).**

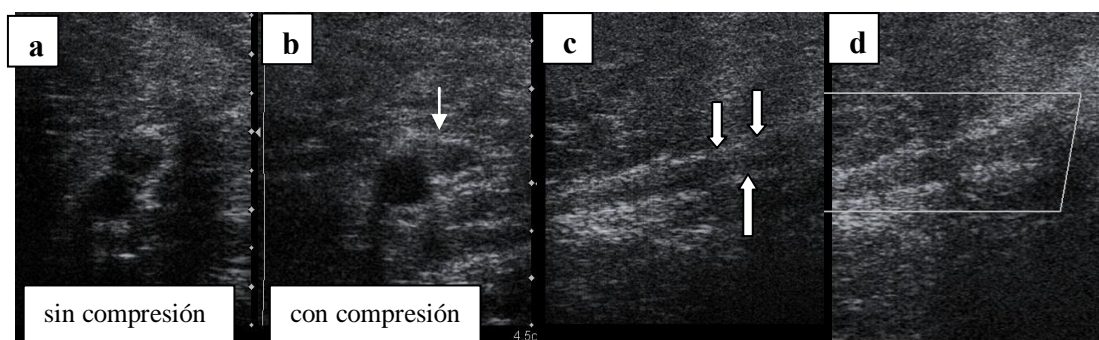
### C. CICATRIZ TROMBÓTICA CRÓNICA:

La fase crónica de la trombosis venosa se define como el periodo de meses o años después del episodio agudo. Los trombos que no se lisan por medios naturales o terapéuticos, son invadidos por fibroblastos y llegan a organizarse como tejido fibroso que persiste de forma indefinida. La lisis completa del trombo venoso se produce en solo el 20% de los casos. En la fase crónica se visualizan las siguientes anomalías:<sup>21</sup>

- a. **Material intraluminal ecogénico:** Generalmente se ve de mayor ecogenicidad que el músculo adyacente.
- b. **Anormalidad valvular:** Se manifiesta por alteraciones de las cúspides como engrosamiento, adherencia de estas a la pared venosa, restricción de sus movimientos y fallo de aposición de

las mismas en el centro del vaso. Las consecuencias fisiológicas del daño valvular son el reflujo y una distensión venosa persistente como resultado del reflujo inducido por la presión retrograda. El reflujo puede dar lugar a várices (venas anormalmente grandes y tortuosas), edema crónico, cambios cutáneos y ulceración.<sup>21</sup>

- c. Anormalidades del flujo Doppler: Ausencia de flujo espontáneo y de la respuesta a la maniobra de Valsalva.<sup>21</sup>  
(Figuras 39 a, b y c)



**Fig. 39 a. Corte transversal de la arteria y vena poplítea, b. la vena no se comprime por trombo en el interior (flecha), c. En escala de grises el trombo se observa ecogénico en la luz de la vena (flechas), d. Con Doppler color no hay llenado vascular.**

#### D. TROMBOFLEBITIS SUPERFICIAL

La tromboflebitis superficial rara vez emboliza al pulmón y se suele tratar de forma sintomática a menos que se haya propagado al sistema venoso profundo.

La tromboflebitis superficial consiste en la trombosis e inflamación del sistema venoso superficial. Los cambios inflamatorios dominan el cuadro clínico, por lo que el tratamiento responde mejor a antiinflamatorios que a anticoagulantes. El diagnóstico se hace fácilmente cuando palpa un cordón venoso doloroso en la región subcutánea.

Suele deberse a la presencia de un catéter intravenoso o aparece por debajo de la rodilla en pacientes con venas varicosas. Otros factores predisponentes son las neoplasias malignas, las enfermedades del colágeno, las perfusiones intravenosas y el consumo de drogas. Los síntomas clínicos son la inflamación con enrojecimiento cutáneo, dolor espontáneo y a la palpación, un cordón venoso palpable e induración.

El trombo se puede extender al sistema venoso profundo si esta próximo a la unión safenofemoral.

- Características en escala de grises: Edema, dilatación de las venas superficiales y trombo de ecogenicidad variable.
- Características de la onda Doppler: Ausencia de señales venosas y señales arteriales prominentes asociadas a la inflamación.
- Características en el Doppler-color: Ausencia de flujo en color en la luz venosa y defectos de repleción con trombosis parcial.<sup>22</sup>

