



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS
**INSTRUMENTACIÓN DE LA RELACIÓN DE EJERCICIO
DEL CORAZÓN**

Presenta:

ANGEL ARTURO NAVARRO GUTIÉRREZ

Para obtener el Título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Asesor de Tesis:

DR. GILBERTO GONZALEZ AVALOS

Morelia, Michoacán, Diciembre del 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera inmensurable a dios por nunca abandonarme.

Agradezco a mi familia por mi formación como persona, a mi madre por la educación que me ha aportado, por su apoyo infinito y su indudable fe en mí, a mi padre por el apoyo y educación que nunca me ha faltado, a mi hermano por la fe que me ha tenido.

Quiero agradecer de todo corazón a mis padres porque siempre estuvieron conmigo apoyándome en todo, agradecer su paciencia, el cariño que han brindado a lo largo de toda mi vida. Es un orgullo para mí ser parte de esta familia.

Y a todos mis amigos que en lo largo de este camino nos hemos apoyado, hemos reído, sufrido y superado adversidades.

DEDICATORIAS

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. A mi familia quienes por ellos soy lo que soy.

Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar. A mi sobrino Matheus quien ha sido y es una mi motivación, inspiración y felicidad

ÍNDICE

Agradecimientos	II
Dedicatorias	III
Índice	IV
Resumen	VII
Abstract	VIII
Palabras clave	IX
Keywords	X
Lista de figuras	XI
Lista de tablas	XV
Glosario de términos	XVII
1 Capítulo 1 introducción	1
1.1 Instrumentación del corazón	1
1.2 Bio-instrumentación	4
1.3 Objetivo	6
1.4 Justificación	6
1.5 Metodología	7
1.6 Contenido de la Tesis	7
2 Capítulo 2 Antecedentes de los Sistemas de Instrumentación	8
2.1 Antecedentes Históricos	8
2.2 Instrumentación Electrónica	12
2.3 Instrumentación para el Corazón	37

3	Capítulo 3 Sensores de la Relación de Ejercicio	49
3.1	Introducción	49
3.2	Anatomía del corazón	49
3.3	Actividad eléctrica del corazón	52
3.4	ritmo cardiaco	53
3.5	Ciclo cardiaco	54
3.6	frecuencia cardiaca	55
3.7	Técnicas de medición	56
3.7.1	Pulso arterial	56
3.7.2	Método de auscultación	57
3.7.3	Fotopletismografía	59
3.7.4	Electrocardiograma	60
3.8	Monitores de frecuencia cardiaca	61
3.8.1	Reloj FT7 Polar	61
3.8.2	Monitor de frecuencia cardiaca de ejercicio (exercise monitor heartrate sensor)	62
3.8.3	Camiseta inteligente	63
3.8.4	Electrocardiogramas mediante un dispositivo portátil del tamaño de una tira	64
4	capítulo 4 Instrumentación de Relación de Ejercicio	66
4.1	Vernier Software & Technology	66
4.2	labpro	66
4.3	labquest 1	67
4.4	labquest 2	69
4.5	Sensores de labquest	71

4.5.1	Sensor de Corriente Eléctrica _____	71
4.5.2	Sensor de Campo Magnético. _____	72
4.5.3	Sensor de Temperatura _____	73
4.5.4	Sensor de Carga _____	74
4.5.5	Sensor de Relación de Ejercicio _____	74
4.6	Aplicación del Sensor “Exercise Heart Rate Monitor” a Casos Reales _____	75
4.7	¿Qué es la frecuencia cardiaca en reposo? o FCR _____	95
4.8	¿Qué es la frecuencia cardiaca en máxima? o FCMAX _____	95
5	capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones _____	99
5.1	Conclusiones _____	99
5.2	Los beneficios de medir la frecuencia cardiaca son: _____	100
5.3	Recomendaciones _____	101
	Bibliografía _____	103

RESUMEN

El presente trabajo de tesis expone la investigación e implementación de un instrumento electrónico que permita el análisis de señales cardíacas. Este dispositivo electrónico está constituido por algunas características que poseen los electrocardiógrafos para pruebas de esfuerzo, en pocas palabras este dispositivo permitirá a la persona que se está analizando la capacidad de realizar ejercicio físico mientras se le realiza el examen.

El dispositivo que se pretende implementar es un sensor que se coloca en la parte frontal del pecho por lo que es ideal para correr, ciclismo y otras actividades físicas, dicho sensor lleva el nombre de monitor del ritmo cardíaco del ejercicio modelo (EHR-BTA), es una excelente opción de manos libres para el seguimiento continuo de la frecuencia cardíaca antes, durante y después del ejercicio. En donde los datos se transmiten de forma inalámbrica a una interfaz de Vernier con el receptor de frecuencia cardíaca. Los datos también pueden ser transmitidos a través de Bluetooth para LabQuest.

Mediante la interfaz Vernier LabQuest se visualiza mediante una pantalla o también mediante una computadora cada una de las señales que envía el sensor, las cuales podrán ser almacenadas en una base de datos, con esto el paciente podrá realizar el examen en cualquier lugar, para después ser enviadas a través de la red o incluso impresas y ser mostradas a un especialista, quien podrá revisarlas desde el punto donde se encuentre a distancia remota del paciente.

ABSTRACT

The present work of thesis, exposes the investigation and implementation of an electronic instrument that allows the analysis of cardiac signals. This electronic device consists of some features that the electrocardiographs possess for stress testing, and the words that this device allows the person who is analyzing the ability to perform physical exercise while performing the test.

The device that is applied is a sensor that is placed on the front of the chest making it ideal for running, cycling and other physical activities, which sensor bears the name of the exercise model heart rate monitor (EHR-BTA), Is an excellent hands-free option for continuous monitoring of heart rate before, during and after exercise. Where data is transmitted wirelessly to a Vernier interface with the heart rate receiver. Data can also be transmitted via Bluetooth to LabQuest.

Through the interface of Vernier LabQuest is displayed through a screen and also through a computer each of the signals sent by the sensor, which are stored in a database, with this the patient can perform the examination anywhere, later Be sent through the red or even prints and be shown to a specialist, who can check from the point where they are a remote distance from the patient.

PALABRAS CLAVE

Electrocardiograma, sensor, monitor de ritmo cardiaco del ejercicio, instrumentación, corazón, frecuencia cardiaca, interfaz.

KEYWORDS

Electrocardiogram, sensor, exercise monitor heart rate, instrumentation, heart, heart rate, interface.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ESTRUCTURA DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN.	2
FIGURA 1.2 TIPOS DE VARIABLES. REPRESENTACIÓN DE (A) UNA VARIABLE ANALÓGICA Y (B) UNA VARIABLE DIGITAL.	3
FIGURA 2.1 EL CUERPO HUMANO COMO UN SISTEMA DE UNIDADES.	9
FIGURA 2.2 IMAGEN DE UN MULTÍMETRO ANALÓGICO Y LAS PARTES QUE LO COMPONEN.	14
FIGURA 2.3 IMAGEN DE UN MULTÍMETRO DIGITAL Y LAS PARTES QUE LO COMPONEN.	15
FIGURA 2.4 BALANZA DE 2 PLATILLOS, BALANZA GRANATARIA Y BALANZA DE PLATAFORMA.	18
FIGURA 2.5 BALANZA ELECTRÓNICA DIGITAL.	19
FIGURA 2.6 BÁSCULA PARA PERSONAS, PARA CONSULTORIOS, FARMACIA, GIMNASIOS, ETC.	20
FIGURA 2.7 BÁSCULA CON CONTRAPESO.	21
FIGURA 2.8 BÁSCULA CON MUELLE ELÁSTICO.	22
FIGURA 2.9 BALANZA BÁSCULA ELECTRÓNICA.	23
FIGURA 2.10 FLEXÓMETRO / CINTA MÉTRICA CONVENCIONAL.	24
FIGURA 2.11 CINTA MÉTRICA DIGITAL.	25
FIGURA 2.12 CINTA MÉTRICA DIGITAL LASER.	25
FIGURA 2.13 PARTES DEL CALBRADOR PIE DE REY.	26
FIGURA 2.14 CALIBRE DIGITAL.	27
FIGURA 2.15 MICRÓMETRO CONVENCIONAL.	28
FIGURA 2.16 MICRÓMETRO DIGITAL.	29
FIGURA 2.17 TERMÓMETRO DE MERCURIO Y (B) PARTES QUE CONSTITUYEN A UN TERMÓMETRO DE MERCURIO.	30
FIGURA 2.18 TERMÓMETRO DIGITAL Y (B) PARTES DE UN TERMÓMETRO DIGITAL.	31
FIGURA 2.19 PH METRO ANALÓGICO.	32
FIGURA 2.20 PH ESCALA PARA LA MEDICIÓN DEL PH.	32

FIGURA 2.21 PH METRO DIGITAL PORTÁTIL. _____	33
FIGURA 2.22 PRIMER IMAGEN DE RAYOS X DE LA HISTORIA. _____	34
FIGURA 2.23 RADIOGRAFÍA DEL CUERPO HUMANO EN LA ACTUALIDAD. _____	36
FIGURA 2.24 EXPERIMENTOS REALIZADOS POR LUIGI GALVANI. _____	38
FIGURA 2.25 EXPERIMENTACIÓN ILUSTRATIVA DE CONTRACCIÓN INDUCIDA UTILIZADA POR CARLO MATTEUCCI. _____	39
FIGURA 2.26 ELECTRÓMETRO DE TUBO CAPILAR CONSTRUIDO POR LIPPMANN. _____	40
FIGURA 2.27 REGISTRO ELECTROCARDIOGRÁFICO REALIZADO POR AUGUST D. WALLER. _____	41
FIGURA 2.28 DEMOSTRACIÓN A LA SOCIEDAD REAL POR AUGUST WALLER CON LA AYUDA DE SU MASCOTA JIMMY. _____	42
FIGURA 2.29 CLASIFICACIÓN DE LAS 5 ONDAS P,Q,R,S Y T EN UN ELECTROCARDIOGRAMA. _____	43
FIGURA 2.30 PRIMER ELECTROCARDIOGRAMA PUBLICADO POR EINTHOVEN. _____	44
FIGURA 2.31 GALVANÓMETRO DE CUERDA. _____	45
FIGURA 2.32 ESQUEMA DEL GALVANÓMETRO DE CUERDA DE EINTHOVEN. _____	45
FIGURA 2.33 TOMA DE ELECTROCARDIOGRAMA CON LAS EXTREMIDADES SUMERGIDAS EN VASIJAS CON SOLUCIONES ELECTROLÍTICAS. _____	46
FIGURA 2.34 TRIÁNGULO DE EINTHOVEN Y SUS TRES DERIVACIONES. _____	47
FIGURA 2.35 ELECTROCARDIOGRAFO SANBORN VISO CARDIETTEE MODELO 51 _____	48
FIGURA 3.1 CAVIDADES DEL CORAZÓN. _____	50
FIGURA 3.2 LAS VÁLVULAS CARDIACAS. _____	51
FIGURA 3.3 SISTEMA DE CONDUCCIÓN DEL CORAZÓN. _____	52
FIGURA 3.4 REPRESENTACIÓN DEL CICLO CARDIACO. _____	55
FIGURA 3.5 PRESIÓN ARTERIAL. _____	57
FIGURA 3.6 MÉTODO DE AUSCULTACIÓN MEDIANTE UN ESFIGMOMANÓMETRO. _____	58
FIGURA 3.7 TIPOS DE FOTOPLESTIMOGRFÍA. _____	59
FIGURA 3.8 APLICACIÓN DE UN ELECTROCARDIOGRAMA. _____	60
FIGURA 3.9 RELOJ FT7 POLAR. _____	62
FIGURA 3.10 MONITOR DE EJERCICIO DE FRECUENCIA CARDIACA, MODELO EHR-BTA. _____	62
FIGURA 3.11 CAMISETA INTELIGENTE. _____	63

