



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ciencias Físico - Matemáticas

Análisis de imágenes y
propiedades fisiológicas de tejidos

Tesis Presentada al

Colegio de Física

como requisito para la obtención del
grado de

Licenciatura en Física Aplicada

por

Estefania Quecholac Guerrero

asesorado por

Dr. Benito De Celis Alonso

Dr. Eduardo Moreno Barbosa

Puebla, Pue.

SEPTIEMBRE 2016

Análisis de imágenes y propiedades fisiológicas de tejidos

Tesis

Estefania Quecholac Guerrero

Dr. Benito De Celis Alonso

Dr. Eduardo Moreno Barbosa



Título: Análisis de imágenes y propiedades fisiológicas de tejidos

Estudiante: Estefania Quecholac Guerrero

COMITÉ

Dr. Mario I. Martínez Hernández
Presidente

M.C Pedro Tolentino Eslava.
Secretario

Dr. Javier M. Hernández López
Vocal

Dr. Benito De Celis Alonso
Asesor

Dr. Eduardo Moreno Barbosa
Asesor

Gracias

A mis padres por el apoyo que me brindan para poder cumplir mis sueños.

A mi madre por enseñarme el significado de esfuerzo y sacrificio, por estar siempre presente en mis logros y derrotas, brindándome su apoyo incondicional y motivándome para seguir adelante.

A mi padre, que al igual que mi madre es un guerrero de vida, le agradezco por ser uno de mis más grandes ídolos y por siempre impulsarme en la búsqueda de nuevos retos.

A mis hermanos Jessica, Miriam, Julissa y Christopher que siempre me apoyan en los momentos mas difíciles, con los que he compartido las experiencias mas hermosas y por los que daría todo en la vida. Especialmente agradezco a Julissa por ser parte importante en la realización de esta tesis al ayudarme a tomar mediciones.

A mis asesores el Dr. Benito de Celis y el Dr. Barbosa que sin su ayuda este trabajo no hubiese sido posible. Y a todas las personas que me permitieron hacerles el estudio.

Índice general

1. El pie diabético	1
1.1. Prevalencia	1
1.2. Fisiología, sintomatología	3
1.2.1. Factores predisponentes	4
1.2.2. Factores precipitantes	7
1.2.3. Factores agravantes	8
1.3. Técnicas para la detección de pie diabético	9
1.4. Tratamiento	13
2. Fundamentos físicos de la instrumentación	17
2.1. Funcionamiento de equipo Doppler	17
2.1.1. Ultrasonido Doppler para medir el flujo de sangre	19
2.2. Funcionamiento del termómetro infrarrojo	21
2.3. Funcionamiento de Baumanometro	25
2.3.1. Manómetro aneroide	26
2.4. Funcionamiento de Oxímetro de pulso	26
2.4.1. Hemoglobina	27

2.4.2.	Frecuencia cardíaca	28
2.4.3.	Fundamentos de la oximetría de pulso	29
2.4.4.	Ley de Beer-Lambert	30
2.4.5.	Limitaciones de los oxímetros de pulso	33
3.	Metodología	35
3.1.	Materiales	35
3.2.	Toma de medidas	37
3.2.1.	Toma de presión arterial	39
3.2.2.	Toma de temperatura	42
4.	Resultados	47
4.1.	Comparaciones de temperatura en la pierna derecha de personas con diabetes y sin diabetes	49
4.2.	Comparaciones de temperatura en la pierna izquierda de personas con diabetes y sin diabetes	51
4.3.	Comparaciones de temperatura entre diabéticos y no diabéticos	54
4.4.	Comparaciones de SpO_2 , ITB, IMC, frecuencia cardíaca, cintura y calibración de grasa entre diabéticos y no diabéticos	54
4.5.	Correlaciones obtenidas entre las variables medidas.	56
5.	Discusión	63
6.	Conclusiones	65
A.	Abreviaturas	67

Resumen

La Diabetes Mellitus (DM) es una de las enfermedades que más afecta a la población mexicana. Si no se trata a tiempo y no se llevan a cabo los cuidados pertinentes, entonces pueden surgir diversas complicaciones. Dentro de las consecuencias de no llevar un adecuado cuidado se encuentra el pie diabético.

El pie diabético se caracteriza por la falta de sensibilidad en la piel, lo que provoca que la persona no se de cuenta de lesiones que presenta. Con el paso del tiempo es posible que se desarrolle alguna infección y se corre el riesgo de perder la pierna por amputación.

En el capítulo 1 de la presente tesis se describe a detalle los factores fisiológicos que intervienen en la aparición del pie diabético.

Actualmente existe muy poca instrumentación para la detección temprana del pie diabético. En México se usan técnicas de observación para valorar la longitud y profundidad de alguna lesión presente en el pie de una persona con DM. A partir de dicha valoración se da un diagnóstico. Esta forma de detección es subjetiva y en casos donde se presenta infección no es posible determinar el área total que ha sido afectada. Por otro lado se tiene la medida de índice tobillo-brazo, la cual nos permite saber si una persona presenta alguna enfermedad arterial en sus piernas. Aunque se usa con poca frecuencia da resultados más certeros que la observación y permite ver si un diabético tiene riesgo de presentar pie diabético. La medición de temperatura y de saturación de oxígeno en la sangre son otras técnicas utilizadas en esta tesis para la obtención de medidas. Estas al igual que la técnica del ITB ofrecen valores tangibles, pero las investigaciones realizadas en México son pocas.

El equipo que se utilizó para la toma de datos de las técnicas antes mencionadas fue: Un Doppler, un termómetro infrarrojo y un oxímetro. El funcionamiento de cada uno de estos equipos tiene bases físicas, el conocimiento de estas bases es fundamental para la correcta interpretación de los datos obtenidos. En el Capítulo 2 se describe a detalle los fundamentos físicos involucrados en estos instrumentos.

En el capítulo 3 se explica el procedimiento que se siguió para la toma de medidas. Se explica como se utilizó cada uno de los instrumentos y las especificaciones que la persona debió seguir. Además de realizar las técnicas antes mencionadas también se midieron la talla, peso, longitud de cintura y calibración de grasa. La información obtenida es por tanto datos de: temperatura, índice tobillo-brazo, saturación de oxígeno en la sangre, índice de masa corporal y calibración de grasa.

Para analizar la información obtenida, se uso estadística inferencial. Se realizaron tests ANOVA para hallar diferencias significativas en los datos. Con la prueba Tukey se localizaron los puntos específicos que generaban dichas diferencias y se hallaron algunas correlaciones entre las distintas variables medidas. Además se uso transformación de Fisher para evaluar el grado de significancia de la diferencia entre dos coeficientes de correlación. Los resultados obtenidos del análisis de datos se muestran en el capítulo 4.

En el proceso de toma de datos existieron diversos factores que pudieron influir en los resultados obtenidos. En el Capítulo 5 se exponen las circunstancias a las que estuvo expuesto el estudio y como estas pudieron afectar las mediciones y por ende los resultados. Tras discutir las causas que afectaron el estudio y de realizar el análisis de datos se prosiguió a formular las conclusiones finales, las cuáles se muestran en el Capítulo 6.

Capítulo 1

El pie diabético

La Diabetes Mellitus (DM) es una de las enfermedades que más afecta a la población de México. Junto a esta aparecen muchas complicaciones que conducen a una mala calidad de vida y muerte prematura. Una de las consecuencias de la diabetes es el *pie diabético*.

El pie diabético (PD) es una de las principales complicaciones que se presentan en una persona con DM. Provoca falta de sensibilidad protectora en los pies y como consecuencia surgen pequeñas lesiones por traumatismos menores y este tipo de lesión generalmente es imperceptible. La persona al no percibir la lesión continua con sus actividades volviéndola susceptible a contraer una infección. Dicha infección conlleva el riesgo de amputación de la extremidad inferior.

Una persona con diabetes esta predispuesta a presentar distintos factores que determinen la aparición de cambios en la estructura y función de su pie. Estos cambios a su vez son los que en un momento dado hará que dicha persona sea propensa a padecer PD.

1.1. Prevalencia

Como se menciono anteriormente una de las enfermedades crónicas que más afecta la salud de la población mexicana es la DM. Cifras del 2013 dadas por el INEGI[1] nos permiten saber que esta enfermedad constituye la segunda causa de muerte en la población

mexicana y que el grupo de personas de 50-59 años de edad es el que se ve más afectado. Además “en los últimos 15 años se ha observado un aumento acelerado de esta enfermedad. Si este comportamiento permanece igual se espera para el año 2030 un aumento total del 37.8% en el número de casos y 23.9% en la tasa de morbilidad” [1]. Dentro de estos datos se nota una mayor tasa de mortalidad para ciertos estados, ya que “un poco más del 50% de las defunciones por DM se concentraron en 6 de los 32 estados del país: Estado de México (14,1%), Distrito Federal (11,0%), Veracruz (8,1%), Jalisco (6,4%), Puebla (5,8%) y Guanajuato (5,2%)” [2]. Estos porcentajes muy probablemente tengan que ver con la cantidad de habitantes, ya que en ese mismo año en estos estados se concentraba casi la mitad de la población mexicana (el 49%).

Conforme los porcentajes de DM van en aumento, las complicaciones de pie diabético de igual forma aumentan. Del total de individuos que reportaron diagnóstico previo de DM, el 38% sufría de ardor, dolor o pérdida de sensibilidad en los pies y el 2% reportaron amputaciones [3].

La DM se presenta en 3 distintas formas:

DM Tipo I.- En esta forma de diabetes, las células beta del páncreas dejan de producir insulina porque el sistema inmunitario del cuerpo las ha atacado y destruido.

DM Tipo II.- Esta se desencadena cuando hay una resistencia a la insulina. Esta enfermedad provoca que las células de grasa, musculares y del hígado no utilicen la insulina adecuadamente. Al principio, el páncreas produce más insulina para compensar la que no se absorbió. Con el tiempo se pierde la capacidad de secretar suficiente insulina.

Diabetes gestacional.- Esta suele presentarse durante las últimas etapas del embarazo. Por lo general esta forma de diabetes desaparece después del parto, pero se tiene más probabilidades de presentar DM Tipo II en el futuro.

Tanto pacientes con DM tipo I como los con DM tipo 2 tienen probabilidades de padecer esta condición, tal como lo menciona la Dra. Nayeli Gabriela Jiménez Saab “Los signos y síntomas clínicos que configuran el pie diabético pueden encontrarse hasta en un 13% de los que padecen esta enfermedad, se da más frecuentemente en los diabéticos tipo 1, o en varones con diabetes tipo 2 de larga evolución” [4].

El aumento progresivo de esta enfermedad es un problema porque los servicios médicos

que se dan comienzan a volverse insuficientes para la demanda de la sociedad. El uso de tecnologías de bajo costo para la detección temprana de las complicaciones derivadas de DM (en este caso el pie diabético) es una alternativa para evitar que los pacientes lleguen a tener dichas complicaciones que conllevan a altos costos de manutención y asimismo brindarles una mejor calidad de vida.

1.2. Fisiología, sintomatología

Una persona con diabetes esta predispuesta a presentar distintos factores que determinen la aparición de cambios en la estructura y función de su pie. Estos cambios a su vez son los que en un momento dado hará que dicha persona sea propensa a padecer PD.

Existen tres factores presentes durante el transcurso de la afección del PD.

Los predisponentes: Factores que tiene que ver con las características de los tejidos de diabéticos y que ponen en riesgo la integridad del pie al propiciar su vulnerabilidad. Con estos factores se tiene un alto riesgo de presentar complicaciones como un crecimiento rápido de infección lo que puede derivar en la amputación de la extremidad inferior.

Los desencadenantes o precipitantes: Son los que hacen que se desarrolle una lesión.

Los agravantes o perpetuantes: Cuando la lesión se encuentra presente, estos factores son los que no permiten que se lleve a cabo una buena cicatrización.

El orden en que fueron mencionados los factores es el orden que siguen al presentar PD. Los factores predisponentes se dividen en dos clases: de tipo primario (neuropatía y macroangiopatía) y de tipo secundario (microangiopatía). La neuropatía provoca un cambio en la sensibilidad al dolor, puede hacer que el paciente sienta un dolor extremo al aplicar un estímulo normal o puede ser lo contrario que no sienta nada con un estímulo intenso. A su vez se presenta una disminución en la circulación sanguínea que pasa por las arterias de una cierta zona. A esta condición se le denomina isquemia o microangiopatía. Este factor conlleva a la falta de oxigenación y de materias nutritivas a la parte afectada lo que a su vez provoca disminución del volumen muscular y resequedad de la piel. Las medicinas para tratar esta afección suelen ser insuficientes y no están disponible para todos

los afectados. En parte esta condición también se debe a que las arterias de mediano y gran calibre de un diabético presentan inflamación y multiplicación de las células musculares de sus paredes.

Cuando la persona diabética presenta estos factores predisponentes lo que sigue es que la persona por realizar alguna actividad presente una lesión interna o externa. A esto le llamamos factores precipitantes o desencadenantes de la aparición de una úlcera o de la aparición de necrosis (que es la muerte de células y/o tejidos de una zona determinada).

Finalmente aparecerán los factores agravantes, los cuáles son los que contribuyen al desarrollo de una infección. Al mismo tiempo la neuropatía que se desarrolla en un principio no permitirá reconocer la lesión a tiempo y como consecuencia no se tomarán las medidas preventivas necesarias. La infección puede llegar a provocar una extensa lesión en el tejido, la cuál a su vez seguirá creciendo debido a la mala circulación de la sangre, provocada por la isquemia, que provoca una lenta cicatrización de la herida.

La persona diabética a diferencia de una persona que no presenta esta enfermedad debe tener un cuidado especial con sus pies. Las causas que desencadenan los factores antes mencionados tienen que ver con el estilo de vida, la higiene personal, el uso de calzado inadecuado, algún traumatismo causado por un objeto y lesiones térmicas. A continuación se da una explicación más detallada de las afecciones antes mencionadas además de que se mencionan las formas en las que se provocan.

1.2.1. Factores predisponentes

Estos factores están conformados por la neuropatía, la macroangiopatía y la microangiopatía. En esta sección se explicarán de forma más detallada cada una de estas condiciones.

Neuropatía

El alto nivel de glucosa en la sangre de un paciente diabético frecuentemente va acompañada de alteraciones en los nervios encargados de transmitir señales del sistema nervioso central al resto del organismo. Esta alteración en la conducción nerviosa es lo que hace que

un paciente diabético desarrolle una falta de sensibilidad en sus extremidades inferiores.

Inicialmente esta condición afecta la sensibilidad profunda, la cuál permite conocer la localización y el movimiento de alguna parte de nuestro cuerpo. En el caso de una persona con pie diabético esto afecta su capacidad de percatarse del movimiento y de la posición de los dedos de sus pies. Posteriormente se vera afectada la sensibilidad superficial provocando daños en los sentidos táctiles, térmicos y dolorosos del paciente. También provoca la disminución del tamaño de algunos músculos pertenecientes al pie, dichos músculos son los encargados de mantener la estructura del pie tal y como la conocemos. Al verse afectados algunos músculos hay un desequilibrio porque en ciertas áreas se generara mas fuerza, mientras que en otras no tanto lo que propicia el desarrollo de distintas deformidades(ver Figura 1.1), ejemplos de estas deformidades son los dedos en martillo y en garra, y debido a estas deformaciones en ciertas áreas del pie debe ejercerse una mayor presión lo que aumenta el riesgo de presentar alguna lesión y por ende a desarrollar úlceras.

La alteración de la conducción nerviosa induce una incorrecta percepción de la temperatura lo que provoca la disminución de excreción de sudor, que es la forma en la que el cuerpo regula la temperatura, lo que implica un aumento de temperatura en la zona afectada y asimismo la piel se torna más seca facilitando así la aparición de grietas que en un futuro pueden tornarse en úlceras e infecciones.

La ubicación más usual de las úlceras son las zonas de callosidades, seguidas por la presión plantar en la zona (Figura 1.2) [5].

La neuropatía es una de las principales causas que provoca complicaciones en una lesión de un pie diabético, de hecho está implicada en el estudio de la úlcera del PD en el 85%-90% de los casos [5].