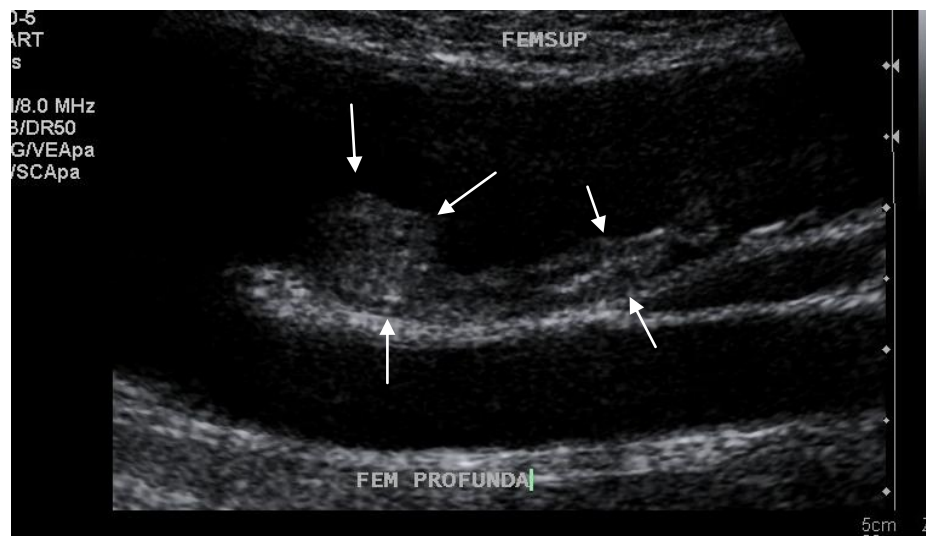
## XI) FISIOPATOLOGIA DE LAS LESIONES ARTERIALES

### A. GENERALIDADES

La aterosclerosis de las extremidades inferiores puede dividirse en tres grandes grupos según el segmento afectado: aortoiliaco, femoropoplíteo y tibioperoneo. La oclusión de las arterias aortoiliacas produce un flujo colateral a través de las arterias lumbares, que sea anastomosan distálmente con ramas de las arterias glúteas y femoral profunda. Este flujo colateral es suficiente para impedir la isquemia en reposo. Los síntomas de claudicación aparecen solo durante el ejercicio e incluyen un dolor intermitente en la pantorrilla, el muslo y las nalgas, así como grados variables de impotencia en los varones. La localización mas frecuente de la aterosclerosis en las extremidades inferiores es la arteria femoral superficial distal en el canal de los aductores. La estenosis y la oclusión de la arteria femoral superficial producen claudicación de la pantorrilla con el ejercicio moderado pero no da síntomas en reposo. La progresión a la oclusión se produce muy lentamente. La estenosis y la oclusión de las arterias tibiales es más marcada en los diabéticos y en la enfermedad de Buerger.<sup>23</sup>

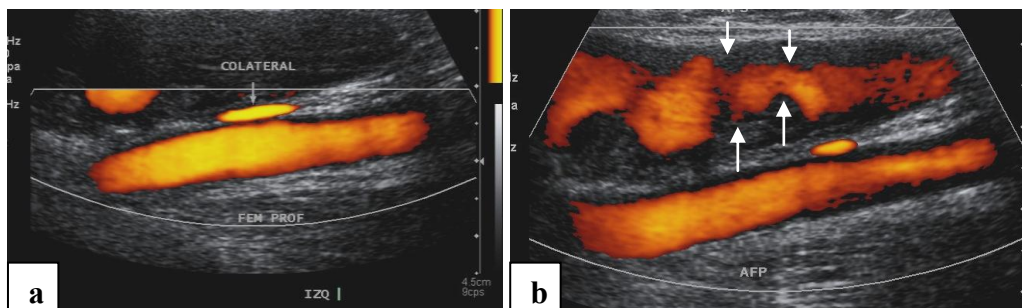
#### a. Características en la escala de grises:

1. La visualización de las arterias puede verse obstaculizada por las calcificaciones vasculares, el gas intestinal, la tortuosidad vascular, el hábito corporal y el flujo lento.
2. Las arterias iliacas pueden no verse lo suficientemente bien como para excluir una lesión.
3. La arteria femoral superficial puede ser difícil de valorar a la altura del canal de los aductores (uno de los sitios mas frecuentes de estenosis). (Figura 40).



**Fig. 40. Placa de ateroma en la arteria femoral superficial (flechas).**

4. En el segmento entre la arteria femoral común y las arterias tibiales los vasos son más fáciles de ver, y aparecen como estructuras tubulares pulsátiles siguiendo el eje largo de la extremidad.
  5. Los vasos se van bifurcando progresivamente en sentido distal.
  6. Aunque pueden detectarse estenosis, se ven mejor con el Doppler color.
- b. Características de la onda Doppler:
1. Pérdida del flujo trifásico distal a la estenosis.
  2. La velocidad sistólica máxima esta disminuida por encima y por debajo de la estenosis.
  3. En el lugar de la estenosis hay un aumento de la velocidad sistólica y un ensanchamiento espectral
  4. Turbulencias postestenóticas.
- c. Características en el Doppler color:
1. Ayuda a localizar el vaso y a obtener el ángulo de exploración correcto.
  2. En las estenosis leves puede verse un cambio de los tonos de color.
  3. En caso de altas velocidades en las zonas de estenosis puede producirse Aliasing.
  4. Estrechamiento del canal de color con un patrón típico en mosaico.
  5. Al aumentar la severidad de la estenosis las velocidades diastólicas se elevan.
  6. Distálmente a la estenosis la curva es monofásica con un flujo continuo y una transición suave de colores desde los oscuros y saturados durante la diástole al blanco en la sístole y no hay inversión del flujo.
  7. Con Doppler color se ven vasos colaterales irregulares. (Fig. 41 a y b)