FIGURA 3.12 SENSORES PARA UN ELECTROCARDIOGRAMA EN LA PIEL.	65
FIGURA 4.1 INTERFAZ LABPRO.	67
FIGURA 4.2 INTERFAZ VERNIER LABQUEST	68
FIGURA 4.3 INTERFAZ VERNIER LABQUEST 2.	70
FIGURA 4.4 SENSOR DE CORRIENTE ELÉCTRICA.	71
FIGURA 4.5 SENSOR DE CAMPO MAGNÉTICO.	72
FIGURA 4.6 SENSOR DE TEMPERATURA.	73
FIGURA 4.7 SENSOR DE CARGA.	74
FIGURA 4.8 SENSOR DE RITMO CARDIACO.	75
FIGURA 4.9 HUMECTACIÓN DE ELECTRODOS.	76
FIGURA 4.10 CONEXIÓN SENSOR CON BANDA ELÁSTICA.	76
FIGURA 4.11 COLOCACIÓN DE BANDA ELÁSTICA.	76
FIGURA 4.12 POSICIÓN DEL SENSOR EN EL CUERPO.	77
FIGURA 4.13 CUERPO HUMANO FEMENINO	77
FIGURA 4.14 POSICIÓN DEL CUERPO HUMANO FEMENINO ACOSTADO.	78
FIGURA 4.15 GRÁFICA DE VALORES DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN ACOSTADA.	79
FIGURA 4.16 CUERPO HUMANO FEMENINO POSICIÓN SENTADA.	80
FIGURA 4.17 GRÁFICA DE VALORES DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN SENTADA	81
FIGURA 4.18 CUERPO HUMANO FEMENINO EN POSICIÓN DE PIE.	82
FIGURA 4.19 GRÁFICA DE VALORES DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN DE PIE.	83
FIGURA 4.20 CUERPO HUMANO FEMENINO REALIZANDO EJERCICIO.	84
FIGURA 4.21 GRÁFICA DE VALORES DE RITMO CARDIACO REALIZANDO EJERCICIO.	85
FIGURA 4.22 REPRESENTACIÓN DE PERSONA MASCULINA.	86
FIGURA 4.23 REPRESENTACIÓN DE PERSONA MASCULINA EN POSICIÓN ACOSTADO.	87
FIGURA 4.24 GRÁFICA RELACIONADA CON LAS MEDICIONES DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN ACOSTADO.	88
FIGURA 4.25 REPRESENTACIÓN DEL CUERPO HUMANO MASCULINO EN POSICIÓN SENTADO.	89

FIGURA 4.26 GRÁFICA DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN SENTADO.	90
FIGURA 4.27 REPRESENTACIÓN DE PERSONA MASCULINA.	91
FIGURA 4.28 GRÁFICA DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN DE PIE.	92
FIGURA 4.29 REPRESENTACIÓN DE CUERPO HUMANO MASCULINO REALIZANDO EJERCICIO.	93
FIGURA 4.30 GRAFICA DE RITMO CARDIACO REALIZANDO EJERCICIO.	93
FIGURA 4.31 CÁLCULO DE FRECUENCIA FEMENINA MÁXIMA A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN.	96
FIGURA 4.32 CÁLCULO DE FRECUENCIA MASCULINA MÁXIMA A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN	98

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1 UNIDADES BASE DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES. _____	10
TABLA 2.2 UNIDADES DERIVADAS. _____	11
TABLA 4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PERSONA FEMENINA. _____	77
TABLA 4.2 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN ACOSTADA. _____	78
TABLA 4.3 VALORES SIGNIFICATIVOS DE RITMO CARDIACO EN EL CASO 1. _____	79
TABLA 4.4 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN SENTADA _____	80
TABLA 4.5 VALORES SIGNIFICATIVOS DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL CASO 2 _____	81
TABLA 4.6 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO ESTANDO DE PIE. _____	82
TABLA 4.7 VALORES SIGNIFICATIVOS OBTENIDOS EN EL CASO 3 _____	83
TABLA 4.8 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO REALIZANDO EJERCICIO. _____	84
TABLA 4.9 VALORES SIGNIFICATIVOS OBTENIDOS EN EL CASO 4 _____	85
TABLA 4.10 CARACTERÍSTICAS DE LA PERSONA MASCULINA. _____	86
TABLA 4.11 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN ACOSTADA. _____	87
TABLA 4.12 VALORES SIGNIFICATIVOS DEL CASO 5 _____	88
TABLA 4.13 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO CON LA POSICIÓN SENTADO. _____	89
TABLA 4.14 VALORES SIGNIFICATIVOS OBTENIDOS EN EL CASO 6. _____	90
TABLA 4.15 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO EN POSICIÓN DE PIE. _____	91
TABLA 4.16 VALORES SIGNIFICATIVOS DEL CASO 7. _____	92
TABLA 4.17 RESULTADOS DE MEDICIÓN DE RITMO CARDIACO REALIZANDO EJERCICIO. _____	93
TABLA 4.18 VALORES SIGNIFICATIVOS DEL CASO 8 . _____	94
TABLA 4.19 CARACTERÍSTICAS DE LA PERSONA FEMENINA. _____	96
TABLA 4.20 VALORES SIGNIFICATIVOS DE RITMO CARDIACO EN EL CASO 1. _____	96

TABLA 4.21 VALORES SIGNIFICATIVOS OBTENIDOS EN EL CASO 4.	97
TABLA 4.22 CARACTERÍSTICAS DE LA PERSONA MASCULINA.	97
TABLA 4.23 VALORES SIGNIFICATIVOS DEL CASO 5.	97
TABLA 4.24 VALORES SIGNIFICATIVOS DEL CASO 8.	98

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ϵ	euro
Ω	ohms
δ	ángulo de potencia
d/dt	derivada con respecto del tiempo
G	giga
g	aceleración de la gravedad
Hz	hertz
K	kilo
KD	ganancia derivativa
KI	ganancia integral
KP	ganancia proporcional
M	mega
m	metros
P	potencia real
R	resistencia
t	tiempo

W	watts
W-h	watt-hora
X	reactancia

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 INSTRUMENTACIÓN DEL CORAZÓN

La instrumentación comprende todas las técnicas, equipos y metodologías relacionadas con el diseño, la construcción y la aplicación de dispositivos físicos para mejorar, completar y aumentar la eficiencia de los mecanismos de percepción del ser humano.

Una de las tecnologías de instrumentación más avanzadas es la denominada instrumentación electrónica que es la técnica que se ocupa de la medición de cualquier tipo de magnitud física, de la conversión de la misma a magnitudes eléctricas y de su tratamiento para proporcionar la información adecuada a un sistema de control, a un operador humano o a ambos.

La instrumentación electrónica tiene su campo de aplicación en numerosas actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología donde la electrónica se incorporó de forma masiva. En el laboratorio y en la industria se realiza un uso intensivo de la instrumentación electrónica porque en estos entornos, como en otros muchos es necesario medir para conocer [1]. En la figura 1.1 se ilustra un esquema de un sistema de instrumentación típico.

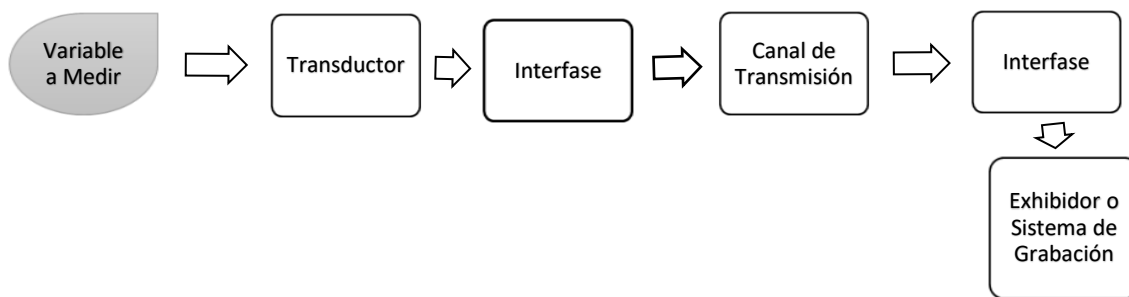


Figura 1.1 Estructura de un sistema de instrumentación.

Algunas importantes definiciones en sistemas de instrumentación son:

- Instrumento es un dispositivo utilizado para medir, registrar y/o controlar el valor de la magnitud de una cantidad o variable que se desea observar.
- La variable a medir pueden ser una cantidad física o una condición o señal del sistema.
- El transductor es un dispositivo que convierte una cantidad física no eléctrica en una señal eléctrica o viceversa.
- La interfaz es la encargada de interpretar la señal eléctrica, además también cumple la función de convertir la señal A/D O D/A.
- El canal de transmisión es el medio por donde se transmite la información del sistema, ejemplo un cable, el aire, etc.
- El exhibidor o sistema de grabación es donde se interpreta ya la señal finalizada, por ejemplo computadora, pantalla o display.

Con esto se puede definir que, un sistema de instrumentación es el conjunto de todos los instrumentos y/o los equipos usados para medir una o más variables de un sistema y presentarlo de forma útil.

La información de las variables que se pretenda capturar se almacena en algún tipo de variable eléctrica, generalmente tensión. Esa variable eléctrica se denomina señal. La naturaleza de las variables y de las señales que las contienen pueden ser igual o distinta. De esta forma tenemos:

- a) **Variables analógicas**: cuando los datos pueden tener cualquier valor dentro de un intervalo determinado, lo que implica que el número de valores es infinito.
- b) **Variables digitales**: cuando los datos constituyen un conjunto finito de valores.

La figura 1.2 muestra un diagrama de tiempo de variables analógicas y digitales.