Macroangiopatía

Esta condición afecta a las arterias de mediano y gran calibre. Se caracteriza por el endurecimiento, aumento del grosor y perdida de elasticidad de las paredes de las arterias. Este padecimiento no es exclusivo de los diabéticos ya que también suele estar presentes en personas sin DM, pero las probabilidades de presentar isquemia(disminución del flujo sanguíneo a través de las arterias de una determinada zona, por falta de oxígeno y materias

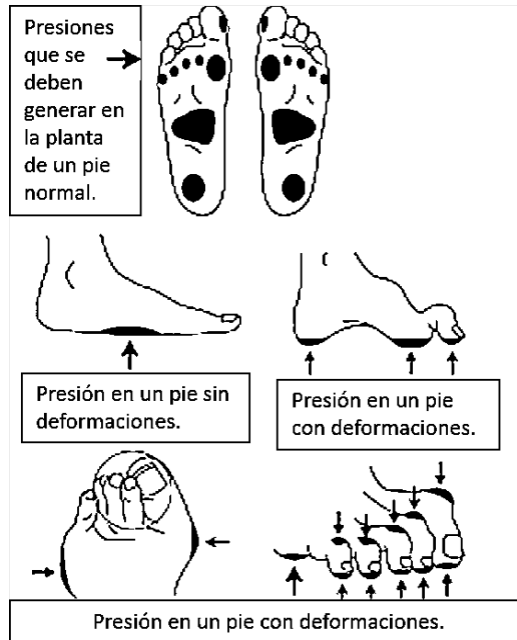


Figura 1.1: Deformaciones en el pie generan distintas presiones en diferentes zonas del pie. Adaptado de [8]



Figura 1.2: Para distintas zonas de la planta del pie se presentan diferentes probabilidades de desarrollar una úlcera. Se observan los distintos porcentajes que cada zona tiene de presentar una úlcera. Adaptado de [5]

nutritivas en la parte afectada.) debido a la macroangiopatía aumentan al ser diabético. Además de que al tener DM esta condición tiene una inclinación por presentarse en las arterias de las extremidades inferiores. Las causas de este padecimiento no se conocen, pero se sabe cuales son los factores de riesgo que lo provocan. Estos factores son el aumento de colesterol y triglicéridos, tabaquismo, DM, obesidad y el sedentarismo; el tener dos o mas de estas condiciones aumenta las probabilidades de tener Macroangiopatía.

Microangiopatía

“La microangiopatía diabética afecta a los capilares, arteriolas y vénulas de todo el organismo” [5]. Esta es una enfermedad propia de la diabetes que es provocada por el aumento de la concentración de glucosa en la sangre, la cual genera distintos procesos químico-fisiológicos. Estos procesos provocan el engrosamiento de la membrana basal lo que conlleva a la alteración del intercambio de moléculas nutrientes, aspecto que puede interferir en el proceso de cicatrización y en la velocidad de respuesta inflamatoria después de sufrir alguna lesión o de presentar una infección. La intervención de esta afección en la generación de las úlceras en el PD aun es incierta. Sin embargo en conjunto con la neuropatía y la macroangipatía esta es la responsable de la muerte de las células y de los tejidos de la región lesionada.

1.2.2. Factores precipitantes

Los factores predisponentes antes mencionados son los que vuelven al pie del diabético un pie con un alto riesgo de presentar alguna lesión. Para que dicha lesión se haga presente deben de intervenir los factores precipitantes. Estos factores pueden ser provocados por la estructura del pie(factores intrínsecos) o por agentes externos al cuerpo(factores extrínsecos).

Factores intrínsecos

Como bien se menciona en la sección 1.2.1, las deformidades del pie provocadas por la neuropatía conllevan a que la homogeneidad de la presión en la planta del pie sea alterada

y se ejerza más presión en ciertas zonas, lo que puede provocar el desarrollo de callosidades que posteriormente pueden convertirse en lesiones ulcerosas.

Factores extrínsecos

Estos son factores ocasionados por acciones que provocan algún daño físico en el pie, estos daños pueden ser inducidos por el exceso de contacto con algún material sólido, por contacto con altas o bajas temperaturas y/o por el contacto con un químico que provoque alguna lesión en el pie.

Algún estímulo repetitivo originado por las condiciones del medio que rodea al paciente y que cause alguna alteración en su pie, por mínima que sea la fuerza que este ejerza si se mantiene constante esto conllevará a la ruptura de la piel que posteriormente se puede convertir en úlcera. Un ejemplo de esto suele presentarse muy a menudo cuando el diabético usa un calzado inadecuado que ejerce mucha presión sobre su pie lo que después de un cierto intervalo de tiempo promueve la aparición de úlceras.

La falta de sensibilidad provocada por la neuropatía no le permite al diabético detectar con facilidad la molestia en el pie, lo que puede propiciar una lesión grave. Por tal razón la revisión constante del pie en una persona diabética es una medida preventiva necesaria para evitar desarrollar PD.

1.2.3. Factores agravantes

Una vez que se ha presentado una lesión en el pie, si no se tiene el debido cuidado al tratar esta lesión, existe un elevado riesgo de presentar alguna infección. Aquí es donde intervienen los factores agravantes los cuales son los que favorecen la rápida expansión de la infección sobre la lesión del pie.

La falta del dolor no permite detectar alguna lesión presente en el pie. Al no detectar la lesión esta se deja expuesta a cientos de bacterias, las cuales producen daño en la piel y en tejidos profundos. Por otro lado la hiperglucemia del diabético afecta el sistema inmunitario, lo que provoca que no se detecten las bacterias que están produciendo daño y al final propicie la producción y propagación de la infección.

Una vez conocidos los factores que influyen en el desarrollo del PD entonces debería ser posible determinar distintas formas de detección de esta enfermedad. A continuación se presentan algunas técnicas que se usan para detectar una persona con PD. Estas técnicas permiten obtener datos precisos sobre la condición del paciente.

1.3. Técnicas para la detección de pie diabético

Cuando un enfermo diabético sufre de PD los recursos económicos que invierte tanto el enfermo como el estado para tratar esta condición son muy elevados, por lo que la detección temprana de dicha afección es de suma importancia para la reducción de costos y para mejorar la calidad de vida del paciente. Es por eso que el conocimiento de nuevas formas de detección de bajo costo, prácticas y concretas son el objetivo de varios países.

En México la mayoría de las técnicas que los médicos usan para la valoración de lesiones en el pie de personas diabéticas, se basan en la observación de la longitud y profundidad de la lesión, en la forma en que se provoco dicha lesión y en la presencia de infección. Para llegar a un diagnostico, el médico usa algunas de las diversas clasificaciones de distintos autores sobre los grados y características de las lesiones. Por mencionar algunas de estas clasificaciones: Wagner, Gibbons, Brodsky y Liverpool. El diagnostico por medio de las características de la lesión resulta muy subjetiva y en los casos en donde se presenta infección solo se hace un estimado del alcance que esta tiene en la extremidad inferior, sin saber a ciencia cierta el área total que la infección abarca.

Existen técnicas que no se suelen usar debido a la falta de investigación sobre estas, como la técnica del índice tobillo-brazo (ITB), la toma de temperatura de distintas partes del pie y el nivel de saturación de oxígeno en la sangre, estas técnicas permiten obtener resultados más tangibles que la simple observación. En esta sección mencionaremos estas técnicas.

Se ha visto que la obstrucción de venas y arterias (enfermedad vascular periférica) conduce a la aparición de úlceras y por ende a la condición de PD. El flujo de sangre que pasa a través de esta obstrucción debe ser diferente al que normalmente se debe tener. Esta variación es una buena forma de identificar un pie con tendencias a desarrollar una

lesión y una infección, para hallar estas variaciones se busca el índice tobillo/brazo que nos permite identificar enfermedades en las arterias y venas. En esta técnica se utiliza un Doppler para la obtención de medidas (Ver sección 1.3 y 2.1 de esta tesis para una mejor descripción).

Otra de las características de un paciente con tendencia a presentar PD es la disminución de excreción de sudor que altera la forma en la que el pie regula su temperatura. Esta condición genera puntos con temperaturas mayores a las que normalmente debería encontrarse en el pie y esto es lo que permite usar termometría para encontrar diferencias que permitan prevenir la ulceración del pie. Los autores de esta tesis no han encontrado investigaciones rigurosas que proporcionen una base de datos previo a esta trabajo.

Por otro lado tenemos que los diabéticos son mas propensos a presentar isquemia, que como bien se menciona anteriormente esta es la disminución de la circulación sanguínea lo que implica una disminución de oxígeno en el área afectada. Por lo que medir los niveles de saturación de oxígeno es un método más para la detección de PD.

Las técnicas descritas se utilizaron para obtener datos que nos permitieran hallar diferencias significativas para la detección temprana de PD y para así generar una base de datos que sea de utilidad para investigaciones futuras. Las ventajas de estas técnicas es que son de bajo costo, de fácil realización, objetivas y no invasivas. A continuación se menciona en más detalle cada una de ellas.

Índice tobillo/brazo

Para esta técnica se utiliza un doppler portátil, el cuál es capaz de medir la velocidad del flujo de la sangre. Este proporciona un sonido perceptible de dicho flujo el cuál puede convertirse en un gráfico analógico en forma de onda. Las características del flujo sanguíneo de una persona sin problemas vasculares sera diferente al de una con estos problemas[6].

El sonido que se reproduce en una persona sin diabetes es un sonido compuesto de tres fases. En la primera fase se escucha el movimiento de contracción que realizan las arterias y el corazón para empujar la sangre que contienen (sistóle), el segundo sonido es el flujo de sangre que se dirige en sentido contrario durante el movimiento de relajación y expansión del corazón y por último el sonido de las arterias cuando la sangre purificada

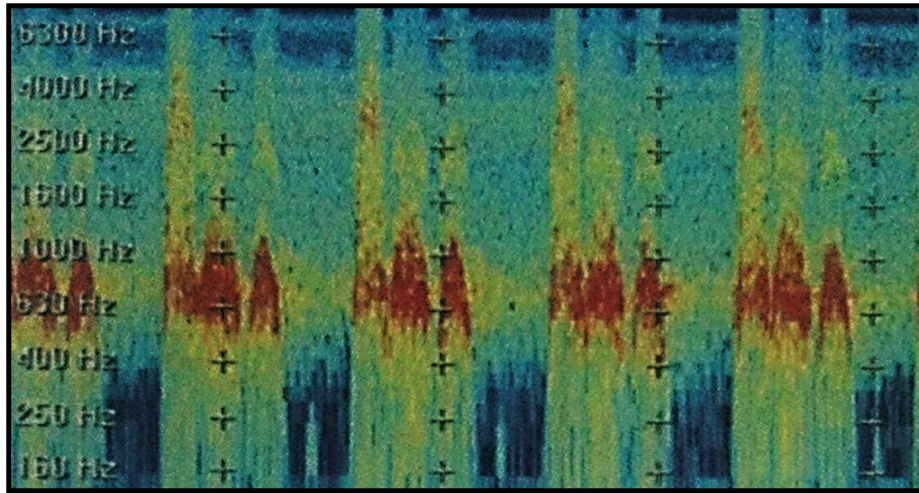


Figura 1.3: Análisis digital del sonido obtenido en una arteria normal. Se aprecian las tres fases del ritmo cardiaco presentado en la Figura 1.4. Adaptado de [6]

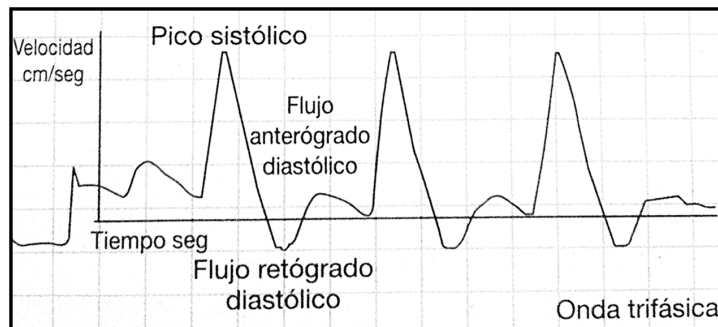


Figura 1.4: Onda de flujo trifásica. Adaptado de [6]

entra en ellas (diástole), y un tercer sonido de regreso del flujo hacia adelante. En el caso de una persona diabética con un grado de enfermedad vascular periférica, se puede oír un sonido bifásico o incluso monofásico (Figura 1.5).

Además de obtener estos gráficos se debe de tener un registro de la presión que ejerce la sangre expulsada del corazón sobre la pared de los vasos sanguíneos (presión arterial sistólica) en distintas zonas de la extremidad inferior, estas zonas son: el muslo, la pantorrilla y el tobillo. Y para poder comparar este registro con la presión total del cuerpo, se toma como presión de referencia la presión arterial sistólica del brazo. En este caso se desea ver la correlación que hay entre la presión sistólica del tobillo y la del brazo, por lo que se realiza la razón entre estas dos. Esto representa el porcentaje de la presión arterial de la extremidad respecto a la del cuerpo entero, o sea, el Índice Tobillo/Brazo (ITB) y los diferentes rangos de ITB se muestran en el Cuadro 1.1.

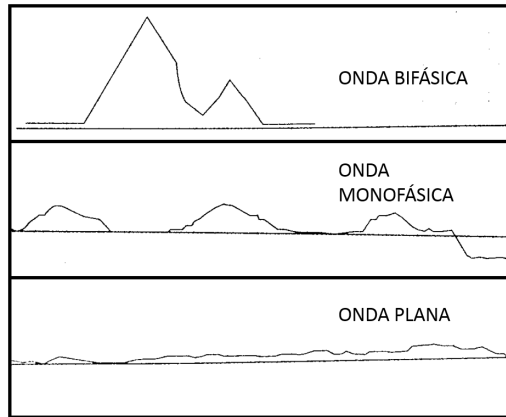


Figura 1.5: Onda de flujo bifásico, monofásico y onda plana. Adaptado de [6]

Índice Tobillo/Brazo	Afección a la que corresponde
ITB > 1.3	Calcificación arterial segura
ITB > 1.1	Calcificación arterial probable
ITB = 0.9-1.1	Normalidad
ITB < 0.9	Enfermedad vascular segura
ITB < 0.5	Enfermedad vascular severa

Cuadro 1.1: Enfermedad que se tiene dependiendo del valor del ITB

Termometría

Un monitoreo de temperatura es una herramienta vital para la prevención de úlceras del pie en personas con diabetes. Se encontró un estudio en donde realizaron el monitoreo de la temperatura mediante dos técnicas, una utilizando dispositivos de medición de temperatura por infrarrojos mientras que en otra se usó dispositivos de termografía de cristal líquido. Al final se encontró que ambas técnicas son eficaces para hallar diferencias de temperatura que permiten predecir futuras ulceraciones, pero se determinó que los sistemas infrarrojos son más fáciles de usar y su costo es bajo [7].

Ya que lo que se busca es encontrar técnicas con un bajo costo, prácticas y objetivas; el uso de sistemas infrarrojos es una opción para hallar anomalías en la temperatura del pie de una persona diabética. Es por tal razón que en la parte experimental de esta tesis se decidió emplear un sistema infrarrojo para la obtención de temperaturas.

Saturación de oxígeno en la sangre

Bajos niveles de saturación de oxígeno en la sangre (SaO_2) influyen en la aparición de úlceras en el pie y en la cicatrización de heridas [13]. Por tal razón con un oxímetro se medirá el porcentaje de oxígeno en la sangre, y los valores obtenidos se comparan con el siguiente cuadro:

% Saturación	Estado al que corresponde
> 90 %	Estado óptimo
80-90 %	Hipoxemia leve
< 80 %	Hipoxemia moderada
< 70 %	Hipoxemia severa

Cuadro 1.2: Grado de hipoxemia según los valores de SaO_2

1.4. Tratamiento

Al realizarse la detección de PD, inmediatamente se deben tomar ciertas medidas que permitan contrarrestar los efectos secundarios de la ulceración y la infección. La detección temprana de PD permite que estas medidas tengan mayor efectividad. Se estima que el 85% de los pacientes en los que se detecta a tiempo su afección de PD y que llevan un buen seguimiento de su tratamiento evitaran la amputación de su extremidad inferior[8].

Lo que se busca en el tratamiento de PD es la pronta cicatrización de la lesión en cuestión, para esto el medico debe de hacer un análisis de la lesión del paciente y así considerar distintas formas de tratamiento.

Uno de los primeros procedimientos que se realiza al tratar una lesión, es eliminar el tejido muerto, dañado o infectado de la herida para evitar la extensión de esta en el tejido restante. A este procedimiento se le denomina desbridamiento, el cuál tiene 4 variantes: quirúrgico, hidro quirúrgico, auto lítico y con terapia larval.

Estas variantes tienen en común el retirar el tejido dañado, lo que las diferencia es la técnica y herramientas que se usan. En el quirúrgico se utilizan escalpelo, tijeras y/o pinzas; mientras que en el hidro quirúrgico se aplica un chorro de solución salina esterilizada de alta velocidad y al mismo tiempo se tiene un sistema de aspirado, que permite cortar y extirpar el tejido. Por otro lado en el tratamiento auto lítico se emplea una gasa o algodón

esterilizado húmedo sobre la herida para ablandar y retirar el tejido y en el caso terapia larval se usan larvas de la mosca verde botella, las cuáles son capaces de consumir el tejido infectado.

El tipo de desbridamiento depende del análisis que el medico realice sobre la herida y de la decisión del paciente sobre algún método de su preferencia. Si este procedimiento no se lleva a cabo o si el método elegido no es el mas adecuado esto puede conllevar a la aceleración del deterioro del pie.