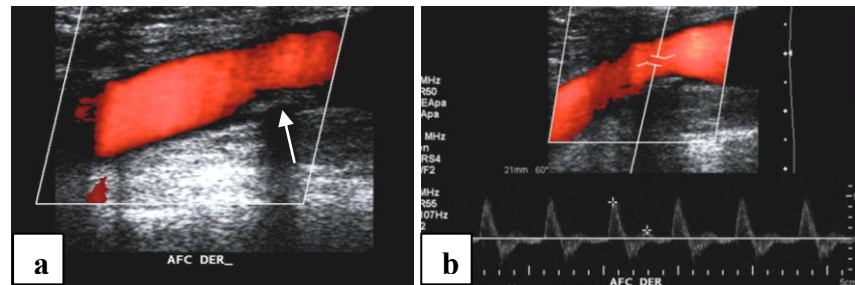


**Fig. 41 a. Doppler de potencia en donde se aprecia un vaso colateral, b. Con el Doppler de potencia se observa disminución de la luz del vaso (flechas).**

## B. CLASIFICACION DE LAS LESIONES ARTERIALES PERIFERICAS

a. Enfermedad mínima: Cuando la reducción del diámetro del vaso es del 1% al 19%.

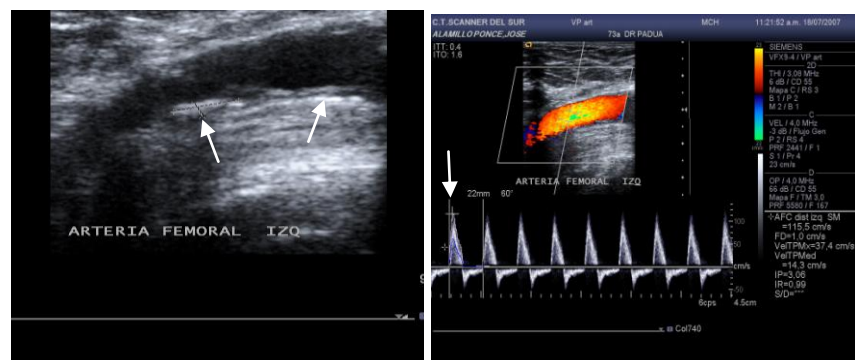
Curva con patrón trifásico y con mínimo ensanchamiento espectral; este mínimo ensanchamiento espectral se suele hallar al final de la sístole y en la diástole precoz. La velocidad pico sistólica aumenta menos de un 30% en relación con el segmento proximal adyacente; las curvas proximales y distales permanecen normales.<sup>23</sup> (Figuras 42a y b).



**Fig. 42 a. Imagen con Doppler color, donde se visualiza placa de ateroma en la arteria femoral (flecha), b. Arteria femoral, con espectro trifásico.**

b. Estenosis Moderada: Cuando la reducción del diámetro se encuentra entre el 20% y 49%.

La curva Doppler suele mantener la morfología trifásica, si bien la fase de reversión de flujo puede estar disminuida; existe un prominente ensanchamiento espectral con relleno del área situada por debajo del pico sistólico; la velocidad pico sistólica aumenta entre un 30% y un 100% en relación con el segmento proximal adyacente; las curvas proximales y distales permanecen normales.<sup>23</sup> (Figura 43 a y b)

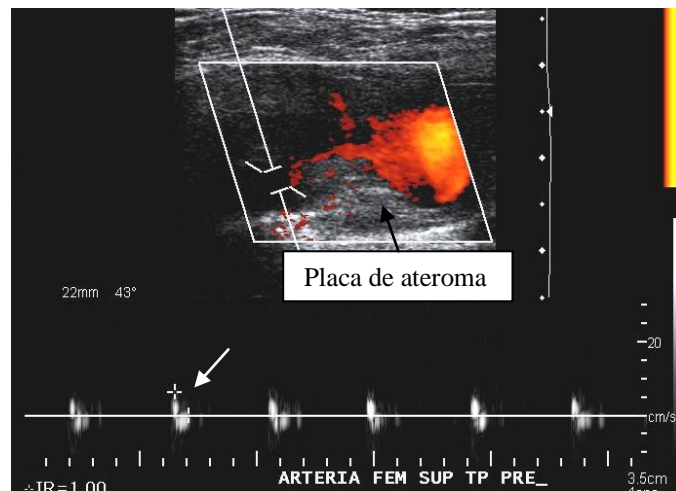


**Figura 43. a. Placas de ateroma en la arteria femoral. (flechas). b. Arteria femoral donde existe aumento de la velocidad picosistólica. (flecha)**

c. Estenosis de Alto Grado: Cuando la reducción del diámetro del vaso es del 50% al 99%.