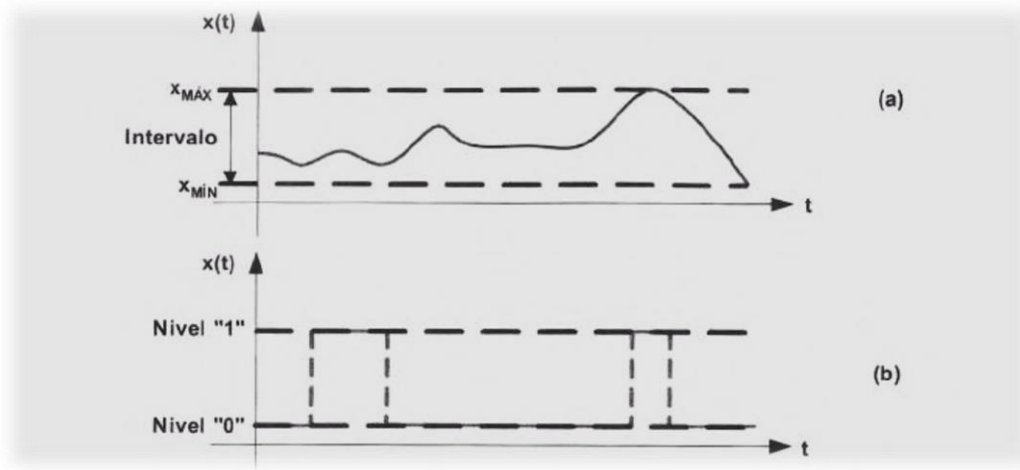


Figura 1.2 Tipos de variables. Representación de (a) una variable analógica y (b) una variable digital.

1.2 BIO-INSTRUMENTACIÓN

En la actualidad, la tecnología y los adelantos que la ingeniería ha logrado han proporcionado una gran ayuda o servicio a la humanidad, ya que se han dado a la tarea de desarrollar distintas herramientas tecnológicas, las cuales han colaborado a obtener información tanto para la preservación y mejoramiento de la salud del ser humano, actualmente existen instrumentos para la adquisición de imágenes (imagenología), adquisición y procesamiento de señales biológicas, para diagnóstico, monitoreo, terapia, electrocirugía, prótesis y rehabilitación, así como simuladores para la enseñanza médica.

Es importante resaltar que el cuerpo humano se encuentra conformado por sistemas en los cuales se pueden mencionar al sistema cardiovascular, el cuál su vez está formado por órganos, un ejemplo sería el corazón, que se encuentra compuesto por tejidos en donde podríamos mencionar los tejidos musculares, los cuales están compuestos por células como las neuronas, células nerviosas, entre otras.

Hoy y siempre la salud resulta una parte importante en la vida de todo ser humano, por lo que la prevención se ha convertido en una tarea de suma importancia y como se ha visto la instrumentación es primordial en el sector de la salud como auxiliar en la medicina.

El corazón es el músculo más importante del organismo. Esta relevancia se debe a que es la bomba que se encarga de difundir el oxígeno y la glucosa que precisa el resto del organismo para desarrollar sus funciones. El corazón está dotado de un sistema especial para generar impulsos eléctricos rítmicos que produzcan la contracción periódica del músculo cardíaco, y para conducir estos impulsos a todo el corazón. El corazón es capaz de impulsar en reposo unos cinco litros de sangre por minuto, pudiendo cuadruplicar esta cantidad al realizar un esfuerzo físico. Esto se consigue, fundamentalmente, aumentando la frecuencia cardíaca [2].

El corazón comienza a trabajar antes de nuestro nacimiento y no deja de hacerlo hasta nuestra muerte. Durante ese lapso late aproximadamente 2 500 millones de veces y su ritmo va cambiando en el transcurso de nuestra vida: cuando nacemos, su frecuencia es de cerca de ciento sesenta contracciones por minuto; en nuestra niñez, más o menos de cien, y en la vida

adulto, alrededor de los setenta latidos. Existen diversos sistemas en nuestro cuerpo que funcionan sin pausa, pero el corazón es el arquetipo del “trabajador” incansable [3].

Estudios recientes realizados por instituto nacional de estadística y geografía (INEGI) y la organización mundial de la salud (OMS) han demostrado que poco más de 93 mil personas fallecieron a causa de alguna enfermedad del corazón. En el mundo, las enfermedades cardiovasculares cobran 20 millones de vidas al año [4] [5].

Como ya se ha mencionado la instrumentación tiene una gran importancia y relevancia en el área médica y así mismo se ha mencionado información y datos importantes de cada una de estas áreas, por lo que es momento de enfocarse en el tema de este trabajo de tesis, el cuál consiste en poder interpretar la relación que tiene la instrumentación en el ejercicio del corazón.

Existen algunos instrumentos electrónicos médicos que permiten el monitoreo y la verificación del corazón, para poder visualizar, diagnosticar y prevenir posibles complicaciones. En este trabajo de tesis se utiliza uno de los dispositivos médicos para el monitoreo y registro de la actividad eléctrica del corazón que se ha incrementado su uso en el mundo de la medicina por ser simple, de uso fácil y ser más económico, estamos hablando de un sensor de ritmo cardiaco (HeartRate Sensor), el cuál es ideal para un continuo monitoreo del ritmo cardiaco del corazón antes, durante y después de realizar ejercicio o mientras una persona se encuentra en reposo.

El electrocardiograma (ECG) es un procedimiento de diagnóstico médico en el que se refleja un registro gráfico en función del tiempo de la actividad eléctrica del corazón, el cuál registra la diferencia de potencial de voltaje que se genera en el corazón a través del sensor de ritmo cardiaco el cuál será colocado en puntos pre-establecidos en la superficie corporal.

1.3 OBJETIVO

Mediante un sistema de instrumentación obtener un registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón en función del tiempo que proporcione un monitoreo constante, la cuál sea amplificada, filtrada y visualizada en una pantalla mediante la ayuda de la tarjeta de adquisición de datos LABQUEST y con ello se podrá apreciar la variación de voltaje en función del tiempo que existe en el corazón, todo esto se llevara a cabo mediante el sensor de ritmo cardiaco (HeartRate Sensor), el cuál es ideal para un continuo monitoreo del ritmo cardiaco del corazón antes, durante y después de realizar ejercicio o mientras una persona se encuentra en reposo.

Además, obtener un electrocardiograma (ECG) real, de una o varias personas comunes, es decir, con una frecuencia cardíaca entre 60 y 90 pulsos por minuto.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de tesis, es importante por el gran auge que la instrumentación ha tenido en el campo de la medicina moderna, por la gran utilización de los instrumentos electrónicos para medir una o más variables fisiológicas del ser humano.

Para este sistema se hará uso de un sensor de ritmo cardiaco (heart-rate sensor), el cuál fue elegido por ser un sistema simple, de accesible uso y de fácil colocación, en donde los datos serán manejados mediante una tarjeta de adquisición de datos LabQuest por lo que podrá realizarse una medición digital gráfica del ritmo cardiaco en cualquier momento y en tiempo real cuando se requiera sin la necesidad de tener que esperar a acudir al doctor o a un hospital.

1.5 METODOLOGÍA

El presente trabajo describe varias etapas de investigación y por eso primeramente se resalta importancia de los sensores en nuestra vida cotidiana: trabajo, alimentación, ropa, transportes, etc., y así conocer cuáles son las variables físicas más importantes y los diferentes sensores que existen para instrumentarlas y controlarlas. Una vez familiarizados con los sensores, se realiza el proyecto con un sensor de relación de ejercicio y la tarjeta de adquisición de datos LabQuest II, se llevan a cabo las experimentaciones, para con esto llegar a las conclusiones, recomendaciones y posibles aplicaciones que pudieran encontrar.

1.6 CONTENIDO DE LA TESIS

En el capítulo 1, a modo de introducción se detallan los aspectos teóricos que conlleva la instrumentación, así como a los aspectos teóricos médicos del corazón, para con esto entender la relación que se tienen entre ambas ramas.

En el capítulo 2, se hace referencia a todos los sistemas de instrumentación que existen y han existido a lo largo de la historia, describiendo las características de uno de dichos sistemas.

En el capítulo 3, en esta parte se hace referencia y descripción a todos y cada uno de los sensores que se han utilizado para el ejercicio del corazón.

En el capítulo 4, se especifica el dispositivo de instrumentación que se ha decidido desarrollar en esta tesis describiendo sus características, formas de trabajo así como la interfaz que existe para poder visualizar de forma gráfica, además de que se reportan las pruebas realizadas con el sensor de ritmo cardiaco y la tarjeta de adquisición de datos.

En el capítulo 5 siendo la etapa final del trabajo de tesis se realizan las conclusiones a las que se llegó con cada uno de los capítulos ya mencionados además de citar recomendaciones de las mismas.

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES DE LOS SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Desde la antigüedad el hombre enfrentó el desafío de la vida y la supervivencia, por lo que en una parte de la evolución del hombre por sobrevivir, medir se convirtió en una necesidad vital en las actividades de caza y recolección tanto para informar a los demás la distancia donde se encontraba la presa, el tiempo que era necesario para la recolección e inclusive hasta donde se ubicaban los límites de cierta región o población, por lo que se hizo sumamente necesario la idea de comparar, de cuantificar, de medir.

Dado la gran importancia y necesidad en la vida diaria que representaba medir las primeras unidades de longitud que el hombre utilizó eran provenientes de la parte de su cuerpo, como la pulgada, el codo, el pie, el paso, entre otras. Sin embargo, dichas unidades no siempre resultaban las mismas para todos debido a que el cuerpo de una persona varía de una a otra. La figura 2.1 muestra el cuerpo humano como un sistema de unidades, el cuál se empleaba en Egipto, Grecia, Roma, durante el siglo XI.

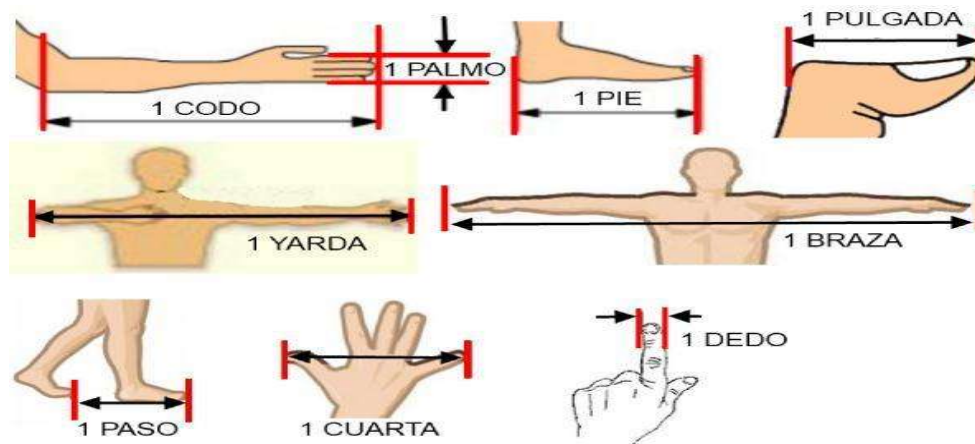


Figura 2.1 El cuerpo humano como un sistema de unidades.

Desde entonces, se ha recorrido un largo camino en la definición cada vez más exacta de las unidades de medición. En la actualidad, la mayoría de las unidades están basadas en leyes físicas de la naturaleza, las cuales son tan invariables como reproducibles. Por lo tanto, el metro y la yarda se miden en función de la velocidad de la luz, y el tiempo por la duración de las vibraciones atómicas. Esta mejora de los estándares de medición ha ido de la mano con los avances de la tecnología, y el progreso de esta no habría sido posible sin la evolución de aquéllos [6].