Cuando la infección en el PD es profunda un desbridamiento no es suficiente y se debe de tomar una muestra de la herida para determinar que microorganismo es el que esta provocando la infección y así poder prescribir algún antibiótico. Se debe de considerar que cuando se esta realizando el tratamiento de la lesión se debe de mantener la herida lo mas posible libre de impurezas, para esto debe de ponerse una gasa estéril para evitar el contacto con agentes externos que propicien la infección, a su vez esta debe constantemente estarse cambiando con el fin de mantenerla limpia, también se pueden usar vendajes pero solo con el fin de mantener las gasas aseguradas y debe de procurar ponerlo de forma adecuada para evitar ajustarlo demasiado.

Otras de las medidas que se toman al detectar PD es de buscar una homogeneización de la presión en la planta del pie, para esto el paciente debe de usar una férula de contacto total(Figura 1.6a), la cuál debido a su diseño permite distribuir las presiones en la planta del pie de forma homogénea lo que disminuye la aparición de futuras lesiones. Una alternativa al uso de estas férulas son las muletas, sandalias especiales, andadores, sillas de ruedas y Bota de Scotchcast(Figura 1.6b)

Con todos estos conocimientos sobre PD lo que prosigue es saber el funcionamiento de la instrumentación para la detección temprana de esta condición, y esto es precisamente lo que se verá en el siguiente capitulo.



Figura 1.6: a)En la parte izquierda de la imagen se muestra una férula de contacto total, mientras que en la parte derecha se observa una b)bota de Scotchcast. Adaptado de [8]

Capítulo 2

Fundamentos físicos de la instrumentación

La ciencia ha sido fundamental en el desarrollo de tecnologías en beneficio de la salud. La comprensión del funcionamiento de dicha tecnología permite conocer las aplicaciones prácticas de distintos conceptos teóricos.

Los equipos que se usaron en la presente tesis están basados en distintos fundamentos físicos. Es por eso que en esta sección se presenta el funcionamiento físico: del doppler, del termómetro infrarrojo(IR), del baumanómetro y del Oxímetro.

2.1. Funcionamiento de equipo Doppler

El ultrasonido es una de las herramientas para la obtención de imágenes clínicas más útiles, prácticas y de bajo costo. Básicamente se trata de una onda mecánica, con una frecuencia de entre 1 y 15 MHz para uso clínico. La velocidad del sonido a través del tejido es de 1540 m/s, correspondiente a una longitud de onda del ultrasonido en el tejido entre 0.1 y 1.5nm. Las ondas del ultrasonido se producen con un transductor, como se muestra en la Figura 2.1, el cual consta de una colección de hasta 512 fuentes individuales activas (piezoeléctricos). En el sistema más simple de ultrasonido, pequeños grupos de estos

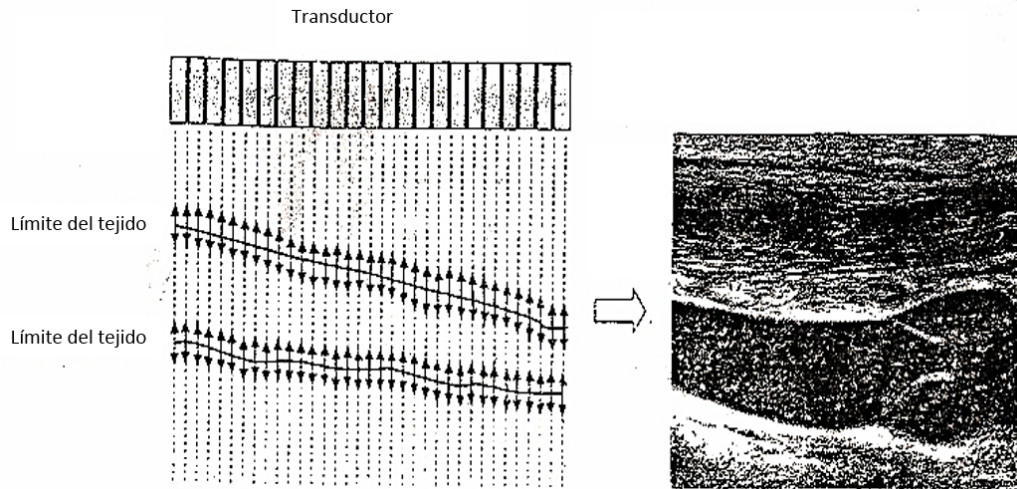


Figura 2.1: (En la izquierda) Principio básico de imágenes por ultrasonido. Un transductor envía ondas de presión a través del tejido. En los límites del tejido, una pequeña fracción de la energía se regresa al transductor. Usando la velocidad del sonido a través del tejido se puede determinar la profundidad del límite del tejido. (En la izquierda) La intensidad de cada píxel en la imagen es proporcional a la potencia de la señal detectada reflejada desde ese punto. Adaptado de [9]

elementos se encienden de forma secuencial para producir haces de ultrasonido paralelos. Estos haces de ultrasonido atraviesan los distintos tejidos del cuerpo, pero en cada tejido una fracción de la energía es reflejada hacia el transductor, obteniendo información del tiempo entre el pulso de transmisión y la señal de las ondas reflejadas. Con este dato la distancia entre la piel y distintos tejidos es calculada, siendo este proceso similar a la técnica usada en el radar de un submarino. Al obtener la última señal del tejido más profundo el proceso se repite enviando otro haz de ultrasonido y así sucesivamente hasta obtener una imagen completa. Este proceso se realiza a una alta velocidad por lo que es posible obtener imágenes completas en fracciones de segundo y así tener imágenes en tiempo real.

Una de sus aplicaciones que es de nuestro interés es la medición del flujo de sangre en tiempo real. Lo que permite tal medición en el ultrasonido es el efecto Doppler, en el cual la frecuencia de la señal recibida es ligeramente diferente a la señal transmitida debido a que el flujo de sangre se acerca o aleja del transductor. En la siguiente sección se aborda con mayor detalle este efecto.

2.1.1. Ultrasonido Doppler para medir el flujo de sangre

Como se mencionó anteriormente el ultrasonido usa el efecto Doppler para la toma de mediciones del flujo de la sangre. Este como un método no invasivo es excelente para el diagnóstico de enfermedades cardíacas. La señal del flujo de la sangre se obtiene por la dispersión del pulso transmitido, esta dispersión es generada por las células rojas de la sangre, las cuales tienen un diámetro de aproximadamente $7-10 \mu\text{m}$. La frecuencia de los ecos que han sido dispersados y que regresan al transductor es distinta a la frecuencia del ultrasonido que en un principio fue transmitido, esta alteración en la frecuencia se debe al flujo de la sangre que se acerca o aleja del transductor. Si el flujo se acerca al transductor la frecuencia detectada será más alta que la frecuencia transmitida, mientras que cuando el flujo se aleja del transductor sucederá lo contrario. El transductor también puede usarse para localizar la región del vaso sanguíneo que produce los ecos retrodispersados, esto mediante la adquisición de imágenes bi-dimensionales de la sección transversal de dicho vaso sanguíneo (llamado exploración bi-dimensional modo-B, o simplemente modo-B). Con estas imágenes se puede estimar el tamaño del vaso y convertir las medidas de la velocidad de la sangre en valores de flujo de sangre.

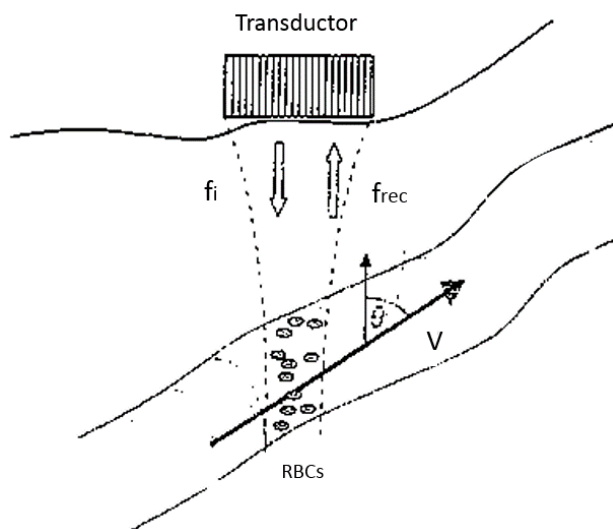


Figura 2.2: Se muestra el origen del desplazamiento Doppler en imágenes de ultrasonido del flujo sanguíneo. El haz de ultrasonido es dispersado por los glóbulos rojos en la sangre (RBCs por sus siglas en inglés). El haz retrodispersado del ultrasonido es detectado por el transductor a una frecuencia ligeramente diferente (f_{rec}) de la transmitida (f_i) en el cuerpo. Adaptado de [9]

Observamos en la Figura 2.2 que la dirección del flujo de sangre es hacia el transductor, por lo que la frecuencia efectiva (f_i^{eff}) del haz incidente del ultrasonido en el movimiento de las células rojas es mayor que la frecuencia transmitida (f_i):

$$\begin{aligned} f_i^{eff} &= \frac{c + v \cos \Theta}{\lambda} \\ &= \frac{f_i(c + v \cos \Theta)}{c} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Donde c es la velocidad de la onda del ultrasonido, v la velocidad de la sangre y θ es el ángulo que forma la vena con respecto al transductor. En la recepción de la señal sucede lo mismo, teniendo que la frecuencia del ultrasonido recibida por el transductor es dada por:

$$\begin{aligned} f_{rec} &= \frac{f_i^{eff}(c + v \cos \Theta)}{c} \\ &= \frac{f_i(c + v \cos \Theta)^2}{c^2} \\ &= f_i + \frac{2f_i v \cos \Theta}{c} + \frac{f_i v^2 \cos^2 \Theta}{c^2} \end{aligned} \quad (2.2)$$

El cambio en la frecuencia (el cambio Doppler f_D), viene por lo tanto dado por:

$$\begin{aligned} f_D &= f_i - f_{rec} \\ &= \frac{2f_i v \cos \Theta}{c} + \frac{f_i v^2 \cos^2 \Theta}{c^2} \approx \frac{2f_i v \cos \Theta}{c} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Ya que $v \ll c$, entonces el segundo término de la ecuación puede ser ignorado. A partir de esta ecuación se obtiene la velocidad del flujo de sangre:

$$v = \frac{cf_D}{2f_i \cos \Theta} \quad (2.4)$$

Las medidas con Doppler se suelen realizar con frecuencias relativamente altas, por ejemplo 5MHz. Un error fijo en el valor de Θ tiene efectos pequeños cuando Θ es pequeño, y en la práctica valores de Θ menores que 60° son usados mediante el ajuste adecuado de la orientación y posicionamiento del transductor.

2.2. Funcionamiento del termómetro infrarrojo

En esta sección se explican los fundamentos físicos del termómetro infrarrojo. El termómetro IR tiene integrado un láser que permite la localización de un punto a medir. No es necesario que este tenga contacto directo con el objeto a medir, debido a que es capaz de tomar la temperatura a distancia. El dispositivo tiene una lente que capta la cantidad de energía infrarroja emitida por un objeto, la concentra en un detector y a través de una interfaz transforma dicha energía en una señal eléctrica. Posteriormente la señal eléctrica se traduce numéricamente en la temperatura del objeto. Al final el dato de temperatura aparece en la pantalla del termómetro (ver Figura 2.3). Para evitar errores en las mediciones el termómetro compensa la temperatura ambiente con la cantidad de energía infrarroja captada.

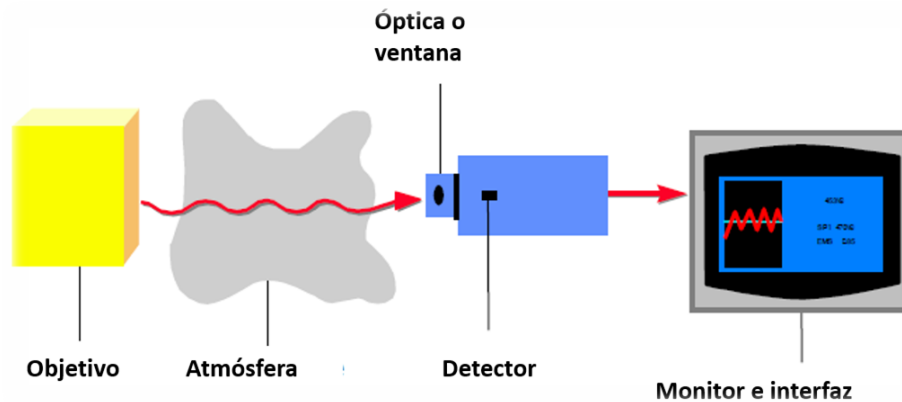


Figura 2.3: Sistema de medición por Infrarrojo. Adaptado de [10]

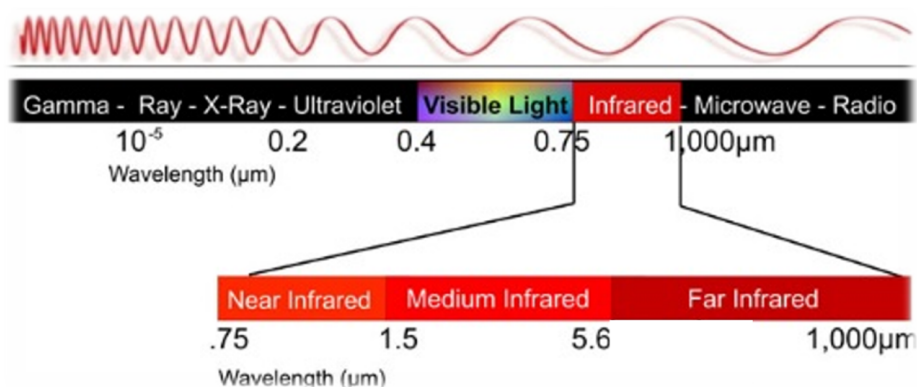


Figura 2.4: Espectro electromagnético. Adaptado de <https://www.xuletas.es/ficha/principios-de-la-termografia-1/>

La radiación infrarroja no es más que radiación electromagnética con una longitud de onda que va de los .75 a los 1000 μm , encontrándose fuera de la zona visible (ver Figura 2.4). Esta es una razón por la que no puede ser observada a simple vista. W. Herschel fue el que descubrió la radiación IR. En 1800 detectó un aumento de temperatura en zonas circundantes a la luz roja en donde no se encontraba ningún espectro visible. Pero fueron Kirchhoff, Wien y Stephan quienes estudiaron más a fondo las propiedades de esta radiación.

Todo cuerpo con una temperatura por arriba del cero absoluto emite radiación IR. Esto se debe al movimiento mecánico interno de las moléculas, o sea, a la excitación de sus electrones por causa de la temperatura. El movimiento de carga conlleva a la emisión de radiación electromagnética. Cuanto mayor sea la temperatura mayor será el movimiento y por ende la intensidad de radiación será mayor. Esta radiación se comporta de acuerdo a principios ópticos, por lo que puede ser desviada, centrada en una lente y/o reflejada en alguna superficie reflectante[10]. La lente del termómetro IR capta la radiación IR de las superficies, a partir de esto calcula la temperatura correspondiente a dicha radiación.

En la Figura se muestra la radiación espectral a distintas temperaturas de un cuerpo negro (cuerpo ideal que absorbe toda la luz y toda la energía radiante que incide sobre él). Las curvas no se superponen a diferentes temperaturas y por cada temperatura se observan máximos que corresponden a una longitud de onda. Los científicos Stefan y Boltzmann en 1879 reconocieron que la energía máxima que se radia en todo el rango de longitud de onda, o sea el área debajo de cada curva, es proporcional a la cuarta potencia de su

2.2. FUNCIONAMIENTO DEL TERMÓMETRO INFRARROJO

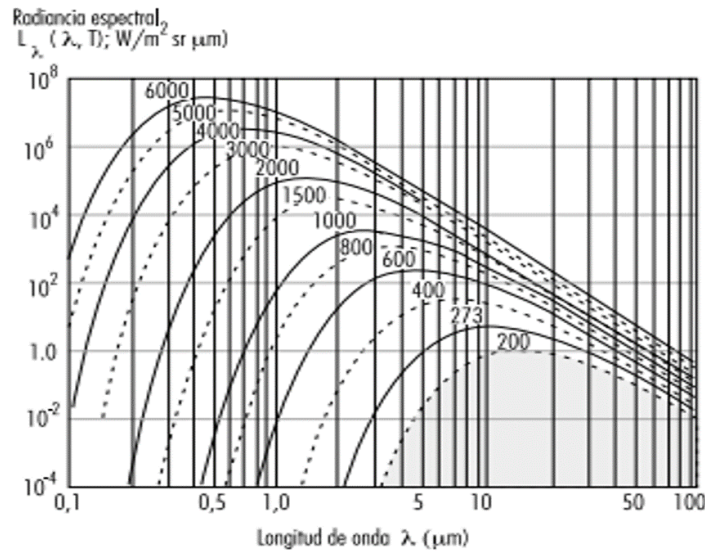


Figura 2.5: Radiancia espectral de un cuerpo negro radiante a distintas temperaturas absolutas indicadas en grados Kelvin en cada curva. Adaptado [11]

temperatura[10]. Este postulado se conoce como la Ley de Stefan-Boltzmann:

$$E = \sigma \cdot T_e^4 \quad (2.5)$$

Donde T_e es la temperatura efectiva, es decir, la temperatura absoluta de la superficie y $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann.