La morfología de la curva es monofásica, no hay componente de reversión de flujo, existiendo durante todo el ciclo cardiaco un flujo anterógrado; existe un gran ensanchamiento espectral, aumentando la velocidad pico sistólica por encima del 100% en relación con el segmento proximal adyacente; la morfología de la curva distal es monofásica con velocidad sistólica reducida.<sup>23</sup>

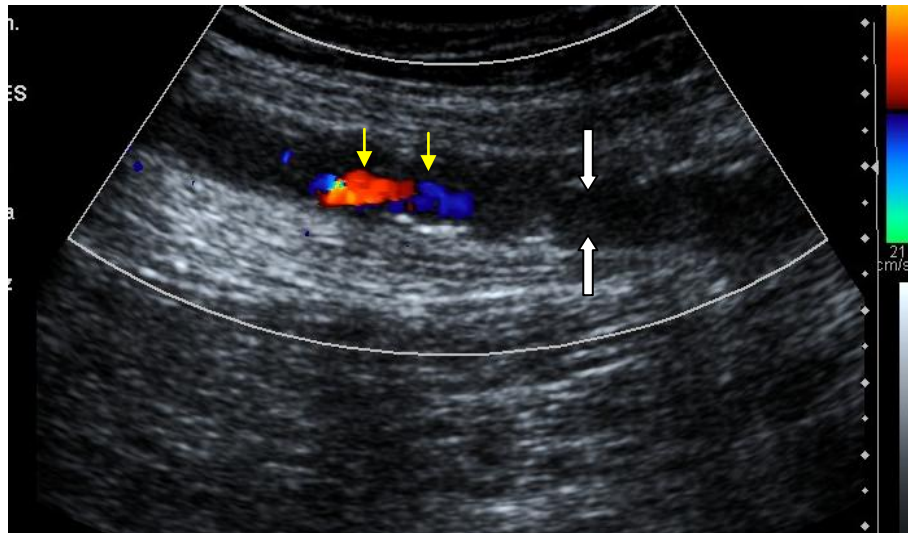
(Figura 44)



**Fig. 44 Espectro monofásico (flecha blanca), en una estenosis de alto grado (flecha negra).**

Una importante diferencia en el análisis espectral del Doppler y la imagen Doppler en color es que las curvas muestran enteramente la frecuencia y amplitud de la señal Doppler pulsada en un segmento específico, mientras que la imagen Doppler en color proporciona una estimación simple del cambio de frecuencia Doppler o de la velocidad de flujo para cada segmento dentro de la imagen. Por tanto, en realidad el análisis espectral del Doppler aporta considerablemente más información sobre el flujo en cada segmento específico que las imágenes Doppler color. La principal ventaja de la representación en color es que presenta información del flujo en toda la imagen, si bien la cantidad real de información para cada segmento es reducida.<sup>23</sup>

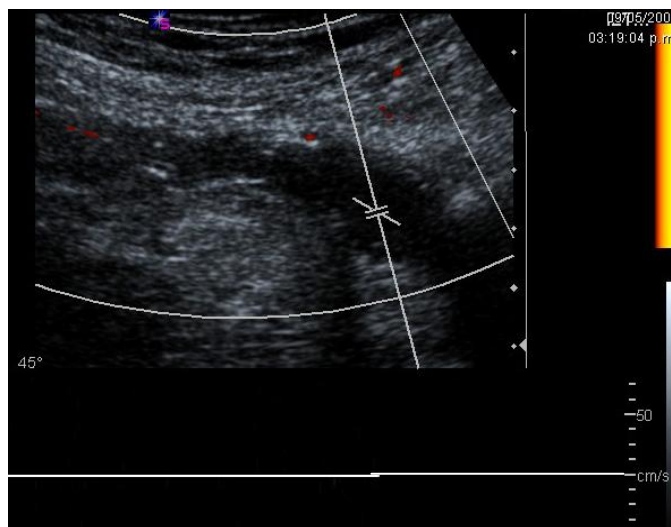
Las curvas espectrales poseen un amplio rango de frecuencias y amplitudes que permiten determinar la dirección del flujo y parámetros como las frecuencias media, modo y pico así como la anchura de banda. Por el contrario, las imágenes en color se basan en la dirección del flujo y en una estimación de la frecuencia media o aproximada. Por consiguiente, los cambios de frecuencia Doppler máximos registrados con las curvas espectrales suelen ser generalmente mayores que las frecuencias indicadas por las imágenes Doppler color. Debido a esta diferencia, las imágenes Doppler color pueden no poner de manifiesto algunos jets (chorros) de alta velocidad que si se evidencia con las curvas espectrales.<sup>23</sup> Identifica segmentos de estenosis que presentan cambios de color de alta velocidad.



**Fig. 45. Zona de estenosis en la arteria femoral. Se observa flujo con el Doppler-color en una pequeña zona del vaso (flechas amarillas), y en el resto del vaso se aprecian imágenes hipoeoicas (flechas blancas)**

**d. Oclusión arterial:** No se detecta flujo en el segmento arterial afectado; se puede auscultar un fuerte latido inmediatamente proximal al segmento ocluido; la morfología de la curva distal es monofásica con velocidad sistólica reducida.