A pesar de que los estándares básicos de referencia han sido reconocidos por todos los países del mundo, las unidades de medición más utilizadas no son universales, ya que hay personas que para medir una longitud utilizan la pulgada y la yarda, mientras que otras utilizan el milímetro y el metro.

Las unidades estándar de longitud, masa y tiempo son el vínculo que mantienen el enlace entre las diferentes unidades que son utilizadas en el mundo.

Con el tiempo fue necesario establecer un sistema de unidades fijo, invariable e universal, por lo que en la actualidad, el sistema métrico oficialmente reconocido es el Sistema internacional de Unidades (SI); el cuál fue introducido formalmente en 1960, en la undécima Conferencia de Pesas y Medidas.

Sin embargo, la creciente importancia del SI (particularmente en los campos eléctrico y mecánico) hace que sea primordial conocer lo básico de este sistema de medición. Por

consiguiente, debemos ser capaces de efectuar conversiones de un sistema a otro, de una manera simple y clara [6].

En la tabla 2.1 se muestra el fundamento del Sistema Internacional de Unidades que está constituido por 7 unidades base.

Tabla 2.1 Unidades base del Sistema Internacional de Unidades.

Cantidad	Unidad	Símbolo
Cantidad de sustancia	mol	mol
Corriente eléctrica	ampere	A
Intensidad luminosa	candela	cd
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Temperatura	kelvin	K
Tiempo	segundo	s

De las unidades base se derivan otras para expresar cantidades como presión, energía, fuerza, frecuencia, flujo magnético, entre otras. En donde algunas de estas tantas unidades derivadas se muestran en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Unidades derivadas.

Cantidad	Unidad	Símbolo
Ángulo plano	radián	rad
Ángulo solido	esteriadan	sr
Capacitancia eléctrica	farad	F
Carga eléctrica	coulomb	C
Conductividad eléctrica	siemens	S
Densidad de flujo magnético	tesla	T
Energía	joule	j
Flujo luminoso	lumen	lm
Flujo magnético	weber	Wb
Frecuencia	hertz	Hz
Fuerza	newton	N
Iluminación	lux	lx
Inductancia	henry	H
Potencia	watt	W
Potencial eléctrico	volt	V
Presión	pascal	Pa
Resistencia eléctrica	ohm	Ω

2.2 INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

Para la ciencia los instrumentos de medición han sido siempre una gran necesidad, teniendo implicaciones a lo largo de nuestra vida cotidiana, ya que la necesidad de contar con una medición adecuada y precisa resulta importante para las actividades humanas, para esto es necesario utilizar el instrumento de medición apropiado de acuerdo a la característica o magnitud física que se desea conocer. El avance del hombre ha implicado la necesidad de controlar, y por ende la de medir.

Un sistema de instrumentación permite medir una cantidad física (longitud, masa, velocidad, etc.) y convertirla a una señal eléctrica que permitirá manipularla para un control posterior si es necesario. Por lo que es importante conocer las características del proceso de medición, entre algunas se mencionan:

- **Exactitud:** indica la cercanía del valor medido con respecto al valor real de la señal. Es usualmente expresado en términos del error o la diferencia máxima posible entre el valor real y el valor medido, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$Exactitud = \frac{Valor\ verdadero - valor\ medido}{valor\ verdadero}$$

como $Error = valor\ verdadero - valor\ medido$

$$Exactitud = \frac{Error}{valor\ verdadero}$$

- **Resolución:** fineza con la cual el sistema puede tomar medidas, también se define como el cambio más pequeño en el valor medido para el cuál responde el instrumento.
- **Sensibilidad:** cambio que tiene la salida con respecto a un cambio de la entrada.

Para un dispositivo lineal:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{\text{Rango total del voltaje de salida}}{\text{Rango total de la variable de entrada}}$$

- **Rango**: conjunto de valores posibles que puede tener una señal ya sea de entrada o de salida.
- **Linealidad**: capacidad de un transductor de tener una señal de salida proporcional a una señal de entrada.
- **Precisión**: se refiere al grado de concordancia dentro de un grupo de mediciones o instrumentos, o especifica la repetibilidad de un conjunto de lecturas cada una realizada independientemente con el mismo instrumento.
- **Error**: desviación del valor verdadero al valor medido. Ninguna medición se puede efectuar con una exactitud perfecta pero es importante encontrar cual es la exactitud actual y como los diferentes errores entran en la medición.

Un estudio de los errores es el primer paso para determinar la exactitud del resultado final. Los errores pueden provenir de diferentes fuentes y normalmente se clasifican bajo tres categorías principales:

- a) Errores brutos: comprenden los errores humanos tales como mala lectura de los instrumentos, ajuste incorrecto, aplicaciones inapropiadas y errores de cómputo.
- b) Errores sistemáticos: provienen de los instrumentos tales como el desgaste o defecto de ellos y los efectos del medio ambiente en el equipo.
- c) Errores al azar: son aquellos debidos a causas que no se pueden establecer directamente debido a variaciones al azar en el parámetro o en el sistema de medición.

En la actualidad existe una gran variedad de instrumentos los cuales se utilizan para llevar a cabo mediciones de las diferentes magnitudes físicas que existen, en donde estos instrumentos de medición existentes se encuentran dentro de dos divisiones:

- **Instrumento de medición analógico:** se refiere a las magnitudes que varían con el tiempo en forma continua como por ejemplo la distancia y la temperatura, la velocidad, en donde dichas magnitudes o valores podrían variar de forma muy lenta o muy rápida. Usan como referencia un patrón visible que se opera manualmente o en algunos casos su resultado se ve expresado mediante una escala con ciertas divisiones y una aguja que se mueve mostrando diversos puntos de escala. Un ejemplo sería un multímetro analógico como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Imagen de un multímetro analógico y las partes que lo componen.

- **Instrumento de medición digital:** se refiere a aquel instrumento que convierte la señal analógica en señal digital para con ello procesar y poder calcular la variable medida, expresando su resultado digitalmente de forma discontinua mediante caracteres lumínicos como pantallas, displays, computadoras, etc. Como ejemplo se hace referencia un multímetro digital, donde se puede apreciar que las distintas variables que se pueden medir su valor será expresado mediante un display, como se ve en la figura 2.3.

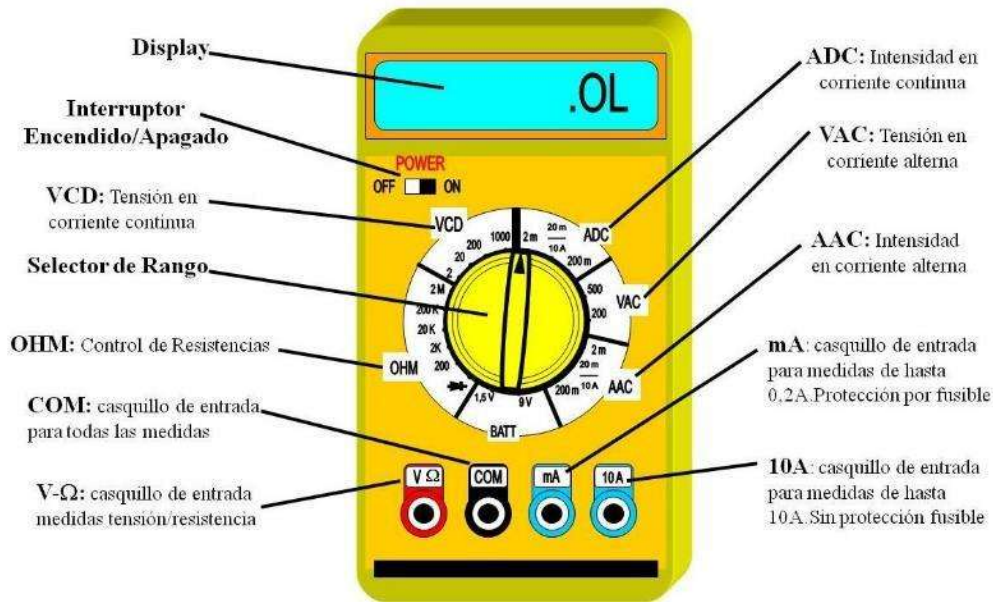


Figura 2.3 Imagen de un multímetro digital y las partes que lo componen.

Los instrumentos de medición existentes se encuentran dentro de dos divisiones muy amplias, las cuales son la medición lineal y la medición angular. Entonces partiendo de estas dos divisiones, se puede encontrar una subdivisión para ambas categorías, primero tenemos a los medidores directos que es cuando el valor de la medida se obtiene directamente de los trazos y los medidores indirectos en donde para obtener el valor de la medida necesitamos compararla con alguna referencia.

Los instrumentos estarán clasificados según la variable operacional a la que pertenecen:

a) Masa

- Balanza
- Báscula
- Espectrómetro
- Catarómetro

b) Longitud

- Flexómetro
- Calibre
- Micrómetro
- Reloj comparador
- Interferómetro

c) Tiempo

- Calendario
- Cronómetro
- Reloj
- Reloj atómico
- Datación radiométrica

d) Ángulos

- Goniómetro
- Sextante
- transportador

e) Temperatura

- Termómetro
- Termopar
- Pirómetro

f) Presión

- Barómetro
- Manómetro
- Tubo de Pitot
- Anemómetro

g) Flujo

- Caudalímetro

h) Para medir propiedades eléctricas

- Electrómetro
- Amperímetro
- Galvanómetro
- Wattmetro
- Multímetro
- Puente de Wheatstone
- Osciloscopio

i) Entre otros

Como ya se vio la clasificación de los instrumentos de medición es muy grande y se encuentra dividida de acuerdo a la variable o magnitud que se desea medir o comparar, por lo que a continuación se mencionan algunos instrumentos más relevantes, con la posibilidad de ver el instrumento analógico y el digital.

❖ Para medición de Peso

La balanza (del latín: bis, do lanx, plato) es una palanca de primer género de brazos iguales, que permite medir masas mediante el establecimiento de una situación de equilibrio entre los pesos de dos cuerpos. Es un instrumento de medición que permite medir la masa de un objeto con la gran peculiaridad de que los resultados de las mediciones no varían con la magnitud de la aceleración de la gravedad.

Para realizar las mediciones se utilizan patrones de masa en donde su grado de exactitud depende de la precisión del instrumento. En balanzas industriales y comerciales su rango de medida y precisión puede llegar a variar desde varios kilos (con precisión en gramos), y en balanzas de laboratorio hasta unos gramos (con precisión en miligramos).

Existe una gran variedad de balanzas las cuales se clasifican en función del sistema de funcionamiento o de su aplicación, a continuación se citaran algunos tipos de balanzas que existen:

- Balanzas de dos platillos
- Balanzas de un platillo
- Balanzas granatarias de un platillo
- Balanza romana
- Balanza de plataforma: cuentan con unos pesos móviles que se ajustan hasta lograr el equilibrio con el cuerpo a pesar.
- Balanza de frutería
- Balanza médica
- Balanza de laboratorio

La figura 2.4 muestra tres tipos de balanzas que existen.