La figura muestra el comportamiento ideal de un cuerpo negro. Sin embargo otros cuerpos no tienen el mismo comportamiento, ya que algunos emiten menos radiación a la misma temperatura. La relación entre la emisión real del objeto y la de un cuerpo negro se conoce como emisividad ϵ , el valor máximo de esta es 1 (que corresponde al cuerpo negro ideal) y el mínimo es 0. La energía emisiva de una superficie real es menor que la de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dada por:

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T_e^4 \quad (2.6)$$

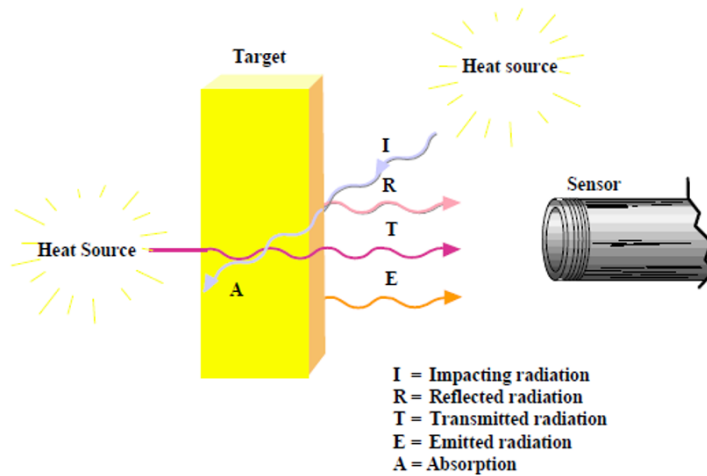


Figura 2.6: El sensor del termómetro IR recibe la radiación emitida junto con radiación reflejada por el objeto y radiación que atraviesa el objeto. Adaptado [10]

También se debe considerar que la emisión consta de cuatro componentes que son: la absorción (A), la reflexión (R) y la transmisión (T), ver Figura 2.4. Al final el total de la suma de cada componente es igual a uno (Ecuación 2.7).

$$A + R + T = 1 \quad (2.7)$$

$$A + R = 1 \text{ Objeto sólido} \quad (2.8)$$

$$E + R = 1 \text{ Equilibrio termodinámico} \quad (2.9)$$

$$E = 1 \text{ Cuerpo negro} \quad (2.10)$$

Si se considera un objeto sólido, en nuestro caso el tejido puede considerarse objeto sólido, entonces no existe efecto de transmisión en el rango del infrarrojo, por lo que $T=0$ (Ecuación 2.8). Por otro lado la ley de Kirchoff de la radiación térmica establece que si un cuerpo (o superficie) está en equilibrio termodinámico con su entorno, su emisión es igual a la energía absorbida [11]. En ese caso $A = E$ (Ecuación 2.9) y finalmente se considera el cuerpo negro ideal que no tiene ninguna radiación reflejada ($R = 0$), ver ecuación 2.10.

El sistema del termómetro IR encargado de convertir la señal de radiación infrarroja en

una lectura de temperatura, utiliza las ecuaciones anteriores para realizar dicha conversión.

2.3. Funcionamiento de Baumanometro

Este aparato sirve para medir la presión que ejerce el flujo de sangre sobre las paredes de las arterias. Lo que hace es comprimir la arteria y los tejidos colindantes desde el exterior. Con el fin de obstruir por completo el paso del flujo de sangre y el valor de la presión que produce la obstrucción es igual al valor de la presión dentro de la arteria, los valores de presión y su diagnóstico se muestran en el Cuadro 2.1. El Baumanometro consta de un brazalete conectado a un manómetro aneroide y una pera insufladora (ver Figura 2.7). El brazalete se coloca alrededor del brazo, con la pera insufladora se infla el brazalete y así se ejerce presión sobre el brazo. Una vez que se ha obstruido el paso de sangre, se desinfla paulativamente el brazalete hasta que nuevamente pase un pequeño flujo de sangre. Este flujo es de tipo turbulento y esto produce ruido, el cual se logra escuchar con un estetoscopio o con un equipo Doppler. Cuando este ruido se empieza a escuchar se debe ver la lectura que da el manómetro, está es la presión sistólica. La lectura de la presión diastólica se da cuando el sonido se deja de escuchar. La presión aplicada al brazo es medida por el manómetro aneroide, el funcionamiento de este artefacto se explica a continuación.



Figura 2.7: Baumanometro. Consta de un brazalete conectado a un manómetro, que mide la presión, y una pera insufladora que infla y desinfla el brazalete.

Presión sistólica	Presión diastólica	Diagnostico
> 120mmHg	> 80mmHg	Presión arterial normal
120-139mmHg	80-89mmHg	Prehipertensión
140-159mmHg	90-99mmHg	Hipertensión en fase 1
< 160mmHg	< 100mmHg	Hipertensión en fase 2
85mmHg	55mmHg	Presión arterial baja

Cuadro 2.1: Diagnostico que se les da a los distintos valores de presión arterial

2.3.1. Manómetro aneroide

Este es básicamente un barómetro modificado de forma que en el interior actúa la presión que se desea medir y afuera actúa la presión atmosférica. En la Figura 2.8 se puede observar el mecanismo del sistema, el cual contiene como elemento principal de una cámara flexible llevada al alto vacío y que ha sido cerrada herméticamente. La variación de la presión del aire que se encuentra en el brazalete provoca que la cámara se contraiga o dilate. Lo que conlleva a mover el sistema mecánico que a su vez se encuentra conectado a una aguja. Esta se encuentra sobre una escala que está calibrada de tal forma de que se pueda leer la presión.

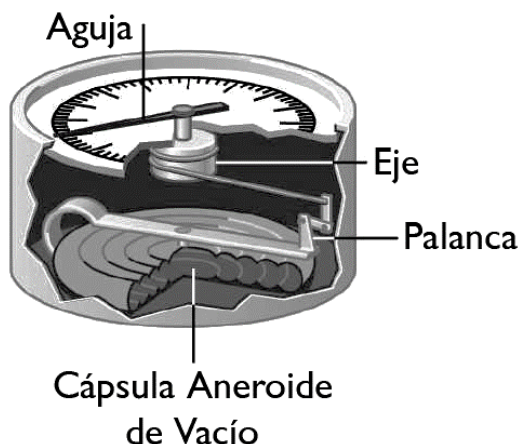


Figura 2.8: Manómetro aneroide, la cámara vacía hermética cambia su forma al variar la presión. El mecanismo interno convierte este cambio de la cámara en un cambio de posición de la aguja indicadora. Adaptado de <http://dim.usal.es/eps/mmt/?m=201409>

2.4. Funcionamiento de Oxímetro de pulso

La oximetría de pulso es un método no invasivo que permite monitorear los niveles de saturación porcentual de oxígeno en la sangre (SpO_2) y además ofrece información

del ritmo cardíaco. Para conocer el funcionamiento del oxímetro es importante conocer algunos principios básicos de fisiología cardíaca. Primero se abordaran estos principios y al final se expondrá el funcionamiento del oxímetro.

2.4.1. Hemoglobina

La hemoglobina se encuentra contenida en los glóbulos rojos de la sangre y su función es llevar el oxígeno (O_2), a través de las arterias, hasta los tejidos y células del organismo (ver Figura). Una vez que ha entregado el O_2 entonces toma de estos mismos tejidos el dióxido de carbono (CO_2) que han producido y lo transporta de nuevo a los pulmones, a través de las venas y capilares, en donde será eliminado del organismo. Al llegar a los pulmones se vuelve a saturar de O_2 y el proceso se repite.

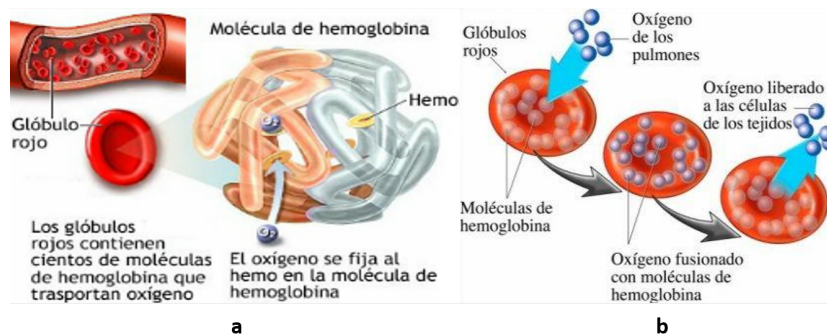


Figura 2.9: En la figura a se muestra una molécula de hemoglobina contenida en un glóbulo rojo. Y en la figura b se observa como los glóbulos rojos por medio de las moléculas de hemoglobina atrapan y liberan oxígeno. Adaptado de <http://histologiaub-globulosrojos.blogspot.mx/>

Cuando la hemoglobina está saturada de O_2 se denomina hemoglobina oxigenada (HbO_2), el O_2 hace que la sangre tenga como color característico el rojo. Mientras que cuando la hemoglobina pierde O_2 se le conoce como hemoglobina reducida (Hb) y esto provoca el color rojo azulado oscuro típico en la sangre que circula a través de las venas. Esta diferencia de color entre la HbO_2 y la Hb es la que permite realizar medidas para calcular la saturación porcentual de O_2 (SpO_2).

2.4.2. Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca, o pulso, es el número de latidos cardíacos por minuto. Estos latidos se generan por el corazón que toma la función de una bomba muscular, en donde su acción de bombeo es gracias a un sistema de conducción eléctrica como el que se muestra en las Figura 2.10. En condiciones normales se genera un impulso eléctrico cada vez que el corazón late, el cual se encuentra en el rango de entre 60 y 190 veces por minuto, la frecuencia depende de la edad del individuo, de su grado de actividad y de si es hombre o mujer (ver Cuadros 2.2 y 2.3). Debido a este estímulo la sangre se comporta como un flujo pulsátil, o sea un flujo con propagación rítmica intermitente en lugar de una propagación constante, lo que permite que se realice la medición usando el pulsioxímetro.

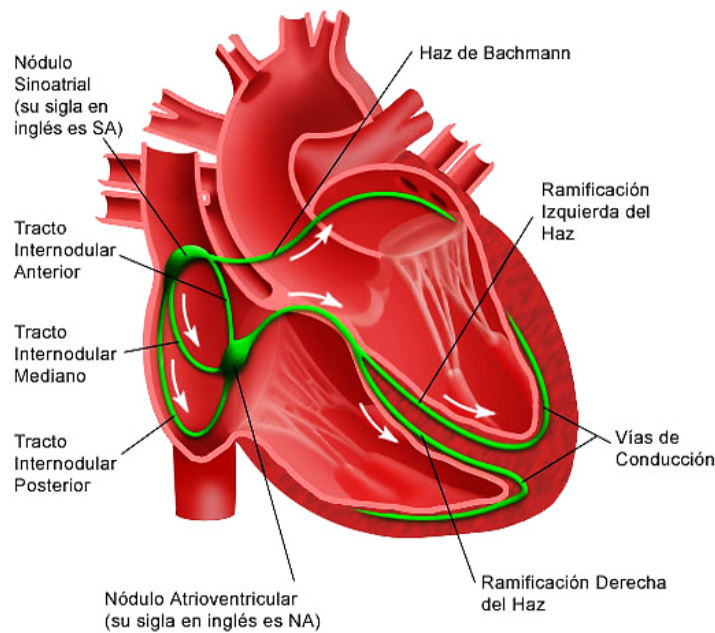


Figura 2.10: Sistema eléctrico del corazón. Adaptado de <http://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=anatomyfuncionessdelstemaelctrico-90-P04865>

Edad (años)	Mala	Normal	Buena	Muy buena
> 60	>86 lpm	70-84 lpm	62-68 lpm	<60 lpm
50-59	>86 lpm	72-84 lpm	64-70 lpm	<62 lpm
40-49	>90 lpm	74-88 lpm	66-72 lpm	<64 lpm
30-39	>90 lpm	74-88 lpm	68-74 lpm	<66 lpm
20-29	>94 lpm	76-90 lpm	70-76 lpm	<68 lpm

Cuadro 2.2: Interpretación de los valores de frecuencia cardíaca en reposo (FCR) en hombres

2.4. FUNCIONAMIENTO DE OXÍMETRO DE PULSO

Edad (años)	Mala	Normal	Buena	Muy buena
> 60	>96 lpm	78-94 lpm	72-76 lpm	<70 lpm
50-59	>98 lpm	80-96 lpm	72-78 lpm	<70 lpm
40-49	>100 lpm	80-98 lpm	74-78 lpm	<72 lpm
30-39	>104 lpm	84-102 lpm	76-82 lpm	<74 lpm
20-29	>108 lpm	88-106 lpm	78-88 lpm	<78 lpm

Cuadro 2.3: Interpretación de los valores de frecuencia cardíaca en reposo (FCR) en mujeres

2.4.3. Fundamentos de la oximetría de pulso

Los fundamentos de la oximetría son: La espectrometría y la pletismografía. La interacción de las radiaciones electromagnéticas con la materia produce ciertos efectos. La espectrometría utiliza estos efectos para medir la absorción o transmisión de la luz de sustancias y así poder medir la concentración de estas. Por esta razón es base fundamental de la oximetría porque permite el cálculo de la concentración de una sustancia en solución, a partir de su absorción óptica de una longitud de onda determinada. La pletismografía en contraste permite medir los cambios del flujo sanguíneo y/o el volumen de aire que se encuentra en diferentes partes del cuerpo. Principalmente consiste en determinar variaciones del flujo sanguíneo, ya sea de volumen o presión.

Para medir la SpO_2 en la sangre, las longitudes de onda deben pasar a través de un área con alto flujo de sangre y a partir de la absorción de las longitudes se calcula la concentración de oxígeno. Para que se puedan analizar dos sustancias en una solución se necesitan, como mínimo, dos longitudes de onda distintas. Como se mencionó anteriormente la sangre consta de dos sustancias que influyen en la oxigenación, la Hb y HbO_2 . Ya que son dos sustancias el oxímetro necesita como mínimo dos longitudes de onda, que son la roja (660 nm) e infrarroja (940 nm). Esto por el hecho de que en estas longitudes de onda los coeficientes de extinción (parámetros que describen la capacidad de una sustancia para absorber la luz a una longitud de onda dada, por unidad de masa o por concentración molar) de la Hb y HbO_2 tienen valores muy distintos entre sí, teniendo un valor máximo para Hb cuando HbO_2 tiene un valor mínimo en la región del rojo del espectro de luz y viceversa en la región del infrarrojo (ver Figura 2.11). Estas distinciones en los valores permiten cambios ópticos apreciables más fáciles de medir. También se debe tomar en cuenta que al iluminar una zona se presenta el hecho de que la luz no solo pasa a través

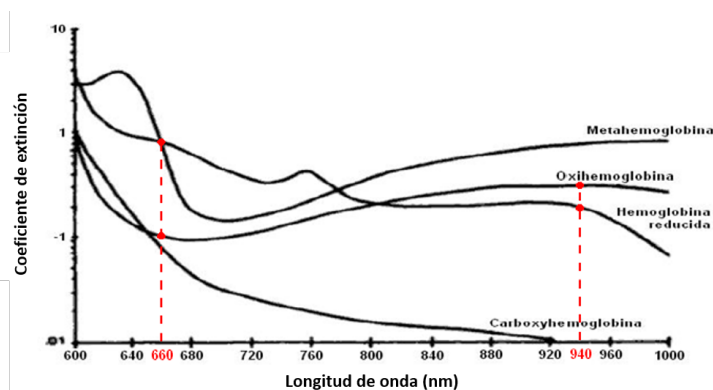


Figura 2.11: Gráfica de los coeficientes de extinción vs longitudes de onda. Se observa que en 660 nm la Hb es mayor que HbO_2 y en 940 nm sucede lo contrario HbO_2 es mayor que Hb. Adaptado de [12]

de la sangre sino que debe pasar por huesos, uñas y piel. Pero la sangre es la única que contribuye a la absorción de la luz.

En 1974 el japonés Takuo Aoyagi observó que los cambios de volumen de la sangre con cada pulso pueden utilizarse para obtener una señal que solo depende de las características de la sangre, el oxímetro usa esta técnica para distinguir la sangre de otros tejidos.

Si no hay ritmo cardiaco, el oxímetro no será capaz de distinguir la sangre arterial. Entonces el oxímetro mide el tiempo que tarda la intensidad de la luz en pasar a través de un tejido. Procesa la señal con este tiempo obtenido y con la ley de Beer-Lambert, la cual se describe a continuación.

2.4.4. Ley de Beer-Lambert

Cuando un rayo de luz monocromática con intensidad inicial I_o pasa a través de una solución, parte de la luz es absorbida por lo que la intensidad de la luz transmitida I es menor que I_o . La disminución en la intensidad de la luz se debe principalmente por la absorción de la solución (ver Figura 2.12). La relación entre I e I_o depende de la longitud recorrida a través de la solución absorbente, l , y de su concentración, c . Estos factores se hallan en la Ley de Lambert y Beer.