La oclusión de un segmento arterial se caracteriza por no existir señal de flujo Doppler en la luz de un vaso claramente visible. Las curvas espectrales obtenidas distalmente a una estenosis de alto grado o a una oclusión completa suelen ser monofásicas y con velocidades sistólicas bajas. Las características de las curvas obtenidas proximalmente a una lesión estenótica son variables y dependen, principalmente, del estado de la circulación colateral. El muestreo Doppler proximal a una oclusión arterial muestra unas curvas espectrales con una velocidad pico sistólico muy baja y poco (o nada) de flujo durante la diástole.<sup>23</sup> **(Figura 46)**





**Fig. 46. Oclusión completa. No se detecta flujo en el segmento arterial**

La oclusión de las arterias de las extremidades inferiores puede ser aguda o crónica. La aguda suele producirse sin previo aviso y se puede deber a embolias, traumatismos o trombosis; en el plazo de horas puede progresar a necrosis isquémica. La oclusión aguda debe diagnosticarse y tratarse rápidamente. Los cinco signos característicos de la oclusión arterial aguda son: dolor, parálisis, parestesias, palidez y ausencia de pulso, y están presentes en cerca del 75-80 % de los casos. La oclusión arterial crónica suele deberse a aterosclerosis y afecta la aorta abdominal y las arterias ilíacas, femorales y poplíteas. Puede progresar gradualmente o de forma más acelerada en el caso de episodios trombóticos o traumáticos agudos. En los pacientes diabéticos la afectación suele ser más distal, en las arterias poplíteas y tibiales.<sup>24</sup>

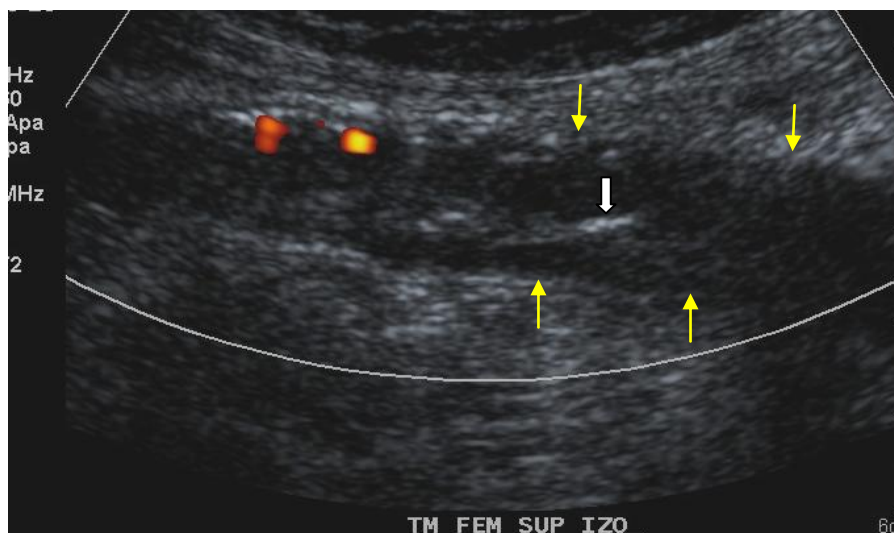
La tromboangiitis obliterante (enfermedad de Buerger) es una enfermedad inflamatoria que oblitera los vasos sanguíneos de las extremidades y conduce a isquemia y necrosis. Afecta fundamentalmente a las extremidades inferiores y es una de las causas más frecuentes de enfermedad crónica oclusiva.<sup>24</sup>

El Doppler duplex y en color puede valorar las arterias de las extremidades inferiores y establecer de un modo fiable el diagnóstico de oclusión. La ecografía en escala de grises y con Doppler color puede distinguir la oclusión de la estenosis en un 93 – 100 % de los casos.<sup>24</sup>

Los criterios para diagnosticar una oclusión completa son los siguientes:

- Flujo no detectable en un segmento del vaso.
- Flujo colateral de salida en el punto sospechado de la oclusión.
- Flujo colateral de entrada en la zona en que se reconstituye el flujo.
- Cambio en el análisis espectral distal a la oclusión, cuando se compara con el segmento proximal.

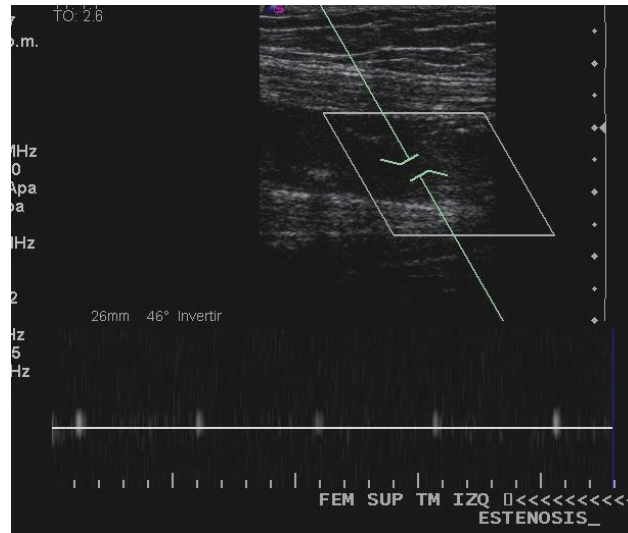
En la escala de grises y en el Doppler color el vaso se interrumpe bruscamente, pueden verse calcificaciones, ecos intraluminales o detritus en la luz del vaso ocluido. (Figura 47)