Figura 2.4 Balanza de 2 platillos, balanza granataria y balanza de plataforma.

a) Balanza electrónica digital

La evolución de las balanzas ha ocasionado que se dejen de utilizar las balanzas tradicionales, de funcionamiento mecánico, y se usen mejor las balanzas electrónicas digitales, ya que se caracterizan por su gran rango de pesaje y obteniendo una lectura directa y precisa, presentando dicho resultado mediante una pantalla o un display de medición, teniendo la opción de seleccionar diferentes unidades de pesaje.

Se encuentra constituido por un plato que cumple la función del pesado, el cuál puede ser extraíble, también cuenta con los pies de ajuste y de nivelación que cumplen la función de mantener nivelada la balanza, además de contar con la capacidad de transmitir el resultado obtenido de la medición del pesaje que se ha efectuado a la memoria de una computadora.

Dado a su gran precisión y velocidad en el resultado de medición son mayormente usadas en los sectores de producción y los laboratorios, como se ilustra en la figura 2.5.



Figura 2.5 Balanza electrónica digital.

b) Báscula

Báscula (del francés “bascule”, en inglés “scale”), también llamada en algunos lugares pesa, es un instrumento de medición que nos permite determinar el peso de un objeto.

Aunque se puede llegar a creer que existe gran similitud con la balanza, son muy diferentes, ya que las balanzas miden masa y las básculas miden peso, que es la fuerza gravitatoria correspondiente a esa masa, por este motivo las basculas se tienen que calibrar en el lugar

donde se van a utilizar mediante la comparación con un patrón, esto se debe a las diferencias en la gravedad en distintos lugares.

La gran mayoría de las básculas tienen una plataforma horizontal a ras del suelo, donde resulta fácil colocar la masa que se desea pesar, y se emplean tanto para pesar objetos pequeños de tan sólo unos gramos, así como objetos más grandes los cuales sobrepasan los 300 kg.

La figura 2.6 ilustra una báscula utilizada para determinar el peso de las personas, así como también cuenta con una herramienta para poder medir la estatura de dicha persona.



Figura 2.6 Báscula para personas, para consultorios, farmacia, gimnasios, etc.

Según su principio de funcionamiento hoy en día existen dos tipos de básculas: mecánicas y electrónicas. Para el caso de las básculas mecánicas se pueden clasificar en dos grupos, el primero por contrapeso y el segundo por muelle elástico.

- **Báscula con contrapeso**

El principio de funcionamiento de la báscula con contrapeso es muy similar al de la balanza, ya que comparan masas, mediante una medición indirecta a través del peso del objeto o masa que se está midiendo.

Actúan por medio de un mecanismo de palancas, en donde dicho mecanismo transforma la fuerza correspondiente al peso del objeto a medir en un momento de fuerzas, el cual se equilibra a través del desplazamiento de un pilón a lo largo de una barra que se encuentra graduada, teniendo la función de leer el peso de la masa. Como se muestra en la siguiente figura 2.7.



Figura 2.7 Báscula con contrapeso.

- **Báscula con muelle elástico**

La báscula con muelle elástico se encuentra basada en la deformación elástica de un resorte, el cuál soporta la acción gravitatoria del peso del objeto a medir, este tipo de básculas miden la fuerza ejercida por un objeto sujeto a la fuerza de gravedad, es decir, el peso. Figura 2.8.

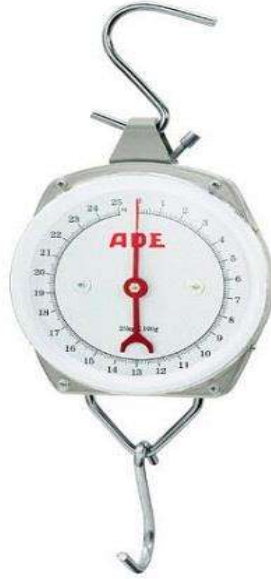


Figura 2.8 Báscula con muelle elástico.

- **Báscula electrónica**

Actualmente, las básculas funcionan con métodos y sistemas electrónicos, con la gran ventaja de poder visualizar mediante una pantalla que se encuentra incorporada a la báscula la masa del objeto que se pesa con una gran facilidad.

Este tipo de básculas funcionan con métodos y sistemas electrónicos mediante la utilización de sensores, llamados célula de carga o celda de carga, las cuales consisten en una pieza de metal a la que se adhieren galgas extensométricas, dichas galgas cambian su resistencia eléctrica al comprimirse o fraccionarse en el momento que se deforma la pieza metálica que se encentra soportando el peso del objeto. Por tanto miden peso. El ajuste de la resistencia se realiza mediante un puente de Wheatstone, por lo que al alimentarse con un voltaje se entrega una salida de voltaje, el cuál es proporcional a la fuerza que se aplica al metal, dicho valor se encuentra en el orden de los milivolts, además de que utilizan filtros electrónicos de paso bajo para poder disminuir el efecto que podría llegar a existir por las perturbaciones de alta frecuencia. Es importante tener en cuenta que cuando la celda es sometida a esfuerzos por arriba de su capacidad, lo que sucede es que el metal del cuerpo de la celda pasa a una zona inelástica, lo que ocasiona que la celda ya no regrese a su estado inicial, debido a que

dicho esfuerzo ocasiona que la celda adquiera deformaciones plásticas o inclusive permanentes. Para que esto no suceda lo que hacen los fabricantes es colocar tornillos ajustables, los cuáles limitan el movimiento de la plataforma de la báscula para que la celda no se llegue a flexionar más allá de su límite de rango de funcionamiento. La figura 2.9 ilustra una báscula electrónica de uso industrial con capacidad para pesar hasta 300 Kg.

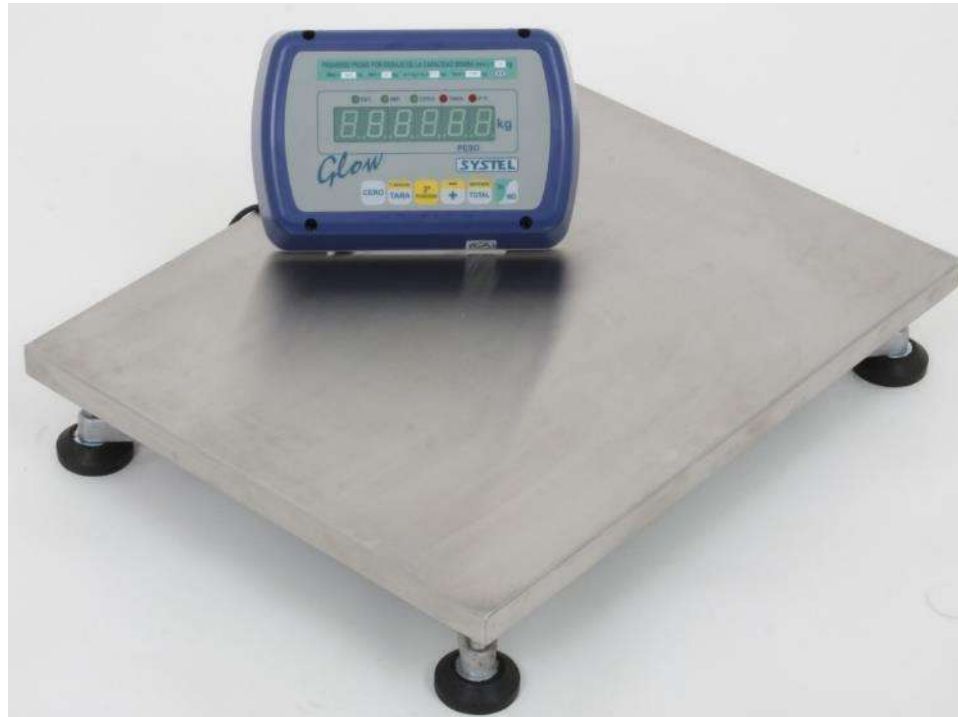


Figura 2.9 Balanza báscula electrónica.

❖ Para medición de longitud

Flexómetro / cinta métrica

Es la herramienta más común utilizada, no sólo para personas profesionales cualquiera que sea su especialidad (fontaneros, albañiles, electricistas, arqueólogos, etc.), sino también para cualquier persona que precise medir algún objeto en la vida cotidiana, ya que es considerado el metro por excelencia. Es un instrumento de medida de menos de 10 metros de longitud con el que se puede medir líneas y superficies curvas, dicho instrumento consiste en una cinta flexible graduada en centímetros, milímetros y pulgadas con bastante exactitud, la cual se puede enrollar dentro de una carcasa metálica o de plástico para poder transportarla de manera más fácil.

En el exterior de esta carcasa se dispone de un sistema de freno para impedir el enrollado automático de la cinta, y mantener fija alguna medida precisa de esta forma, como se muestra en la figura 2.10.



Figura 2.10 Flexómetro / cinta métrica convencional.

Cinta métrica digital

Este instrumento de medición es muy similar al flexómetro analógico, pero con la gran diferencia de que cuenta con una pantalla digital en la parte superior que indica la medida exacta de la longitud de la cinta que se ha desplegado hasta cierto punto en particular. Permite

ver el valor de la medición tanto en pulgadas como en centímetros y milímetros mediante un display, la figura 2.11 nos muestra un ejemplo de dicho instrumento.



Figura 2.11 Cinta métrica digital.

Cinta métrica digital láser

Este tipo de instrumento, a diferencia del flexómetro que utiliza una cintra métrica física y visible, usa un láser para realizar la medición. Este instrumento láser tiene la particularidad de medir la distancia que existe entre el aparato hasta la superficie dada, teniendo un rango de limitación del alcance del láser. Figura 2.12.

La mayoría de estos instrumentos láser tienen un rango de precisión de $\pm 1\text{mm}$ hasta $\pm 2\text{mm}$.



Figura 2.12 Cinta métrica digital laser.

Calibre

También denominado calibrador, pie de rey, Vernier, cartabón de corredera, pie de metro, es uno de los instrumentos mecánicos para la medición lineal de exteriores e interiores y de profundidades ampliamente utilizadas. Según la historia se cree que la escala vernier fue inventada por Pectruus Nonius de origen portugués. Sin embargo, el calibrador vernier que se encuentra actualmente fue desarrollado en 1631 por Pierre Vernier. Dicho instrumento permite medir dimensiones de objetos relativamente pequeños, ya sea desde centímetros hasta fracciones de milímetros ($1/10$ de milímetro, $1/20$ de milímetro, $1/50$ de milímetro). En la escala de las pulgadas tiene divisiones equivalentes a $1/16$ de pulgada, y en su nonio de $1/128$ de pulgada.

Es un instrumento que debe manipularse con habilidad, cuidado y mucha delicadeza, teniendo la precaución de no rayarlo ni doblarlo, ya que es sumamente delicado.

La figura 2.13 muestra la nomenclatura para las partes de un calibrador Pie de Rey.