Ley de Lambert.- Cuando un rayo de luz monocromática pasa a través de una solución absorbente, su intensidad disminuye exponencialmente a medida que la longitud del medio

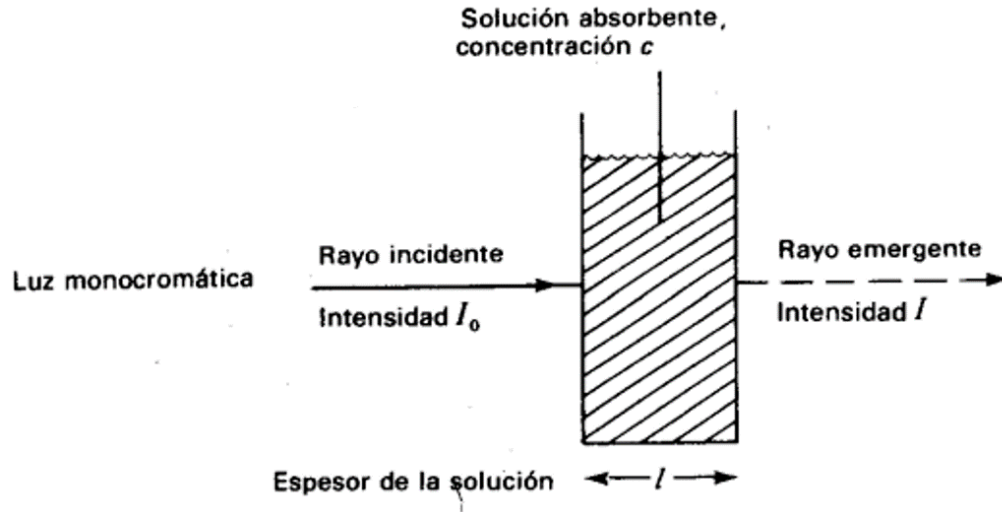


Figura 2.12: Absorción de la luz por una solución. Adaptado de [13]

absorbente aumenta[13].

$$I = I_0 e^{-k_1 l} \quad (2.11)$$

Ley de Beer.- Cuando un rayo de luz monocromática pasa a través de un medio absorbente, su intensidad disminuye exponencialmente a medida que la concentración del medio absorbente aumenta[13].

$$I = I_0 e^{-k_2 c} \quad (2.12)$$

Estas dos leyes se combinan en la ley de Beer-Lambert:

$$I = I_0 e^{-k_3 cl} \quad (2.13)$$

El cociente de las intensidades se conoce como la transmitancia y se expresa como un

porcentaje:

$$T = I/I_o = e^{-k_3cl} \quad (2.14)$$

Desarrollando la ecuación y sacando logaritmos se obtiene:

$$\begin{aligned} \log_e I_o/I &= k_3cl \\ \log_{10} I_o/I &= 2,303k_3cl \\ \log_{10} I_o/I &= kcl \end{aligned} \quad (2.15)$$

En donde $\log_{10} I_o/I$ de la ecuación 2.15 se conoce como la extinción o absorbancia, por lo que

$$A = kcl \quad (2.16)$$

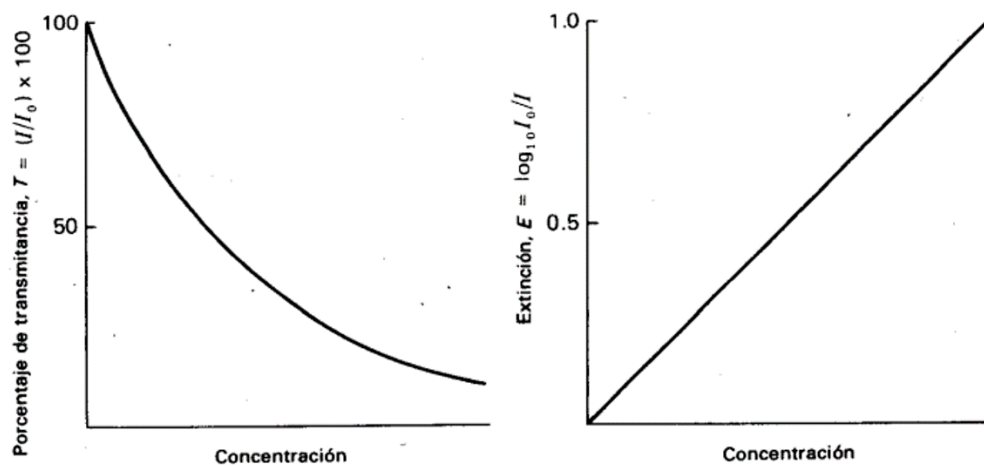


Figura 2.13: Relación entre la absorción de la luz y la concentración de una solución absorbente. Adaptado [13]

Si se sigue la Ley de Beer-Lambert y l se mantiene constante, un gráfico de la extinción en función de la concentración da una línea recta que pasa por el origen; en tanto que un gráfico del porcentaje de transmitancia en función de la concentración da una curva negativa exponencial (Figura). Con la ayuda de tales curvas se puede determinar la concentración de una muestra conociendo su absorbancia. Por lo que el oxímetro hace uso de esta ley para hallar la concentración de O_2 en la sangre.

2.4.5. Limitaciones de los oxímetros de pulso

Tener una baja SpO_2 , o sea menor al 80% hace crecer el error en la medición. El sitio donde se coloca la sonda y una mala colocación de esta produce errores de medición. Otras moléculas presentes en la sangre afectan la exactitud de los valores obtenidos, ejemplos de esto son:

- Concentraciones de monóxido de carbono.- Como en el caso de los fumadores.
- Elevados niveles de bilirrubina, metahemoglobina (inducida por el uso de algunos anestésicos locales). En la población no fumadora, se suele encontrar hasta un 3% de carboxihemoglobina (COHb), producto de la contaminación ambiental, mientras que en la población no fumadora se pueden presentar niveles de COHb del 5 al 20%. Esto provoca que el oxímetro no pueda distinguir la COHb de la HbO_2 , porque sus coeficientes de extinción son casi iguales en los 660nm. Por lo que si se realiza una medición de SaO_2 a un fumador cuya sangre arterial contenga un 85% de HbO_2 , un 5% de HbR y un 10% de COHb, se obtendrá una lectura errónea de SaO_2 del 95% que proporciona una falsa tranquilidad, cuando el valor real es del 85%.
- Colorantes.- El radio de absorción puede ser afectado por cualquier sustancia presente en la sangre que absorba luz entre 660 y 940 nm.

Otras de las causas más comunes que producen un error en las ediciones son:

- Movimiento.
- Luz quirúrgica.
- Esmalte de uñas.

- Micosis en las uñas
- Hiperpigmentación de la piel.
- Vasoconstricciones e hipotermia.
- Arritmias cardíacas.

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo se mostraran los materiales utilizados, el procedimiento que se siguió en la obtención de las mediciones y la estadística que se usó en el análisis de los datos de esta tesis.

3.1. Materiales

Para la toma de datos fue necesario utilizar los materiales (ver Figura 3.1) que se mencionan a continuación:

- 1 Doppler con un transductor de 8 Mhz.
- 1 gel para el transductor del Doppler.
- 1 baumanometro.
- 1 termómetro 62 Mini IR con un distanciador de 10cm.
- 1 oxímetro.
- 1 báscula digital.
- 1 cinta métrica.
- 1 cinta métrica médica con indicador de IMC.



Figura 3.1: Materiales que se utilizaron en la toma de medidas

- 1 calibrador de grasa.

- 1 gel antibacterial.


- 5 paquetes de toallas de papel.

- 1 paquete de 100 guantes esterilizados.

3.2. TOMA DE MEDIDAS

Estefanía Quecholac Guerrero
TOMA DE DATOS Y MEDIDAS.

Nombre: _____ Correo: _____ Tel: _____



Medidas Fisiológicas		Planta del pie		Parte ext. del tobillo		Parte int. del tobillo		Empeine		Parte post. del tobillo		Espinilla	
		1		1		1		1		1		1	
Pie	Derecho	2		2		2		2		2		2	
Edad		3		3		3		3		3		3	
Sexo		4		4		4		4		4		4	
Peso (kg)		5		5		5		5		5		5	
Talla (cm)		6		6		6		6		6		6	
PD		7								7			
DM		8										8	
PAA		9										9	
Fumador		10											
NEC													
Oxímetro	Mano der	Izq.	Pie D.	Pie I.									
Pie	Izquierdo	1		1		1		1		1		1	
		2		2		2		2		2		2	
Presión del brazo	Der.	3		3		3		3		3		3	
	Izq.	4		4		4		4		4		4	
Presión del tobillo	Der.	5		5		5		5		5		5	
	Der. I.	6		6		6		6		6		6	
	Izq. I.												
ITB		7								7			
		8										8	
IMC (BMI)		9										9	
Cintura (cm)		10											
CG													

PAA.- Presión Arterial Alta
NEC.- Nivel Elevado de colesterol
IMC.- Índice de masa corporal
ITB.- Índice tobillo-brazo
CG.- Calibrador de grasa

Figura 3.2: Formato para anotar mediciones

3.2. Toma de medidas

Con los materiales completos se prosiguió a realizar un formato para anotar las medidas a obtener de cada persona. Este formato se observa en la Figura 3.2. El protocolo de toma de medidas fue el siguiente(ver Figura 3.3):

1. Se le pide a la persona que tome asiento. Inmediatamente en el formato de toma de medidas se anotan los datos personales del sujeto.
2. Se prosigue a tomar su estatura, esta medición se realizó con una cinta métrica que se colocó previamente en una pared de superficie lisa.
3. Se le pide a la persona que se suba a la bascula digital para obtener el valor de su peso.
4. Se le pide a la persona que se descubra su abdomen para medir con la cinta métrica médica la longitud de su cintura. Para esto la cinta se colocó a la altura del ombligo.
5. Tomar un pliegue de piel del abdomen y medir el grosor de éste con el calibrador de grasa.

6. Nuevamente se le pide a la persona que tome asiento y se descubra sus brazos, para poder medir la presión de cada brazo, ver sección 3.2.1.
7. Se coloca el oxímetro en el dedo índice de una mano para medir la SaO_2 y los latidos por minuto. Se repite el mismo procedimiento en la otra mano.
8. Se le pide a la persona que se descubra los pies para medir la presión arterial de cada una de las piernas, ver sección 3.2.1.
9. Se repite el proceso de paso 9, pero en este caso para obtener la SaO_2 en de cada uno de los pies. El oxímetro se coloca en el dedo índice del pie. Además se debe de comentar a la persona que se mantenga lo más quieta posible para tener una medición más confiable.
10. Con el termómetro IR se toma la temperatura en distintas partes de la pierna, para más detalles ver sección 3.2.2.
11. Se le indica a la persona que la toma de datos termino y se limpia el equipo con el gel antibacterial y las toallas de papel. Al final los materiales utilizados son desechados.
12. Finalmente el investigador se lava las manos.

Los pasos mencionados tienen instrucciones que necesitan ser explicadas con mayor detalle, en las siguientes dos subsecciones se describe los pasos a seguir en la toma de presión arterial y la forma en la que se tomo la temperatura. Es importante seguir los procedimientos que se mencionan, ya que de no ser así se disminuye la precisión en los datos ha obtener.

3.2.1. Toma de presión arterial

En esta sección se explica a detalle el procedimiento para realizar la toma de presión arterial. La Figura 3.4 muestra de forma visual los pasos a seguir y el procedimiento que se describe a continuación:

1. El brazalete del baumanometro debe de tener un tamaño estandar de tal forma que se pueda ajustar alrededor del brazo de la mayoría de las personas.

2. Previo a la medición de la presión arterial la persona debe de evitar el consumo de cigarrillos y cafeína, así como no haber realizado actividad física en la ultima hora.
3. La toma de presión arterial se debe realizar en un lugar tranquilo, esto con el fin de que se pueda escuchar nítidamente los latidos de la persona. Además al estar en un lugar silencioso la persona se sentirá mas relajada y la lectura de la presión sera más exacta.
4. Antes de realizar la medición se debe dejar reposar a la persona unos 5 minutos. Esto permitirá que la frecuencia cardíaca y la presión arterial se estabilicen.
5. Se le pide a la persona que descubra sus brazos.
6. Apoyar el antebrazo de la persona sobre un respaldo. Colocar el brazo de manera que se apoye aproximadamente a la altura del corazón y la palma de la mano debe estar hacia arriba. La persona debe estar erguida con su espalda apoyada en el respaldo del asiento.
7. A continuación se colocan los dedos índice y medio sobre el centro interior de la parte interna del codo de la persona. Al presionar levemente, se debe de sentir el pulso de la arteria braquial (ver Figura 3.5) desde esta posición. Una vez hecho esto se debe de recordar en que lugar se localizo el sonido de los latidos del corazón.
8. Envolver el brazaletes alrededor del brazo. El brazaletes debe estar aproximadamente 2cm arriba de la parte interna del codo y se debe de tener un buen ajuste en el brazo. Para saber si se tiene un buen ajuste se puede introducir la yemas de dos dedos debajo del brazaletes, si los dedos no se pueden meter por completo entonces se tiene un buen ajuste si por el contrario los dedos se introducen con facilidad entonces se debe ajustar nuevamente el brazaletes.
9. Se vierte electrogel en la parte interna del codo en la parte en donde debe encontrarse la arteria braquial.
10. Se enciende el Doppler, se coloca el transductor sobre la zona en donde se había encontrado el pulso arterial. El electrogel permite escuchar los latidos del corazón.
11. Se sostiene el baumanometro y el manguito insuflador. El baumanometro se debe sostener de tal manera que la parte frontal se observe con claridad. Se gira el tornillo

del manguito en sentido horario para cerrar la válvula del flujo del aire.

12. Se aprieta el manguito insuflador de tal forma que se comience a inflar el brazalete. Cuando el sonido del pulso se deje de escuchar se debe de seguir inflando el brazalete unos 30 mmHg más.
13. A continuación se abre la válvula de flujo de aire girando el tornillo en sentido antihorario. El brazalete se debe ir desinflando de forma gradual para poder observar la lectura de la presión arterial.
14. Se observa la medición del baumanometro en el momento en el que se vuelven a escuchar los latidos del corazón. Esta medición es la lectura sistólica.

La presión arterial sistólica es la fuerza que la sangre ejerce en las paredes arteriales cuando el corazón bombea. Esta es la presión arterial generada cuando el corazón se contrae.

15. Se observa la medición del baumanometro en el momento en el que el sonido de los latidos desaparece. Esta medición es la lectura diastólica.

La presión arterial diastólica es la presión arterial entre latidos.

16. Para una posterior medición se deja el brazalete completamente desinflado.
17. Finalmente se debe de realizar una interpretación de los resultados obtenidos, en el Cuadro 3.1 se muestra el diagnostico para distintos valores de presión arterial.

Presión sistólica	Presión diastólica	Diagnostico
> 120mmHg	> 80mmHg	Presión arterial normal
120-139mmHg	80-89mmHg	Prehipertensión
140-159mmHg	90-99mmHg	Hipertensión en fase 1
< 160mmHg	< 100mmHg	Hipertensión en fase 2
85mmHg	55mmHg	Presión arterial baja

Cuadro 3.1: Diagnostico que se les da a los distintos valores de presión arterial

Ahora bien los pasos antes mencionados se repiten para la toma de presión arterial en los pies, con la diferencia de que la persona al estar sentado debe de colocar los pies extendidos apoyándolos sobre una silla. Y en el pie se toman dos presiones arteriales, una sobre la arteria pedia dorsal y otra sobre la arteria tibial, en la figura 3.5 se observa la ubicación de las arterias en donde se fue tomada cada una de las presiones arteriales.

Debe mencionarse que el uso de Doppler en lugar de un estetoscopio hace que la medición sea más precisa, esto por que el sonido de los latidos del corazón son más nítidos y se vuelve más fácil la toma de presión arterial.

3.2.2. Toma de temperatura

Los pasos que siguieron para la toma de temperatura fueron los siguientes:

1. El termómetro infrarrojo que se utilizó tiene una relación de distancia a punto (D:S)= 10:1, o sea que la distancia a la que se toma la temperatura es 10 veces mayor al diámetro del círculo en donde es tomada la temperatura ver Figura 3.6. Por lo que se decidió colocar el termómetro a 10 cm para que el diámetro del punto en donde se toma la temperatura fuera de 1cm, que es aproximadamente el ancho de los dedos de los pies.
2. Al termómetro se le colocó una varilla de 10cm para que sirviera como distanciador.
3. La toma de temperatura se realizó en la planta del pie, parte externa del tobillo, parte interna del tobillo, empeine, parte posterior de pierna y espinilla. En la Figura 3.7 se muestran estas partes y los puntos donde se tomó la temperatura además del orden que se siguió.
4. Por cada punto que se observa en la Figura 3.7 se realizaron 3 tomas de datos y el promedio de estas 3 mediciones fue el dato que se utilizó en los resultados.