**Fig. 47. Estudio con Doppler color en donde no se observa flujo en el interior del vaso (flechas amarillas), y además existen pequeñas calcificaciones en la luz (flecha blanca)**

**Con la onda Doppler podemos observar:**

- 1. Ausencia de señal en el vaso ocluido. (Figura 48)**



**Fig. 48. Vaso sin señal Doppler Color.**

- 2. Ausencia de pulsos distales y de curvas espectrales si el flujo colateral no es importante.**
- 3. Si se ha establecido circulación colateral se ve un patrón de flujo colateral de baja velocidad con una relación diastólica alta distal al vaso ocluido.**
- 4. La entrada de flujo colateral en un vaso principal suele deberse a una estenosis de alto grado o una oclusión.**
- 5. Si la oclusión de un vaso ocurre en su bifurcación, puede no haber flujo colateral de salida.**

**Las características del Doppler color son:**

- 1. El vaso ocluido no tiene flujo en color.**
- 2. Pueden verse pequeños vasos adyacentes correspondientes a colaterales.**
- 3. Los vasos distales tienen una onda de baja amplitud y baja resistencia cuando hay circulación colateral.**
- 4. Si el flujo colateral es insuficiente no se ve flujo en color en los vasos distales a la oclusión.**
- 5. El Doppler color facilita la visualización de los canales colaterales (si son muy pequeños pasan desapercibidos en las imágenes en escala de grises).**

**La angiografía se considera el patrón de oro para diagnosticar la aterosclerosis de las arterias de las extremidades inferiores. El Doppler color puede ofrecer información de la pared arterial, la morfología de las placas y**

la hemodinámica, pero puede ser técnicamente difícil y exige tiempo. El Doppler se usa en pacientes con sospecha de patología arterial de las extremidades inferiores y para controlar los resultados de los procedimientos quirúrgicos e intervencionistas. La angiografía se reserva para los pacientes que han sido sometidos a reconstrucciones quirúrgicas o procedimientos intervencionistas.<sup>24</sup>

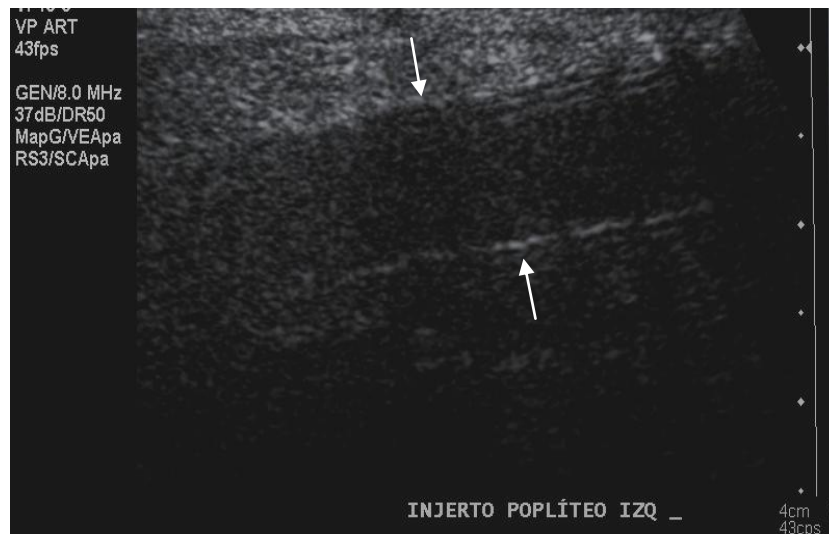
## XII) INJERTOS Y RECONSTRUCCIONES

La conservación de la extremidad, la gangrena, las úlceras que no curan y el dolor en reposo son las indicaciones más frecuentes de la revascularización distal de las extremidades inferiores. Se usan diversos injertos para la reconstrucción quirúrgica y la derivación de los vasos ocluidos. Los más empleados son los de dacrón y los de Teflón, que se colocan en el sector aórtofemoral, en las arterias femorales y en las poplíteas. También se emplean derivaciones extraanatómicas con injertos (axilo-femoral y fémoro-femoral). La mayoría de los injertos se colocan con anastomosis termino-terminales o termino-laterales. Pueden emplearse injertos venosos tanto protésicos como autólogos. El injerto autólogo de vena safena suele ser la referencia con la que se comparan otros injertos.<sup>25</sup>