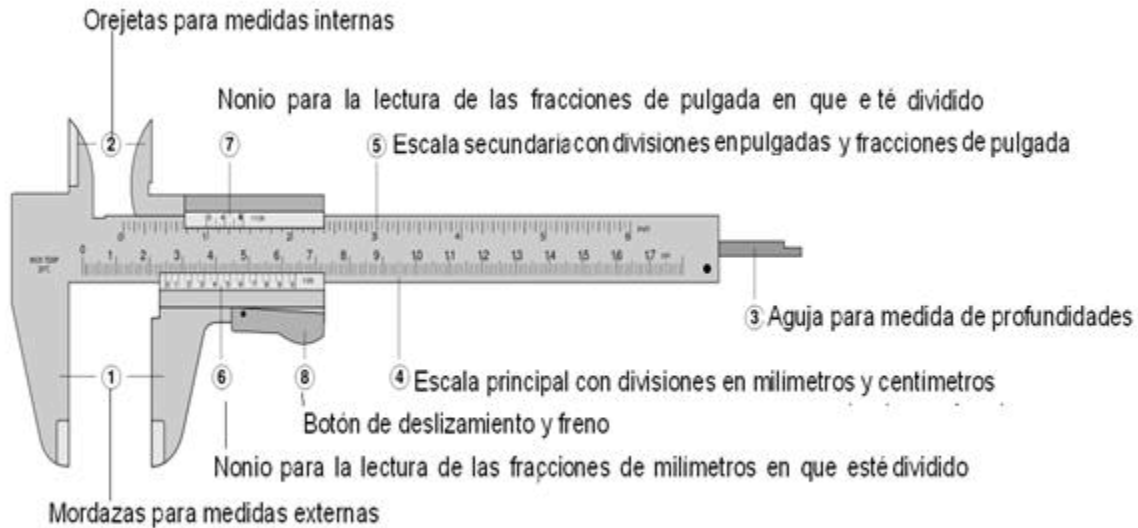


Figura 2.13 Partes del calibrador pie de rey.

Calibre digital

Este tipo de calibre es bastante similar al analógico, pero utiliza un sistema electrónico interno el cuál funciona en relación directa con una escala registrada mediante la ayuda de un elemento sensor, pero también por el desplazamiento que se registra una vez que es modificada una resistencia variable a partir de una referencia, la lectura de las respectivas mediciones se presenta en una pantalla o display alfanumérica, presentando las lecturas en submúltiplos de la escala seleccionada.

Sin embargo, cuenta con el inconveniente de no ser un instrumento tan preciso como el analógico. La figura 2.14 muestra un calibre digital.



Figura 2.14 Calibre digital.

Micrómetro

El micrómetro (del griego micros, pequeño, y metrón, medición), también llamado Tornillo de Palmer su funcionamiento está basado en un tornillo micrométrico y que sirve para medir el tamaño y las dimensiones de un objeto con una alta precisión, en un rango del orden de centésimas de milímetros (0.01 mm) y de milésimas de milímetros (0.001 mm).

El primer micrómetro de tornillo fue inventado por William Gascoigne en el siglo XVII, como una mejora del calibrador vernier, y se utilizó en un telescopio para medir distancias angulares entre estrellas. En 1841, el francés Jean Laurent Palmer lo mejoró y lo adaptó para la medición de longitudes de objetos manufacturados.

El micrómetro fue introducido al mercado anglosajón en 1867 por la compañía Brown & Sharpe. En 1888 Edward Williams Morley incorporó la escala del nonio, con lo cual se mejoró la exactitud del instrumento.

El micrómetro cuenta con 2 puntas que se aproximan entre sí mediante un tornillo de rosca fina que dispone en su contorno de una escala grabada, la cual puede incluir un nonio. La longitud máxima de medida del micrómetro de exteriores normalmente es de 25 mm aunque existen también de 0 a 30 mm, por lo que es necesario disponer de un aparato para cada rango de tamaños a medir: 0 – 25 mm, 25 – 50 mm, 50 – 75 mm, etc.

El principio de operación o de funcionamiento de un micrómetro está basado en que si un tornillo montado en una tuerca fija se hace girar, el desplazamiento de éste en el sentido longitudinal, es proporcional al giro dado.

El micrómetro cuenta con una escala longitudinal, que en su parte superior presenta divisiones de milímetros enteros y en la parte inferior se encuentran las de los medios milímetros, una vez que se hace girar el tambor se pueden ver estas divisiones. La figura 2.15 muestra un micrómetro.

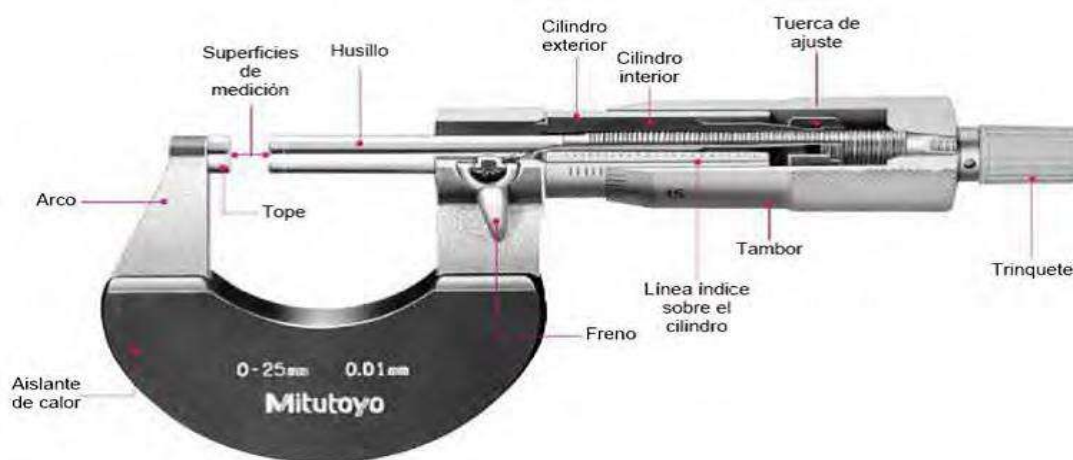


Figura 2.15 Micrómetro convencional.

El micrómetro es un instrumento de medición ampliamente usado para medir con precisión grosor de bloques, medidas internas y externas de ejes y profundidades de ranuras.

Existen tres clases de micrómetros basados en su aplicación:

- Micrómetro interno
- Micrómetro externo
- Micrómetro de profundidad

Micrómetro digital

Los micrómetros digitales electrónicos son instrumentos que aunque siguen utilizando el principio básico descrito anteriormente, incorporan codificadores rotarios o lineales para poder detectar el desplazamiento que se ha efectuado en el husillo, poder ser mostrado dicho valor en una pantalla con resolución de 0.0001 mm

Usualmente, se encuentran equipados de algunas funciones para facilitar el proceso de medición y también el análisis de datos, en donde podemos mencionar algunos, como por ejemplo poder visualizar los valores obtenidos en milímetros o en pulgadas, poner a cero con sólo oprimir una tecla, mantener en la pantalla un valor, así como también la salida de datos enviarla a un procesador, multiplexor o un ordenador, entre otras.

Los micrómetros digitales se encuentran diseñados de tal manera que no permiten la entrada de polvo a su interior y cuentan con una protección contra el ingreso de líquidos refrigerantes o aceites solubles.



Figura 2.16 Micrómetro digital.

❖ Para medir temperatura

Termómetro

En el año 1714, Fahrenheit inventó el termómetro de mercurio y su uso se generalizó por ser este un metal líquido que responde con gran rapidez y fiabilidad a los cambios de temperatura. Se introducía el mercurio en un bulbo conectado a un tubo capilar de vidrio que incorporaba una escala graduada. La toxicidad de este metal llevó a la Unión Europea a prohibir su utilización en instrumentos de medida en el año 2007 y desde abril de 2009 ya no se pueden comercializar termómetros de mercurio en nuestro país.

La figura 2.17 ilustra un termómetro de mercurio.

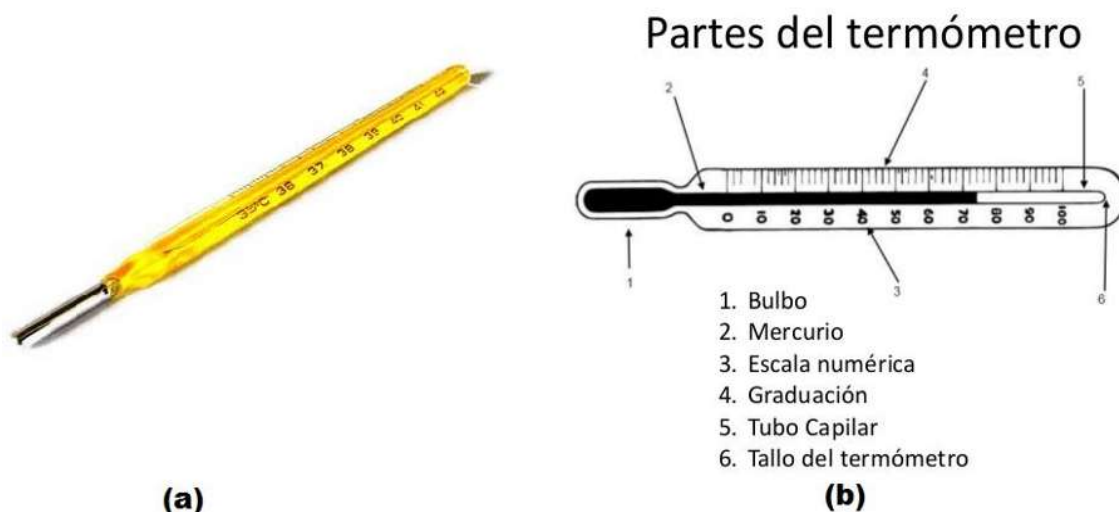


Figura 2.17 termómetro de mercurio y (b) partes que constituyen a un termómetro de mercurio.

Termómetro digital

En los últimos tiempos se ha generalizado el uso de los termómetros digitales, que utilizan dispositivos electrónicos para medir la temperatura y luego mostrarla en un visualizador. Frecuentemente, emplean un circuito integrado que incorpora un termistor, un semiconductor cuya resistencia varía con la temperatura. Su facilidad de manejo y adaptabilidad a rangos de

temperatura muy diversos los ha hecho populares en los entornos más diversos, desde el doméstico a los científicos o tecnológicos, el cual se muestra en la figura 2.18.



Figura 2.18 Termómetro digital y (b) partes de un termómetro digital.

PH metro

El pH-metro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución.

La determinación de pH consiste en medir el potencial que se desarrolla a través de una fina membrana de vidrio que separa dos soluciones con diferente concentración de protones. En consecuencia se conoce muy bien la sensibilidad y la selectividad de las membranas de vidrio delante el pH.

Una celda para la medida de pH consiste en un par de electrodos, uno de calomel (mercurio, cloruro de mercurio) y otro de vidrio, sumergidos en la disolución en la que queremos encontrar el pH.

La varita de soporte del electrodo es de vidrio común y no es conductor, mientras que el bulbo sensible, que es el extremo sensible del electrodo, está formado por un vidrio polarizable (vidrio sensible de pH).

Se llena el bulbo con la solución de ácido clorhídrico 0.1N saturado con cloruro de plata.

El voltaje en el interior del bulbo es constante, porque se mantiene su pH constante (pH 7) de manera que la diferencia de potencial solo depende del pH del medio externo.

La figura 2.19 muestra un pH metro analógico.



Figura 2.19 pH metro analógico.