En el siguiente capítulo se muestra el análisis de los datos experimentales obtenidos.

3.2. TOMA DE MEDIDAS



Figura 3.4: Pasos a seguir para la toma de presión arterial.

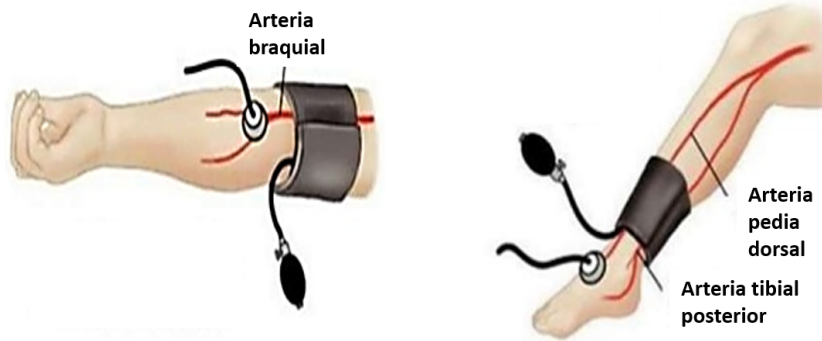


Figura 3.5: Puntos anatómicos donde tomar la presión arterial. Adaptado de <http://es.slideshare.net/jettnoe/presion-arterial-original>

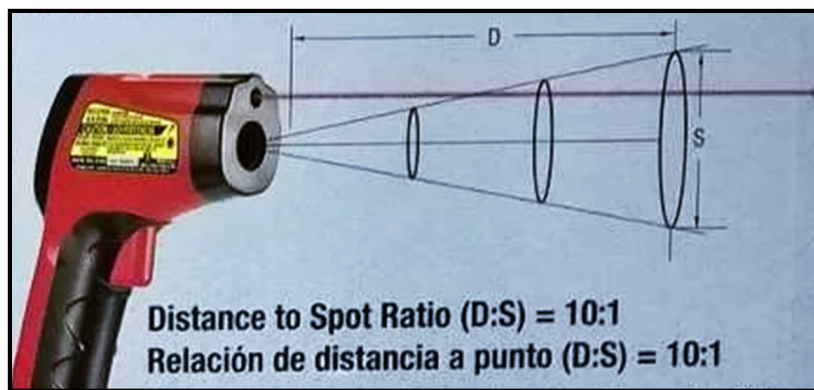


Figura 3.6: Gráfico que muestra la distancia del elemento que se va a medir versus el diámetro del centro punto. Es una relación 10:1.

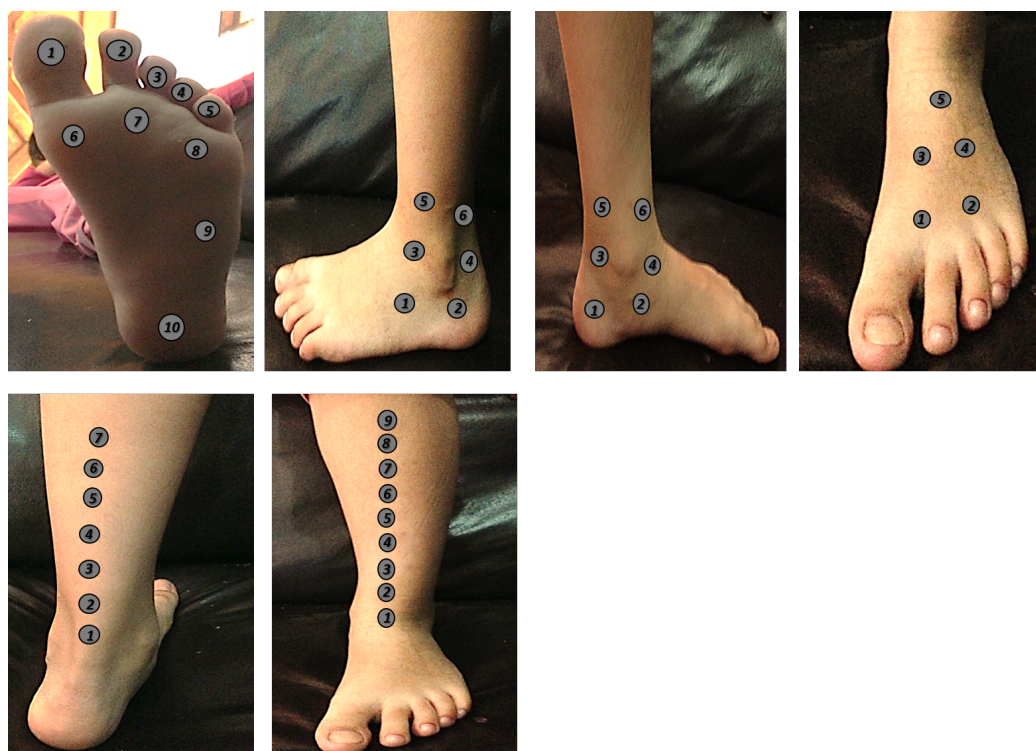


Figura 3.7: Puntos en donde se tomo la temperatura y el orden como se realizaron las mediciones

Capítulo 4

Resultados

La adquisición de medidas se realizó en la presidencia de la colonia Granjas de San Isidro y en la fundación Gabriel Pastor casa hogar para personas de la tercera edad. El estudio se les realizó a 31 personas sin diabetes y 16 diabéticos, dando un total de 47 personas. En donde 36 de los sujetos fueron mujeres y 11 fueron hombres. Teniendo de estos 12 mujeres y 4 hombres con diabetes (ver Cuadro 4.1). En los cuadros 4.2 y 4.3 se observa la cantidad de personas con diabetes y sin diabetes que sufren de calcificación arterial, sobrepeso y obesidad.

En algunas personas no fue posible realizar el estudio completo. En el caso de la toma de datos de las extremidades inferiores a 36 personas se les tomo medidas en ambas piernas, mientras que a 11 solo se les realizó en una sola pierna teniendo un total de 83 piernas a las que se les tomo mediciones. El rango de edades de las personas abarca de los 20 a los 90 años de edad. La información obtenida de las mediciones fueron datos de temperatura, índice de masa corporal, índice tobillo-brazo, saturación de oxígeno en la sangre y calibración de grasa. Con dicha información el siguiente paso fue la búsqueda de resultados para lo que fue necesario aplicar estadística inferencial. Los datos obtenidos son paramétricos y se tienen más de tres variables que comparar, por lo que se decidió realizar un test de análisis de varianza(ANOVA). Ya que no se pretende realizar un análisis tan riguroso el valor de p que se tomo en cuenta al realizar comparaciones fue de 0.05. Si en el test ANOVA se obtienen valores menores a 0.05 será un indicativo de que las variables

estudiadas son independientes.

Con los valores de p establecidos se debió de deducir en que variables se generan las diferencias. Para esto existen varias pruebas para comparar las variables entre sí, pero en nuestro caso se utilizó la Diferencia Honestamente Significativa (HSD Tukey). Éste test se eligió ya que se usa cuando se tiene un número de grupos alto(6 o más) y ese es nuestro caso, además incluye correcciones por múltiples comparaciones lo que aumenta la credibilidad en los resultados.

Por otro lado se realizaron gráficas con el fin de observar si el modelo lineal simple describía los datos obtenidos. Para esto fue necesario hallar el coeficiente de determinación R^2 , que mide el porcentaje de datos descritos correctamente por el modelo. A partir de este valor se obtiene el coeficiente de correlación o de Pearson R, en el cuadro 4.4 se muestran los valores que adquiere R y la correlación que le corresponde.

Personas a las que se les realizó el estudio	
Hombres	Mujeres
11	36
Personas con diabetes	
Hombres	Mujeres
4	12
Personas sin diabetes	
Hombres	Mujeres
7	24

Cuadro 4.1: Número de personas a las que se les realizó el estudio. Número de mujeres y hombres con y sin diabetes.

Personas con diabetes	
Enfermedad detectada	Número de personas a las que se les detecto
Calcificacióbn arterial segura	8
Calcificacióbn arterial probable	5
Normalidad	3
Personas sin diabetes	
Enfermedad detectada	Número de personas a las que se les detecto
Calcificacióbn arterial segura	11
Calcificacióbn arterial probable	9
Normalidad	2

Cuadro 4.2: Enfermedades halladas en personas con y sin diabetes por medio del ITB

En las secciones siguientes se muestra el análisis de los datos experimentales, los valores de p obtenidos y las correlaciones halladas. Para realizar los tests ANOVA, tests HSD Tukey y para hallar los valores de correlación así como las gráficas se utilizó excel.

4.1. COMPARACIONES DE TEMPERATURA EN LA PIERNA DERECHA DE PERSONAS CON DIABETES Y SIN DIABETES

Personas con diabetes	
Enfermedad detectada	Número de personas a las que se les detecto
Peso bajo	1
Ideal	3
Sobrepeso	7
Obeso	4
Obesidad severa	1
Personas sin diabetes	
Enfermedad detectada	Número de personas a las que se les detecto
Peso bajo	0
Ideal	16
Sobrepeso	14
Obeso	1
Obesidad severa	0

Cuadro 4.3: Enfermedades halladas en personas con y sin diabetes por medio del IMC

Coefficiente de Pearson	Correlación
$0.9 < R < 1$	Muy Buena
$0.8 < R < 0.9$	Buena
$0.6 < R < 0.8$	Regular
$0.2 < R < 0.6$	Mala
$0 < R < 0.2$	No existe correlación

Cuadro 4.4: Intervalos de valores del coeficiente de Pearson R y su correspondiente correlación.

4.1. Comparaciones de temperatura en la pierna derecha de personas con diabetes y sin diabetes

En excel se realizó un test ANOVA para comparar los datos de temperatura de la pierna derecha de cada una de las personas con diabetes y sin diabetes. Las variables son región de la pierna y puntos en esa región. El cuadro 4.5 muestra los valores de p obtenidos, estos indican si existen diferencias de temperatura entre los distintos puntos de una región. Como se menciono anteriormente el valor de significancia p que se eligió para nuestro análisis de datos fue de 0.05, por lo que valores menores a este nos dice que hay diferencias entre las medias.

Nos interesa saber cuáles son los puntos de cada región donde se generan dichas diferencias, por lo que se realizó una prueba Tukey en las zonas donde el valor del test ANOVA salió menor a 0.05. En dicha prueba se obtuvo la diferencia mínima significativa HSD (Honestly-significant-difference, por sus siglas en inglés), que es un valor de referencia

con el que se comparan las diferencias de las medias. Si al realizar los cálculos se obtiene que el valor absoluto de dichos datos es un valor mayor al HSD entonces existe diferencias de medias en esa región.

En el cuadro 4.6 se observan los valores HSD obtenidos en las regiones de la pierna donde se habían hallado diferencias. La prueba se realizó en pierna derecha de personas con diabetes y sin diabetes hallando diferencias en los puntos de parte exterior del tobillo, parte posterior de la pierna y en espinilla.

Pierna derecha de diabéticos	Valor de p al comparar puntos
Planta del pie	0.09
Parte interior de tobillo	0.98
Parte exterior de tobillo	0.00
Parte posterior de la pierna	0.00
Empeine	0.14
Espinilla	2.41E-05
Pierna derecha de sanos	Valor de p al comparar puntos
Planta del pie	0.40
Parte interior del tobillo	0.49
Parte exterior del tobillo	0.00
Parte posterior de la pierna	0.01
Empeine	0.10
Espinilla	0.00

Cuadro 4.5: Valores de p en distintas zonas de la pierna derecha de sujetos con y sin diabetes. En el cuadro se usa el término de sanos refiriéndose a personas sin diabetes.

Los valores de HSD que se obtuvieron en personas con diabetes fueron: HSD=0.54 para espinilla, HSD=0.48 para parte posterior de la pierna(PPDP) y HSD=0.36 para parte exterior del tobillo (PEDT). El cuadro 4.3 muestra los puntos en donde se hallaron diferencias de medias (donde los valores fueron mayores al HSD obtenido), los puntos 1 y 2 con los puntos 5 y 6 de la PEDT presentan diferencias de medias, mientras que en la PPDP hay diferencia entre el punto 1 y 7. Y por último en la espinilla los puntos 8 y 9 tienen diferencias con los puntos 1,2,3 y 4 (Ver cuadro 4.8).

En personas sin diabetes se observa que existen diferencias en la espinilla, parte posterior de la pierna (PPDP) y en la parte exterior del tobillo (PEDT). Obteniendo que en la espinilla el punto 1 se diferencia del punto 5, 6, 7, 8 y 9. Se observan diferencias del punto 1 con los puntos 4, 5, 6 y 7 en la PPDP; para la PEDT en punto 1 tiene diferencias con los puntos 5 y 6 (Ver cuadro 4.3).

4.2. COMPARACIONES DE TEMPERATURA EN LA PIERNA IZQUIERDA DE PERSONAS CON DIABETES Y SIN DIABETES

Pierna de derecha de personas con diabetes					
	Espinilla HSD=0.54				
	Punto 8	Punto 9			
Punto 1	-0.60	-0.84			
Punto 2	-0.44	-0.67			
Punto 3	-0.40	-0.64			
Punto 4	-0.31	-0.54			
	Parte posterior de la pierna HSD=0.38				
	Punto 7				
Punto 1	-0.48				
	Parte exterior del tobillo HSD=0.36				
	Punto 5	Punto 6			
Punto 1	-0.38	-0.46			
Punto 2	-0.45	-0.53			
Pierna de derecha de personas sin diabetes					
	Espinilla HSD=0.54				
	Punto 5	Punto 6	Punto 7	Punto 8	Punto 9
Punto 1	-0.54	-0.53	-0.56	-0.57	-0.60
	Parte posterior de la pierna HSD=0.54				
	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7	
Punto 1	0.66	0.59	0.60	0.59	
	Parte exterior del tobillo HSD=0.53				
	Punto 5	Punto 6			
Punto 1	-0.57	-0.67			

Cuadro 4.6: Prueba Tukey realizada a los datos de temperatura de distintos puntos de la parte exterior, parte posterior de la pierna y espinilla derecha de personas con y sin diabetes.

4.2. Comparaciones de temperatura en la pierna izquierda de personas con diabetes y sin diabetes

El cuadro 4.7 muestra los valores de p obtenidos al comparar los datos de la pierna izquierda de sujetos con diabetes con los de sujetos sin diabetes. En personas con diabetes se hallaron diferencias en la parte interior del tobillo entre el punto 2 y 4, y en la parte posterior de la pierna entre el punto 3 y 7. En personas sin diabetes se observan diferencias en el punto 1 con los puntos 8 y 9 de la espinilla(ver cuadro 4.8).

En la figura 4.1 se muestra a modo de resumen los resultados obtenidos en las secciones 4.1 y 4.2. Se observan las zonas de los distintos grupos de piernas que se midieron, los puntos que se encuentran de color naranja denotan una temperatura mayor a los puntos en azul.

Pierna izquierda de diabéticos	Valor de p al comparar puntos
Planta del pie	0.10
Parte interior del tobillo	0.00
Parte exterior del tobillo	0.64
Parte posterior de la pierna	0.02
Empeine	0.22
Espinilla	0.08
Pierna izquierda de sanos	Valor de p al comparar puntos
Planta del pie	0.85
Parte interior del tobillo	0.22
Parte exterior del tobillo	0.42
Parte posterior del tobillo	0.08
Empeine	0.36
Espinilla	0.00

Cuadro 4.7: Valores de p en distintas zonas de la pierna izquierda de sujetos con y sin diabetes.

Prueba Tukey en pierna izquierda de personas con diabetes		
	Parte interior de tobillo HSD=0.33	
	Punto 4	
Punto 2	-0.36	
	Parte posterior de pierna HSD=0.33	
	Punto 7	
Punto 3	-0.42	
Prueba Tukey en pierna izquierda de personas sin diabetes		
	Espinilla HSD=0.28	
	Punto 8	Punto 9
Punto 1	-0.37	-0.36

Cuadro 4.8: Prueba Tukey realizada a los datos de temperatura de distintos puntos de la parte interior del tobillo(PIDT) y PPDP izquierdo de personas con diabetes. En personas con diabetes se realizó la prueba Tukey realizada a los datos de temperatura de distintos puntos de la espinilla.

En la Figura 4.1 a) se observa las diferencias halladas en la pierna derecha de personas con diabetes. En la parte exterior del tobillo se encontró que los puntos 1 y 2 tienen menor temperatura que los puntos 5 y 6. Para el caso de la parte posterior de la pierna se tiene que el punto 1 da una temperatura menor al punto 7. Mientras que en la espinilla los puntos 1, 2, 3 y 4 tienen temperaturas menores a los puntos 8 y 9. Encontrando que los puntos más cercanos a la planta del pie tienen menor temperatura que los que se encuentran más alejados de esta.