La ecografía Dúplex combina el estudio de la zona de anastomosis con la valoración fisiológica de la velocidad sanguínea en la zona del injerto. La detección precoz de defectos del injerto antes de su oclusión permite la reparación con técnicas intervencionistas y puede evitar la cirugía o la pérdida del injerto. El Dúplex permite valorar la permeabilidad y la función del injerto. Un factor importante que influye en el fracaso de los injertos es el flujo de baja velocidad, que puede deberse a un flujo de entrada o de salida insuficientes, a errores técnicos en la anastomosis o a problemas intrínsecos del injerto. La medición de la velocidad en el injerto es útil en la valoración intraoperatoria y en la vigilancia postquirúrgica de los injertos in situ. Durante el periodo postquirúrgico el flujo típico es el de la hiperemia, con un componente anterógrado a lo largo del ciclo cardiaco y velocidades diastólicas finales relativamente altas. Un injerto maduro típico (después de dos meses de la cirugía), tiene un patrón típico de flujo arterial periférico trifásico. El injerto se valora en el periodo postquirúrgico a intervalos frecuentes durante dos años (la incidencia de estenosis del injerto disminuye pasado este tiempo). Si la velocidad sistólica máxima es menor de 45 cm/seg. indica un fallo inminente del injerto. Al año cerca del 5% de los injertos in situ sufren anomalías anatómicas o hemodinámicas que requieren corrección. La lesión más frecuente es la estenosis en la anastomosis por una hiperplasia miointimal. La presencia de una curva hiperémica (flujo anterógrado durante todo el ciclo cardiaco) y de una velocidad sistólica máxima mayor de 45 cm/seg. indican que el injerto es normal hemodinámicamente y que el riesgo que se trombose es bajo.<sup>25</sup>

### a. Características en la escala de grises:

1. El ecografista debe conocer el tipo de injerto para poder visualizarlo y seguirlo.
2. Los injertos sintéticos tienen paredes ecogénicas paralelas y el ultrasonido puede atravesarlos con dificultad.
3. Los injertos in situ siguen el trayecto normal del vaso y generalmente son superficiales. **(Figura 51).**



**Fig.49. Injerto arterial, en donde se aprecia mayor ecogenicidad de las paredes del vaso (flechas).**

**b. Características de la onda Doppler:**

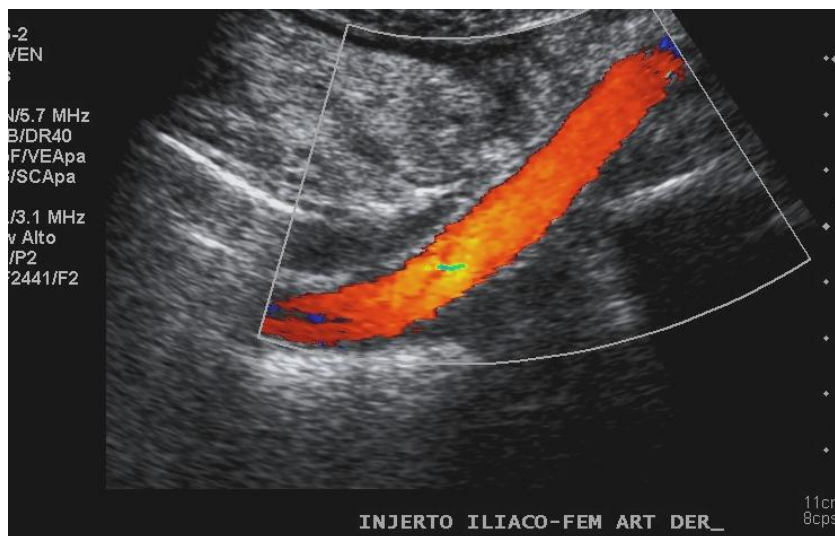
1. En la zona de hiperplasia miointimal las velocidades están aumentadas.
2. En la zona de anastomosis se registran velocidades mayores.
3. Los cambios hemodinámicos precoces en el injerto incluyen aumento de la velocidad y una reducción del flujo distal al injerto.
4. Las prótesis de diámetro fijo suelen tener una velocidad constante en toda su longitud.
5. Los injertos tortuosos o con cambios bruscos de dirección pueden presentar velocidades altas en el lado curvo y turbulencias en su parte interna.
6. Las velocidades bajas en el injerto (menores de 45 cm. /seg.) indican una estenosis proximal.
7. En las zonas de estenosis las velocidades son altas.
8. Hay turbulencias inmediatamente postestenóticas.
9. Hay que comparar las velocidades con las de referencia postoperatorias por que las velocidades bajas pueden deberse a factores geométricos (discrepancias de tamaño, injertos excesivamente grandes).
10. La proliferación neointimal o la estenosis aterosclerótica pueden provocar patrones de flujo turbulento multidireccional.
11. En los aneurismas asociados hay turbulencias.
12. Si no se detecta flujo, esto indica oclusión.
13. Los criterios diagnósticos de un fallo del injerto son:
  - Velocidad sistólica máxima en el injerto <40-45 cm./seg.
  - Velocidad sistólica máxima >120 cm./seg.
  - Cociente de velocidad sistólica máxima >1,5-2,4

14. Las velocidades sistólicas máximas  $>200\text{cm./seg.}$  con ensanchamiento espectral, reducción de la luz y una reducción del flujo distal indican una estenosis severa.

c. Características en el Doppler color:

1. Hay que obtener un estudio basal precoz con Doppler color y análisis espectral para permitir la detección de cambios hemodinámicas leves.