El PH (potencial de hidrógeno) es la medida de acidez o de alcalinidad de sustancias, es decir que es la concentración de iones de hidrógeno y ácidos débiles los cuales van a formar una valoración numérica (ver imagen). Por ejemplo, los números a partir del 0 a 7 indican las soluciones ácidas y del 7 a 14 son las soluciones alcalinas. Por lo tanto si una sustancia es más ácida su pH cercano será 0 y si es más alcalina su pH estará cerca al número 14. La figura 2.20 muestra la escala para poder el pH.



Figura 2.20 pH escala para la medición del pH.

pH metro digital

Básicamente, consta del mismo mecanismo de funcionamiento que el analógico, sin embargo, podemos apreciar el resultado en una pantalla (display), así como también cuenta con las siguientes características:

- pHmetro para trabajo pesado, mide pH, mV y Temperatura.
- Pantalla doble para pH o mV y temperatura, con ajuste de contraste.
- Temperatura en grados centígrados o Farenheit
- Retención de datos max, min y promedio.

La figura 2.21 muestra un pH metro digital con todas las características anteriores.



Figura 2.21 pH metro digital portátil.

❖ Entre otros

- **Radiografía con rayos X**

La invención y aplicación de los rayos X es de gran utilidad para las ciencias, especialmente para el ámbito de la medicina. Ello se debe a que posibilitan la observación de la estructura ósea, el estudio los huesos del cuerpo humano y entre otras cosas, la detección y el entendimiento de numerosas enfermedades.

Los rayos X fueron descubiertos accidentalmente por el profesor Wilhelm Conrad Röntgen el 8 de noviembre de 1895, se encontraba haciendo experimentos con los tubos de Crookes y observó unos extraños rayos que atravesaban papel y metal, lo que lo llevó a investigarlos durante siete semanas.

El profesor notó que el rayo también pasaba a través de otros materiales, incluyendo carne humana. De hecho, por el descubrimiento de la radiación X, Röntgen también descubrió su mejor aplicación hasta nuestros días: la representación óptica. La primera imagen de rayos x de la historia es la de la mano de la esposa de Röntgen como se observa en la figura 2.22.



Figura 2.22 Primer imagen de rayos X de la historia.

- **Rayos X en la actualidad**

Con el paso del tiempo, gracias a una encuesta realizada por el Museo de Ciencia de Londres, se ha determinado que la máquina de rayos X es el invento más importante del mundo, ya que ha contribuido tanto en el campo de la medicina que se ha logrado llegar a la era del paciente transparente (esto por el hecho de poder ver a través de él).

Para generar un rayo X, se emplea un dispositivo que calienta un cátodo a temperatura elevadas. El calor hace que los electrones se quiebren del cátodo, luego el ánodo, a través del tubo de vacío, tiene una diferencia de potencial que atrae a los electrones a una gran velocidad.

La colisión de los electrones con los ánodos (que generalmente están hechos de tungsteno) causa un fotón de rayo X. El tubo completo está protegido excepto por una pequeña abertura que le permite a los rayos escaparse en forma de un solo rayo con gran concentración. Este rayo concentrado viaja a través del espacio hasta que toma contacto con el tejido.

En nuestro cuerpo, el tejido suave no puede absorber los rayos de alta energía y estos pasan de largo. El material de alta densidad, como los huesos, absorben la radiación. Los rayos luego pasan a través del detector de la película, el cual trabaja parecido a una cámara fotográfica. Las áreas negras son las áreas expuestas, representando los rayos que han pasado a través del tejido suave, mientras que las áreas blancas son las que no fueron expuestas, donde los rayos fueron absorbidos por el tejido. Finalmente, la imagen se representa en un computador, como se puede apreciar en la figura 2.23.



Figura 2.23 Radiografía del cuerpo humano en la actualidad.

2.3 INSTRUMENTACIÓN PARA EL CORAZÓN

El estudio de la electricidad en los tejidos humanos y animales se comenzó a efectuar hacia el siglo XVII. Mediante la realización de pruebas con perros, ranas e incluso seres humanos, el estudio de esta rama de la medicina fue avanzando hasta desarrollar sistemas de detección de diversas patologías cardíacas.

Dado a la gran cantidad de descubrimientos, experimentos y trabajos realizados sobre el comportamiento del corazón y sus señales, es necesario hacer una reseña histórica de los acontecimientos más importantes que dieron origen al electrocardiógrafo y como consecuencia al electrocardiograma.

A fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX, una serie de adelantos científicos provocaron que grandes cantidades de médicos despertarían inquietud por las enfermedades del corazón y con esto comenzarán a dedicarse a su estudio, lo cual provocó en poco tiempo el nacimiento de la Cardiología como especialidad.

En 1780, el italiano Luigi Galvani, profesor de anatomía de la universidad de Bologna, hizo el anuncio trascendental de sus observaciones acerca de que las piernas de rana se contraían bajo estimulación eléctrica. Galvani también describió, entre los resultados de muchos experimentos con piernas de rana, la todavía más sorprendente observación de que las piernas se contraían cuando un arco formado por dos metales en serie tocaba simultáneamente los nervios de las piernas y la médula espinal.

Galvani interpretó sus inesperadas observaciones como una evidencia de electricidad animal inherente, la cual, suponía, era sintetizada en el cerebro y almacenada en el músculo vía los nervios [7].

La figura 2.24 ilustra algunos de los muchos experimentos realizados por Luigi Galvani en los cuales demostró que podía inducirse la contracción de las piernas de una rana si los nervios de la extremidad eran conectados a la médula espinal por dos metales en serie.

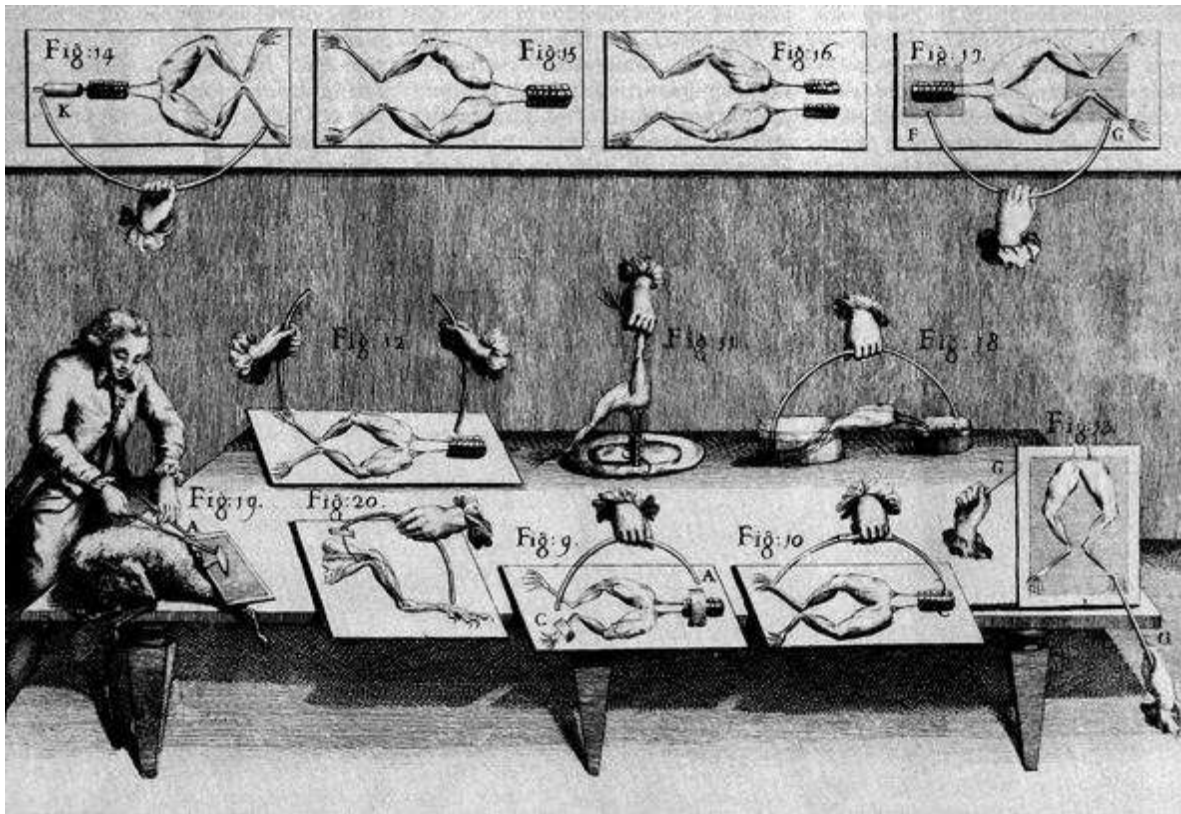


Figura 2.24 Experimentos realizados por Luigi Galvani.

Sin embargo, en 1842, Carlo Matteucci, profesor de Pisa (Italia), por sus trabajos realizados sobre el músculo esquelético comprobó la hipótesis de Luigi Galvani, en donde demostró que una corriente eléctrica acompaña cada latido del corazón. Experimentando con el nervio ciático cortado de la pierna de una rana, en donde el anca de rana se utilizaba como sensor eléctrico y la contracción del músculo del anca era utilizada como signo visual de la actividad eléctrica.

La figura 2.25 muestra el método en el que Carlo Matteucci utilizaba con el nervio ciático cortado de la anca de una rana.



Figura 2.25 Experimentación ilustrativa de contracción inducida utilizada por Carlo Matteucci.

En 1856, los anatomistas Rudolph von Koelliker y Heinrich Muller confirmaron que una corriente eléctrica acompaña a cada latido, mediante el uso de un galvanómetro, aplicándolo a la base y al ápex del ventrículo expuesto, en donde observaron una contracción muscular fuerte inicial, justo antes de la contracción ventricular y también una más suave después de la sístole (movimiento de contracción del corazón y de las arterias para empujar la sangre que contienen) ventricular. Este estímulo eléctrico, provenía del corazón.

En 1872, el físico francés Gabriel Lippmann inventa un electrómetro capilar. Dicho instrumento consta de un tubo capilar de vidrio algo inclinado respecto a la horizontal. Se encuentra soldado por sus extremos a otro tubo de mayor anchura, en este sistema cerrado de tubos se introduce mercurio y ácido sulfúrico.

Al aplicar diferencias de potencial los movimientos y posición de la interfase mercurio-ácido se pueden observar a través de un ocular. Dicho instrumento permitía medir diferencias de potencial debido a que estas provocan movimientos en el mercurio, se fue capaz de registrar la actividad eléctrica.

La tensión se aplica a través de dos terminales en la parte posterior del aparato, éstos están normalmente en cortocircuito, que puede interrumpirse en el momento de realizar una medida

mediante un conmutador montado en la base del aparato. La sensibilidad de este Electrómetro es del orden del milivoltio [8].

La figura 2.26 ilustra el electrómetro de tubo capilar construido por Lippmann; contaba con microscopio para observar y fotografiar la imagen de la derecha, con el mercurio arriba y el ácido sulfúrico abajo, que es la imagen ampliada e invertida de la parte inferior del tubo, cuyo esquema está en el centro, siendo uno de los inventos más importantes para la continuidad de la cardiología.