En la Figura 4.1 b) se muestra el caso de la pierna derecha de personas sin diabetes. Encontrando que en la parte exterior del tobillo se tiene casi el mismo resultado observado en la pierna derecha de personas con diabetes, en este caso solo el punto 1 tiene una menor

4.2. COMPARACIONES DE TEMPERATURA EN LA PIERNA IZQUIERDA DE PERSONAS CON DIABETES Y SIN DIABETES

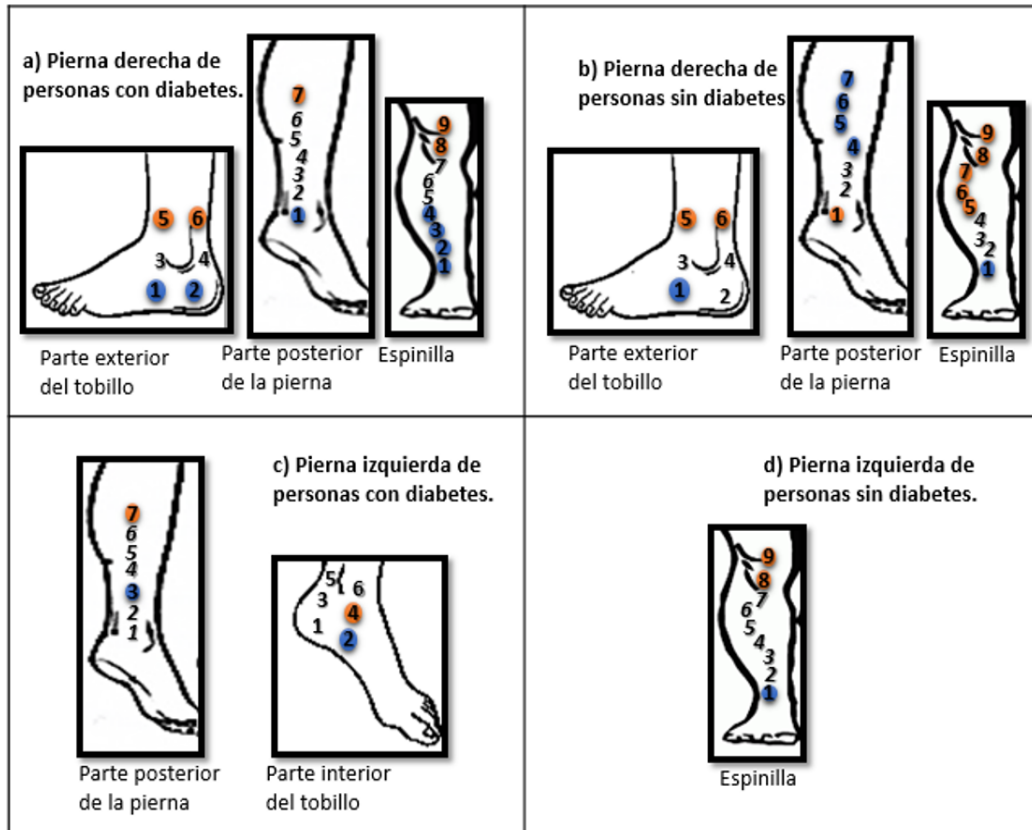


Figura 4.1: Diferencias de temperatura. Halladas en pierna derecha de a) personas con diabetes y b) personas sin diabetes. En c) pierna izquierda de personas con diabetes y d) personas sin diabetes. Los puntos en color naranja indican que la temperatura es mayor a la temperatura de los puntos en color azul

temperatura que los puntos 5 y 6. Mientras que en la parte posterior de la pierna el punto 1 ahora tiene una mayor temperatura que el punto 4, 5, 6 y 7. Para la espinilla el punto 1 tiene valores de temperatura menores a los puntos 5, 6, 7, 8 y 9.

En la pierna izquierda de personas con diabetes (Figura 4.1 c) se tiene que el punto 3 de la parte posterior de la pierna tiene valores de temperatura menores al punto 7. Y en cuanto a la parte interior del tobillo se observan diferencias térmicas entre el punto 1 y 4, donde el punto 4 tiene una mayor temperatura. Finalmente en la Figura 4.1 d) se muestra la pierna izquierda de personas sin diabetes, la cuál presenta diferencias de temperatura en espinilla entre los puntos 1, 8 y 9. Siendo el punto 1 el de menor temperatura.

En la Figura 4.2 se pueden observar las venas y arterias que se encuentran en la pierna. Vemos que en la parte posterior de la pierna existe una mayor cantidad de musculo, esto

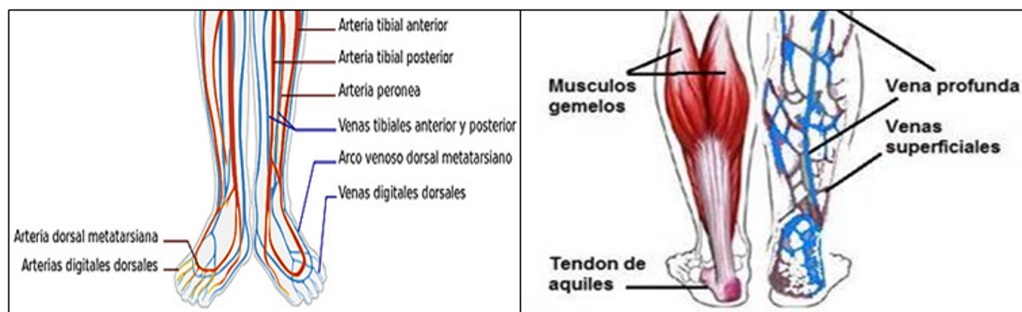


Figura 4.2: a) En la imagen de la izquierda se observan las distintas venas y arterias de la parte anterior de la pierna. b) Se muestran las venas en la parte posterior de la pierna, las cuáles se encuentran cubiertas por una gran parte del musculo.

probablemente influenció las lecturas de temperatura en esa zona.

4.3. Comparaciones de temperatura entre diabéticos y no diabéticos

Se realizó una prueba ANOVA para hallar diferencias de temperatura entre personas con diabetes y personas sin diabetes. De dicha prueba se obtuvo que hay diferencias de temperatura en todas las zonas la pierna. Con una prueba Tukey se encontraron los valores del Cuadro 4.9 que muestran que en todas las regiones de la pierna existen diferencias significativas entre diabéticos y sanos. Donde las personas con diabetes presentan una menor temperatura en ambas piernas.

4.4. Comparaciones de SpO_2 , ITB, IMC, frecuencia cardíaca, cintura y calibración de grasa entre diabéticos y no diabéticos

Se compararon los datos obtenidos de la SpO_2 , ITB, IMC, frecuencia cardíaca, cintura y calibración de grasa. Las comparaciones se realizaron entre diabéticos y no diabéticos, en el Cuadro 4.10 se observan diferencias significativas en la SpO_2 y en la cintura. Hallándose diferencias de SpO_2 entre pie izquierdo sin diabetes y pie izquierdo con diabetes (ver

4.4. COMPARACIONES DE SPO_2 , ITB, IMC, FRECUENCIA CARDÍACA, CINTURA Y CALIBRACIÓN DE GRASA ENTRE DIABÉTICOS Y NO DIABÉTICOS

Planta del pie			
HSD=0.39	Izquierdo sin diabetes	Derecho con diabetes	Derecho sin diabetes
Izquierdo con diabetes	-1.32		-0.90
Izquierdo sin diabetes		1.15	0.41
Derecho con diabetes			-0.74
Parte interior del tobillo			
HSD=0.23	Izquierdo sin diabetes	Derecho con diabetes	Derecho sin diabetes
Izquierdo con diabetes	-0.91		-0.78
Izquierdo sin diabetes		0.93	
Derecho con diabetes			-0.79
Parte posterior de la pierna			
HSD=0.29	Izquierdo sin diabetes	Derecho con diabetes	Derecho sin diabetes
Izquierdo con diabetes	-0.93		
Izquierdo sin diabetes		0.89	
Derecho con diabetes			-0.88
Parte exterior del tobillo			
HSD=0.29	Izquierdo sin diabetes	Derecho con diabetes	Derecho sin diabetes
Izquierdo con diabetes	-1.125	0.3112	-0.61
Izquierdo sin diabetes		1.44	0.51
Derecho con diabetes			-0.92
Empeine			
HSD=0.19	Izquierdo sin diabetes	Derecho con diabetes	Derecho sin diabetes
Izquierdo con diabetes	-1.06	0.32	-0.91
Izquierdo sin diabetes		1.38	
Derecho con diabetes			-1.22
Espinilla			
HSD=0.22	Izquierdo sin diabetes	Derecho con diabetes	Derecho sin diabetes
Izquierdo con diabetes	-0.83		-1.58
Izquierdo sin diabetes		0.85	-0.75
Derecho con diabetes			-1.60

Cuadro 4.9: Prueba tukey realizada a los datos de temperatura obtenidos de las seis regiones de la pierna. Con el fin de hallar diferencias entre diabéticos y no diabéticos

Cuadro 4.11).

Las personas con diabetes presentan valores mayores a 80 cm en longitud de cintura y los valores de SpO_2 son menores en personas sin diabetes.

Variables que se midieron	Valor de p al comparar diabéticos y sanos
SpO_2	0.01
Frecuencia cardíaca	0.45
ITB	0.81
IMC	0.59
Cintura	0.02
CG	0.20

Cuadro 4.10: Valores de p al comparar SpO_2 , ITB,IMC y CG de diabeticos vs no diabeticos.

SpO_2 HSD=14.51	Pie izquierdo sin diabetes
Pie izquierdo con diabetes	16.27

Cuadro 4.11: Prueba tukey realizada a los valores de SpO_2 para compararlos entre las extremidades de diabeticos y no diabeticos.

4.5. Correlaciones obtenidas entre las variables medidas.

Una vez que se encontró diferencias en las variables medidas, se busco la existencia de alguna correlación entre estas. En esta sección se muestran distintas gráficas con su coeficiente de correlación de Pearson, el cuál da el porcentaje de variación de la variable dependiente debida a la variación en la variable independiente. En cada par de gráficas se utilizó la transformación Z de Fisher para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los coeficientes de correlación obtenidos.

La primera correlación que se muestra es la de la cintura con la calibración de grasa (CG) de personas con diabetes y sin diabetes. En el caso de personas sin diabetes se hallo un valor de correlación de 0.5775. Posteriormente se obtuvo básicamente el mismo gráfico pero en personas con diabetes (ver Figura 4.3). Obteniendo un coeficiente de correlación de 0.5184. En este caso la condición de diabetes disminuye el porcentaje de correlación entre longitud de cintura y CG.

Se hallaron correlaciones entre el IMC y CG en personas con y sin diabetes (ver Figura 4.4). En personas sin diabetes se tiene que la CG se correlaciona con el IMC con $R^2 = 0,6121$, mientras que en personas con diabetes se tiene $R^2 = 0,4709$.

Al graficar datos de IMC en contra datos de cintura en personas con y sin diabetes también se encuentran correlaciones (ver Figuras 4.5). En el caso de personas sin diabetes el IMC se correlaciona con la longitud de la cintura y se tiene $R^2 = 0,5395$. Mientras que en personas con diabetes se tiene un $R^2 = 0,8841$, esto implica una alta correlación. Lo que se puede traducir en que una personas con diabetes al aumentar la longitud de su cintura aumenta sus probabilidades de sufrir problemas de peso, lo mismo se observa en personas sin diabetes pero sus probabilidades son menores que las de los diabéticos.

Por último se hallo una correlación entre los datos de SaO_2 con los de ITB en el

4.5. CORRELACIONES OBTENIDAS ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS.

pie izquierdo de personas sin diabetes, obteniendo $R^2 = 0,8467$, siendo esta una buena correlación. Indicando que conforme la SpO_2 en el pie izquierdo de personas sin diabetes disminuye entonces aumenta la probabilidad de tener calcificación arterial. Mientras que para el pie izquierdo de personas con diabetes existe una mala correlación entre las mismas variables, ya que $R^2 = 0,0017$ (ver Figura 4.6).

En los coeficientes de correlación de cada par de gráficas se realizó la transformación de Fisher. Obteniendo valores de Z, si estos valores son positivos implica que el coeficiente de correlación de la primera gráfica es mayor al de la segunda gráfica, si son negativos entonces se tiene el caso contrario. Además se hallaron los valores de p para ver si las diferencias entre los coeficientes de correlación son significativas, ver cuadro 4.12.

Se observa que para el gráfico IMC vs Cintura existe una menor correlación en personas sin diabetes que en personas con diabetes. En el caso del gráfico ITB vs SpO_2 se tiene el caso contrario en personas sin diabetes se tiene una mayor correlación que diabéticos.

Gráfica	Valor de Z	Implicación	Valor de p
Calibración de grasa vs Cintura	0.23	$R_a > R_b$	0.8181
Calibración de grasa vs IMC	0.54	$R_a > R_b$	0.5892
IMC vs Cintura	-2.14	$R_a < R_b$	0.0324
ITB vs SpO_2	2.52	$R_a > R_b$	0.0214

Cuadro 4.12: Valores de Z y p hallados al realizar la transformación de Fisher.

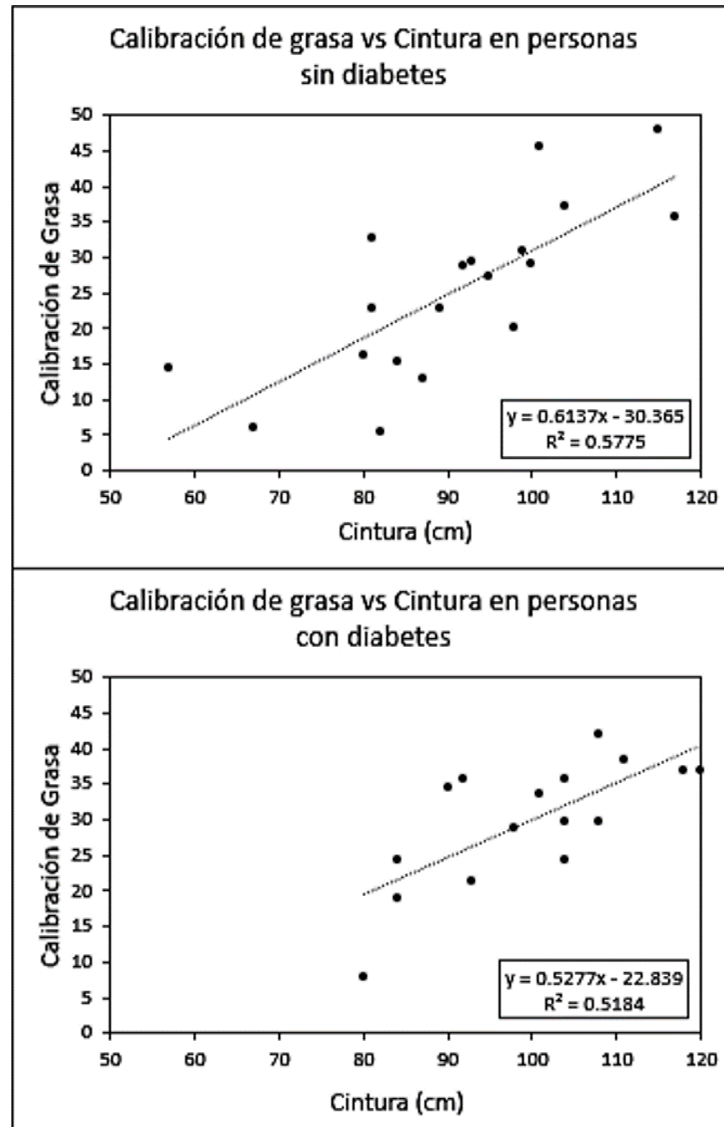


Figura 4.3: Gráficas de la longitud de la cintura vs la calibración de grasa (CG) en personas sin y con diabetes. Se tiene un coeficiente de correlación de 0.5775 en personas sin diabetes y uno de 0.5184 en personas con diabetes.