2. Permite localizar fácilmente el injerto y los vasos nativos. (Figura 52).



**Figura 50 Injerto con flujo en su interior**

3. Disminuye el tiempo necesario para seguir el injerto y las arterias correspondientes.
4. Detecta fácilmente la alteración del patrón del flujo.
5. En las estenosis de alto grado se observa un chorro en color.
6. Se ven fácilmente los aneurismas en las zonas de anastomosis.
7. Los defectos de relleno de color indican una reducción de la luz.
8. Se pueden identificar con facilidad las fístulas arteriovenosas con la existencia de turbulencias y cambios de presión que producen una dispersión de altas velocidades y un patrón en mosaico en la zona de la fístula.

Las estenosis focales o las oclusiones segmentarias cortas en las arterias iliacas o femorales superficiales suelen tratarse con angioplastia transluminal percutanea. Sin embargo las estenosis más largas e irregulares o las oclusiones extensas suelen requerir un tratamiento quirúrgico.<sup>25</sup>

### **XIII) RESULTADOS**

**En los estudios para venas se encontraron 21 pacientes normales, 112 enfermos con insuficiencia venosa, 34 presentaron trombosis venosa profunda, y 12 síndrome posflebítico.**

**En los estudios arteriales 24 no tuvieron alteraciones, 32 presentaron placas de ateroma, 4 oclusión arterial y un paciente con trombosis.**

#### **XIV) CONCLUSIONES**

**El ultrasonido con Doppler-color es el método de diagnóstico por imagen de elección para la evaluación inicial en pacientes con sospecha de trombosis venosa profunda y en el seguimiento del síndrome post-flebitico.**

**Es un procedimiento no invasivo, con alta precisión diagnóstica, generalmente disponible en los departamentos de radiología, no utiliza radiación ionizante, de bajo costo y muy versátil, pues es accesible al lado de la cama del enfermo.**

**Es útil para descartar trombosis venosa profunda en pacientes con riesgo de tromboembolismo pulmonar.**

**Se puede evaluar con este tipo de estudio la enfermedad aterosclerótica y trombótica de los miembros inferiores y así poder realizar un tratamiento oportuno.**



## **XV) BIBLIOGRAFIA**

- 1. Taylor K, Burns P, Wells P. Doppler Aplicaciones clínicas de la Ecografía Doppler. España: 1998; 263.**
- 2. Zwiebel W. Doppler general. Ecografía en el tratamiento de las enfermedades venosas de las extremidades. España: 2008; 359.**
- 3. Ulrike M. Hamper et al. Ultrasound Evaluation of the Lower Extremity Veins. Radiologic Clinics of North America 2007 (45): 526.**
- 4. Taylor K, Burns P, Wells P. Doppler Aplicaciones clínicas de la Ecografía Doppler. España: 1998; 337-339.**
- 5. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Principios y bases físicas de los ultrasonidos. España: 2001; 1-9.**
- 6. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Equipos de Ecografía. España: 2001; 16-19.**
- 7. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Venas Periféricas. España: 2001; 330.**
- 8. Ulrike M. Hamper et al. Ultrasound Evaluation of the Lower Extremity Veins. Radiologic Clinics of North America 2007 (45): 527.**
- 9. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Venas Periféricas. España: 2001; 330-332.**
- 10. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Anatomía Venosa de las Extremidades. España: 2002; 300.**
- 11. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Venas Periféricas. España: 2001; 332-333.**
- 12. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Anatomía Venosa de las Extremidades. España: 2002; 301-302.**
- 13. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Arterias Periféricas. España: 2001; 288-289.**
- 14. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Examen Venoso de las Extremidades: Consideraciones Técnicas. España: 2002; 314-326.**
- 15. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Ecografía Dúplex de las Arterias de la Extremidad Inferior. España: 2002; 264-266.**
- 16. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Terminología, Instrumentación y Características de las Venas Normales. España: 2002; 304-307.**
- 17. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Venas Periféricas. España: 2001; 348.**
- 18. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Terminología, Instrumentación y Características de las Venas Normales. España: 2002; 308-309.**
- 19. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Arterias Periféricas. España: 2001; 289-295.**
- 20. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Venas Periféricas. España: 2001; 333-334.**
- 21. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Trombosis venosa. España: 2002; 329-335.**
- 22. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Venas Periféricas. España: 2001; 350-352.**

- 23. Zwiebel W. Ultrasonografía Vascular. Ecografía Dúplex de las Arterias de la Extremidad Inferior. España: 2002; 268-269.**
- 24. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Arterias Periféricas. España: 2001; 299-303.**
- 25. Krebs C, Giyanani V, Eisenberg R. Doppler Color. Arterias Periféricas. España: 2001; 303-306.**