4.5. CORRELACIONES OBTENIDAS ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS.

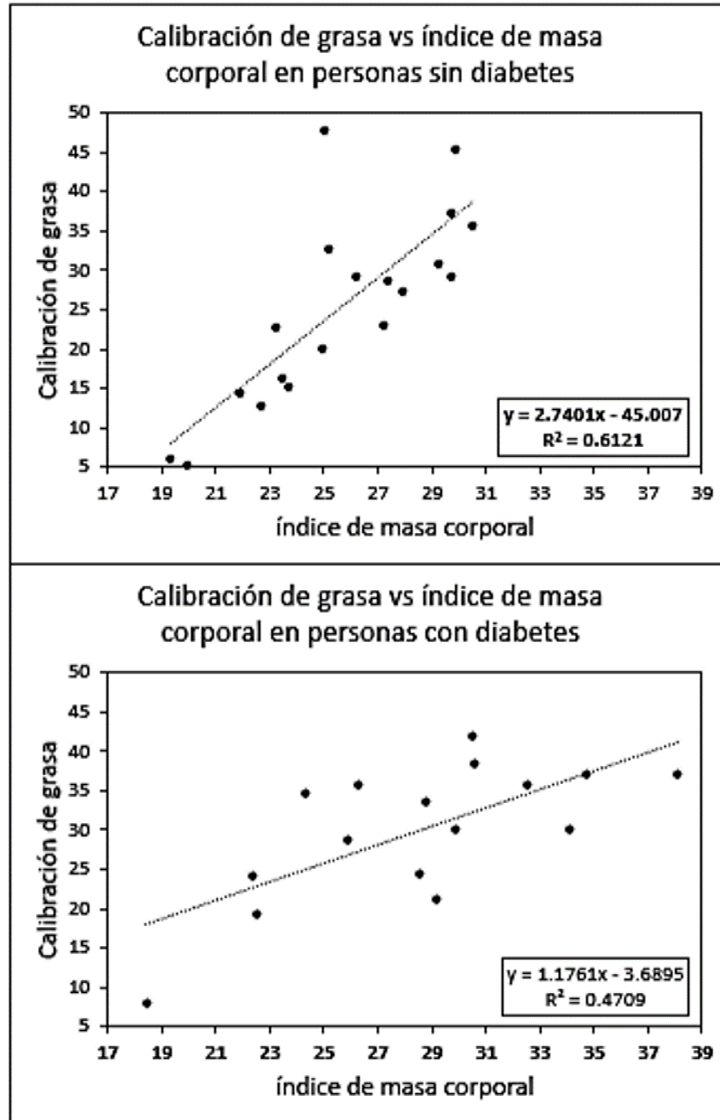


Figura 4.4: Gráficas de índice de masa corporal (IMC) vs CG en personas con y sin diabetes. Se tiene un coeficiente de correlación de 0.6121 en personas sin diabetes y uno de 0.4709 en personas con diabetes.

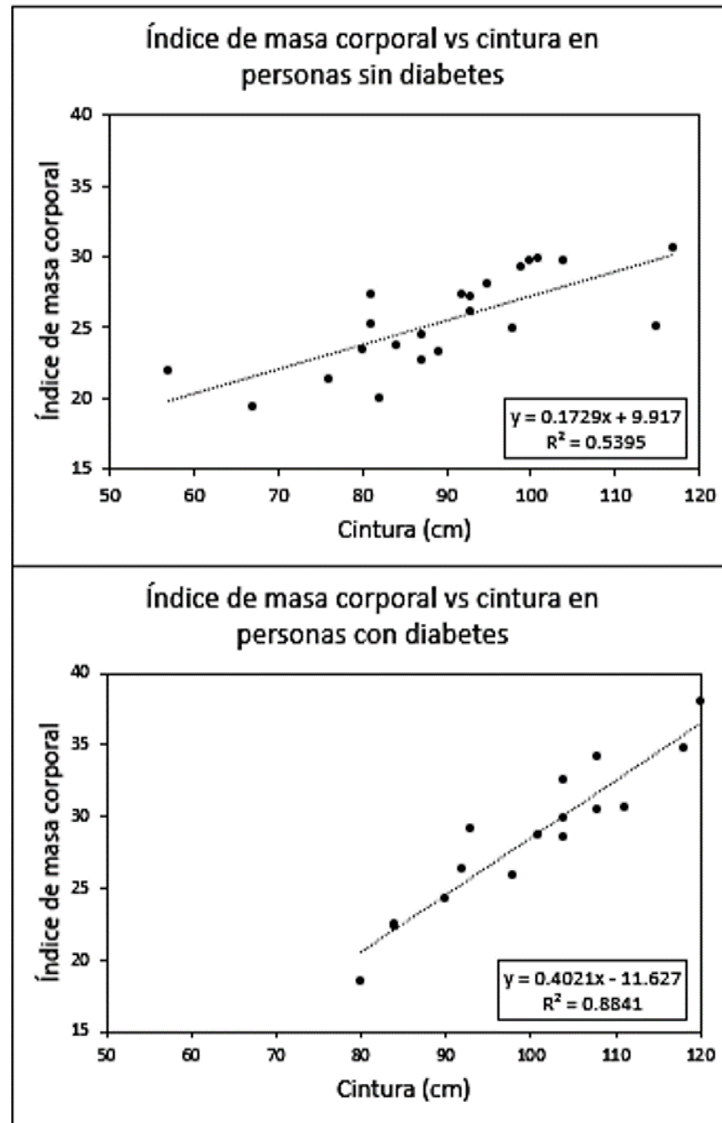


Figura 4.5: Gráficas de la longitud de la cintura vs IMC en personas con y sin diabetes. Se tiene un coeficiente de correlación de 0.5395 en personas sin diabetes y uno de 0.8841 en personas con diabetes.

4.5. CORRELACIONES OBTENIDAS ENTRE LAS VARIABLES MEDIDAS.

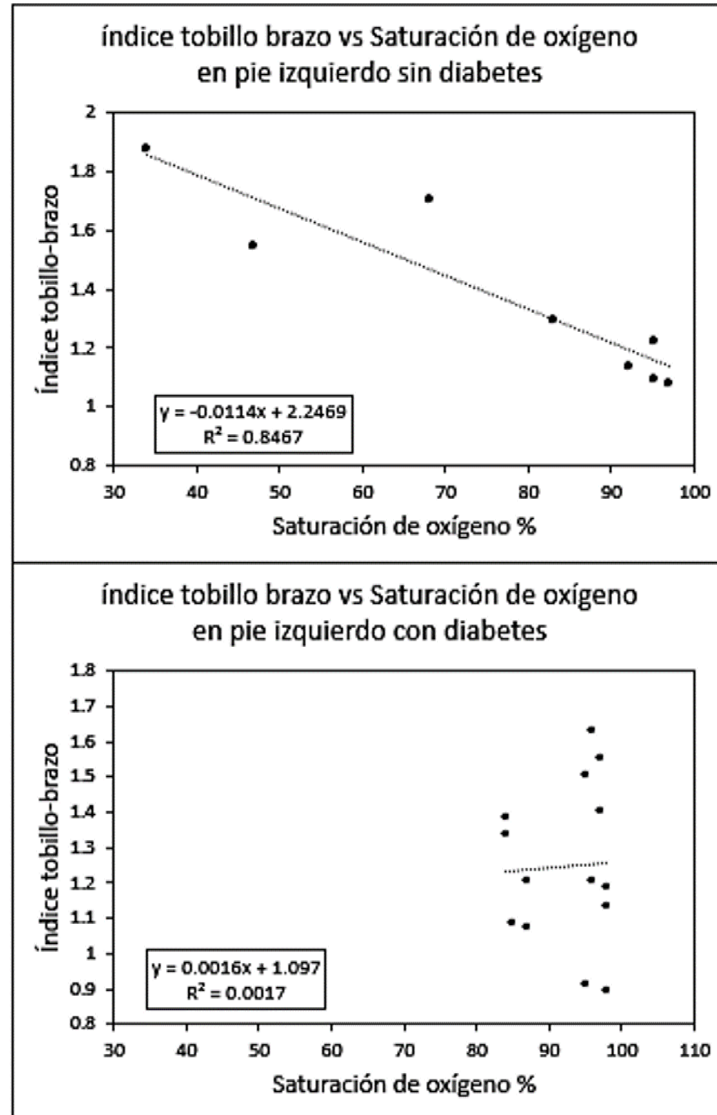


Figura 4.6: Gráficas de SaO₂ vs ITB en pierna izquierda de personas con y sin diabetes. Se tiene un coeficiente de correlación de 0.8467 en personas sin diabetes y uno de 0.0017 en personas con diabetes.

Capítulo 5

Discusión

Existen factores que pueden haber influido en los resultados, uno de estos factores es el tamaño de las muestras que puede considerarse pequeño, y por lo tanto los resultados no son extrapolables a la sociedad en general. Pero por otro lado estos resultados dan una idea general de la condición en personas sanas y diabéticas. Permitiendo observar singularidades que se podrían investigar en un futuro con mayor detalle y realizar mediciones en una muestra de mayor tamaño.

Los datos obtenidos en la medición de SpO_2 pudieron verse afectados por el movimiento del paciente, la mala colocación del oxímetro, la luz del medio ambiente y por el hecho de que ciertas personas eran fumadoras o porque previo al estudio realizaron alguna actividad física. Sin embargo para disminuir lo más posible errores en las lecturas de SpO_2 se tomaron ciertas medidas. Estas medidas fueron: Mantener 5 minutos en reposo a la persona, colocar el oxímetro lo más justo posible y cubrir el oxímetro para disminuir la influencia de la luz ambiental. A pesar de las medidas tomadas se debe de considerar que las lecturas obtenidas aun pueden presentar anomalías debido a los factores antes mencionados.

En la toma de temperatura las medidas se realizaron en distintos lugares y en diferentes días, por lo que esto probablemente sea un factor que afectó a los datos obtenidos. Por otro lado el tamaño de la muestra de esta variable fue mayor debido a la cantidad de puntos donde se realizaron las tomas de datos, lo que permite que se tenga una mayor

aproximación a la temperatura real de las piernas.

Para el caso de la calibración de grasa las mediciones se vieron afectadas por las distintas complejidades de las personas, ya que en algunos casos se dificultaba medir el grosor del pliegue de piel porque no era posible sostenerlo por mucho tiempo. Por tal razón se realizaron tres medidas por persona y al final se realizó un promedio de estas. Todas estas condiciones se consideraron como alteraciones en los valores obtenidos y que pudieron afectar de forma sustancial los resultados a los que se llegaron.

Se observan en los resultados que las personas con diabetes presentan una menor temperatura. Esto se le puede atribuir al alto nivel de glucosa en la sangre de los diabéticos. Como referencia a esto se tiene que en un artículo de endocrinología se menciona que es frecuente encontrar hiperglucemia en pacientes hipotérmicos, debida a la disminución de la liberación de insulina pancreática, al bloqueo de su acción periférica y al aumento de la gluconeogénesis por acción de los mecanismos termorreguladores [15].

En la Figura 4.5 se observa que en personas con diabetes existe una mayor correlación entre el IMC y la longitud de la cintura. Debido a la edad de las personas existe poca probabilidad de que la estatura varíe conforme al tiempo por lo que el IMC debe depender únicamente del peso. Entonces se puede decir que el aumento de la longitud de la cintura en diabéticos es proporcional a su aumento de peso. En el caso de personas sanas el aumento en la longitud de la cintura influye en menor proporción.

En la Figura 4.6 se observa una alta correlación entre el ITB y la SpO_2 . En personas sin diabetes se observa que conforme se disminuye la SpO_2 se tiene una mayor probabilidad de presentar calcificación arterial. Esto se puede deber a que en este grupo de personas se presentan casos de isquemia, que produce una disminución de oxígeno en la sangre. Las causas que provocan esta condición son: Colesterol o triglicéridos altos, hipertensión, sobrepeso, consumo de tabaco, inactividad física, estrés, edad avanzada. En el grupo de personas sin diabetes varias se encuentran con sobrepeso y con valores de presión arterial altos, por lo que estas pueden ser las razones que justifiquen el resultado hallado.

Una vez realizada la discusión de los resultados, proseguimos con las conclusiones obtenidas.

Capítulo 6

Conclusiones

La finalidad de esta tesis era hallar singularidades en variables fisiológicas en personas con diabetes y sanas, todas las mediciones realizadas nos permiten obtener las siguientes conclusiones.

- La temperatura en personas con o sin diabetes va disminuyendo conforme nos acercamos a la parte inferior de la pierna.
- La temperatura en las extremidades inferiores es menor en personas con diabetes.
- Las personas con diabetes presentan tendencia a tener una longitud de tamaño de cintura mayor a los 80cm, por lo que la longitud de la cintura es un factor de riesgo que aumenta la probabilidad de tener diabetes.
- La SpO_2 en pie izquierdo es menor en personas sin diabetes.
- El aumento en la longitud de la cintura puede generar un aumento en el grosor del pliegue del abdomen. El mismo efecto sucede con el aumento del IMC.
- En personas con diabetes el aumento de la longitud de la cintura se tiene una alta correlación con el aumento del IMC. En el caso de personas sin diabetes también existe esta correlación pero en menor proporción.
- En personas sin diabetes pero con problemas de peso y de presión arterial alta, valores de SpO_2 bajos pueden indicar la existencia de calcificación arterial en piernas.

- La calcificación arterial se presenta tanto en personas con y sin diabetes. Pero estas condiciones son las que en un futuro pueden promover la aparición de úlceras y por ende a la aparición de pie diabético.

Apéndice A

Abreviaturas

DM.- Diabetes Mellitus.

PD.- Pie diabético.

IMC.- Índice de masa corporal.

ITB .- Índice tobillo-brazo.

IR.- Infrarrojo.

PEDT.- Parte exterior del tobillo.

PIDT.- Parte interior del tobillo.

PPDT.- Parte posterior del tobillo.

CG.- Calibración de grasa.

SpO₂.- Saturación porcentual de oxígeno

Apéndice B

Definición de términos médicos

Arteriolas.- Vaso sanguíneo de pequeña dimensión, que resulta de ramificaciones de las arterias y libera la sangre hacia los capilares[17].

Capilares.- Vasos sanguíneos de menor diámetro, están formados solo por una capa de tejido, lo que permite el intercambio de sustancias entre la sangre y las sustancias que se encuentran alrededor de ella[17].

Desbridamiento.- Eliminación del tejido muerto, dañado o infectado de la herida para evitar mas daño en el tejido restante.

Endotelio.- Tejido formado por una sola capa de células que se encuentra en el interior del corazón y otras cavidades internas.

Epitelio.- Tejido formado por células planas o prismáticas, que se encuentran estrechamente unidas y recubren la superficie externa del cuerpo y de ciertos órganos interiores.

Hiper glucemia.- Aumento de la cantidad de glucosa que hay en la sangre.

Hipoestesia.- Disminución de la sensibilidad

Isquemia.- Disminución de la circulación de sangre que pasa por las arterias de una determinada zona, que a su vez provoca falta de oxígeno y de nutrientes en la parte afectada.

Membrana Basal.- Es una hoja delgada de fibras que subyace en el epitelio, que las líneas de las cavidades y las superficies de órganos, incluyendo la piel, o el endotelio, que recubre la superficie interior de los vasos sanguíneos[18].

Termometría.- El estudio de mediciones de temperatura

Vaso sanguíneo.- Estructura hueca y tubular encargada de conducir la sangre impulsada por el corazón y de recoger la sangre de todo el cuerpo.

Venula.- Un tipo de vaso sanguíneo a través de la cual retorna la sangre hacia el corazón después de haber pasado por los capilares.

Bibliografía

- [1] *Juan López M, Kuri Morales PA, González Roldán JF, Ruiz Matus C, Revuelta Herrera MA* Boletín Epidemiológico Diabetes Mellitus Tipo 2, Primer Trimestre-2013,
- [2] *Dávila Cervantes CA, Pardo Montaña AM, Diabetes mellitus: Aporte al cambio en esperanza de vida en México 1990, 2000 y 2010, Rev. salud pública. 16(6):910-923, 2014*
- [3] *Hernández Ávila M, Gutiérrez JP* Encuesta nacional de salud y nutrición 2012, evidencia para la política pública en salud. Diabetes Mellitus: La urgencia de reforzar la respuesta en políticas públicas para su prevención y control.
- diabetes tipo 1 y tipo 2 (Guide for people with diabetes: type 1 and type 2)
- [4] *Pie Diabético* PDF, Dra. Nayeli Gabriela Jiménez Saab Médico Internista e Inmunoalergólogo nayelisaab@hotmail.com <http://cmim.org/educacion-pacientes/Trabajos/PIE-DIABETICO.pdf>
- [5] *ETIOPATOGENIA DEL PIE DIABÉTICO. Blanes JI., Lluch I., Morillas C., Nogueira JM., Hernández A.*
- [6] *El pie diabético* Editorial MASSON Barcelona 2002, F.Javier Aragón Sánchez, Pedro Pablo Ortiz Remacha
- [7] *IS AN INCREASE IN SKIN TEMPERATURE PREDICTIVE OF NEUROPATHIC FOOT ULCERATION IN PEOPLE WITH DIABETES? A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS* J Foot Ankle Res. 2013; 6: 31. Published online 2013 Aug 7. doi: 10.1186/1757-1146-6-31 PMID: PMC3750703 Vanessa J Houghton,1 Virginia M Bower, 1,3 and David C Chant2

- [8] *International Best Practice Guidelines: Wound Management in Diabetic Foot Ulcers. Wounds International, 2013* Disponible en: www.woundsinternational.com
- [9] *Introduction to medical imaging physics, engineering and clinical applications. Nadine Barrie Smith Andrew Webb*
- [10] *Principles of Non-Contact Temperature Measurement Klaus-Dieter Gruner*
- [11] *RADIACIONES NO IONIZANTES Bengt Knave*
- [12] *memoria.pdf*
- [13] *chap04.pdf*
- [14] *Libro de estadística*
- [15] *Curry DL, Curry KP. Hypothermia and Insulin secretion. Endocrinology 1970; 87: 750-755.*
- [16] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4174050/>
- [17] <http://es.wikipedia.org/wiki/>
- [18] <http://lasaludfamiliar.com/caja-de-cerebro/conocimiento-7669.html>