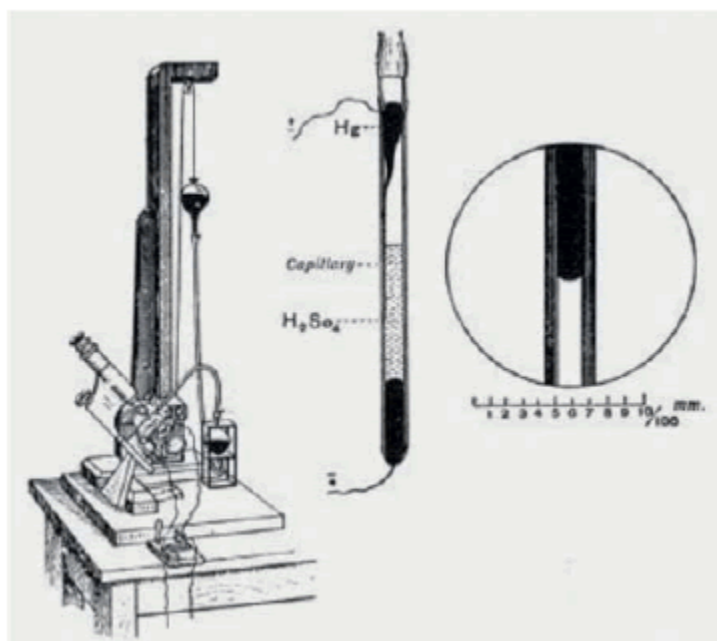


Figura 2.26 Electrómetro de tubo capilar construido por Lippmann.

En 1878, los fisiólogos británicos John Burden Sanderson y Frederick Page registran la corriente eléctrica del corazón de una rana mediante un electrómetro capilar y demuestran la existencia de dos fases diferentes en la actividad del corazón.

En 1887, en Londres, el fisiólogo Augustus Desie Waller del St. Mary's Medical School, publicó el primer electrocardiograma humano, colocándolo sobre el tórax, mediante un electrómetro capilar de Lippmann, en donde la corriente eléctrica del sujeto causaba oscilaciones del mercurio, registrándolas en papel fotográfico.

La figura 2.27 Muestra el primer registro de un registro electrocardiograma humano realizado por August Waller mediante el uso de un electrómetro capilar. La primera señal de arriba (t) es cronométrica marcando los intervalos de tiempo. “h”: es el trazado cardiográfico (choque de punta o apexcardiograma) y “e”: es la silueta del menisco del electrómetro capilar y que es el electrocardiograma directo, sin corregir [9].

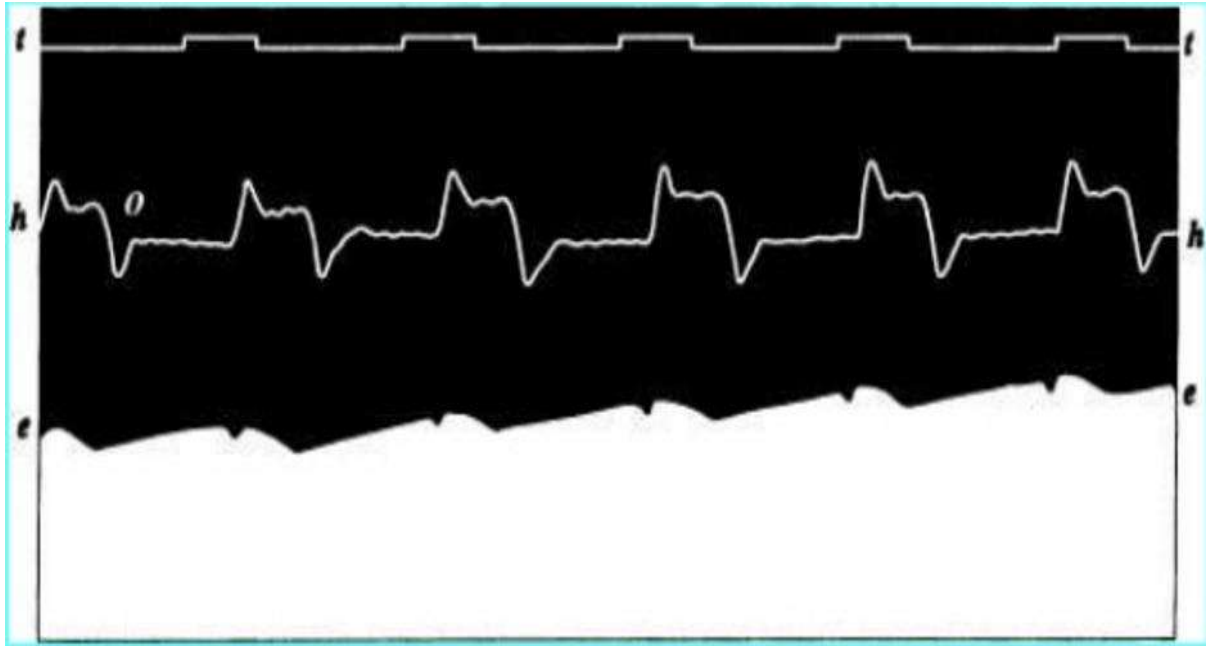


Figura 2.27 Registro electrocardiográfico realizado por August D. Waller.

Los primeros trabajos de August Waller para el registro de potenciales eléctricos del miocardio fueron realizados en animales vivos, y después en seres humanos. Waller en sus experimentaciones era ayudado por su esposa, quien era médico también, juntos trabajaban en un laboratorio privado de fisiología que estaba en su casa en Londres. August Waller tuvo 4 hijos, tres niños y una niña, quienes frecuentemente eran los sujetos de sus estudios electrocardiográficos, sin embargo, su mejor objeto de estudio era su perro bulldog, Jimmy.

La figura 2.28 muestra una fotografía en donde August Waller hace experimentaciones con su perro, Jimmy, en donde los pies del perro se sumergen en frascos de vidrio que contienen solución salina, como electrodos en donde dichos frascos se encuentran conectados por cables con galvanómetros para con ello realizar un electrocardiograma.

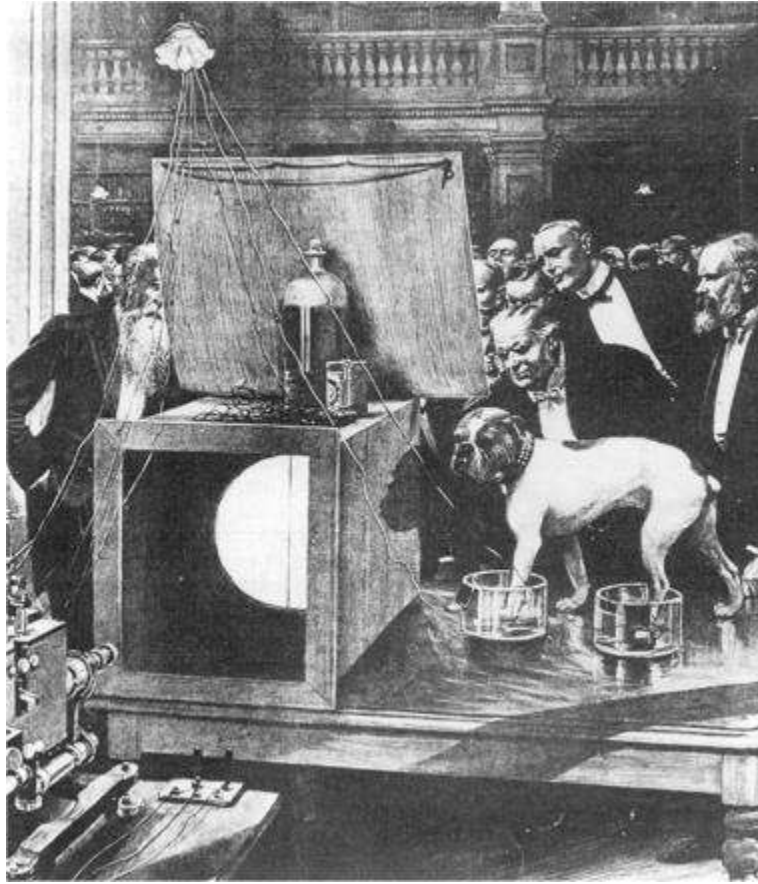


Figura 2.28 Demostración a la Sociedad Real por August Waller con la ayuda de su mascota Jimmy.

En 1891, los fisiólogos británicos William Bayliss y Edward Starling del Colegio Universitario de Londres, mejoraron el electrómetro capilar usado por Sanderson y Page. Conectan las terminales a la mano derecha y a la piel sobre el latido de la punta y demostraron que una variación trifásica que precedía cada latido del corazón. También vieron un retardo de cerca de 0.13 segundos entre la despolarización atrial y la despolarización de los ventrículos.

Sin embargo, en 1895 William Einthoven, médico holandés, quien es considerado como el padre de la electrocardiografía, honor concedido por ser quien realizó los mayores aportes e impulsó su utilización clínica, utilizando un electrómetro mejorado e improvisado mediante una fórmula para corrección, distingue cinco ondas que él denomina: P, Q, R, S y T. Figura 2.29.

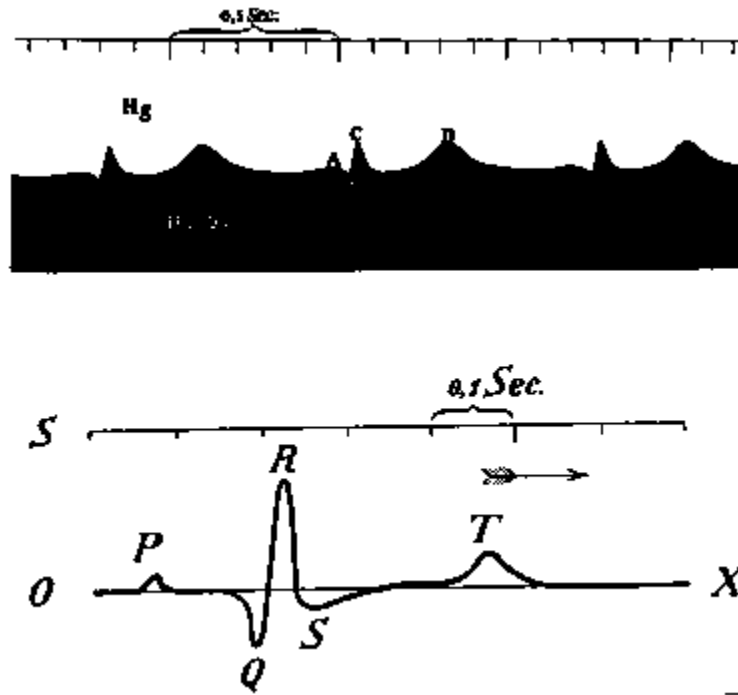


Figura 2.29 Clasificación de las 5 ondas P,Q,R,S Y T en un electrocardiograma.

En 1901, Einthoven inventa un galvanómetro a cuerda utilizando un filamento fino de cuarzo revestido en plata, para producir electrocardiogramas, basado en ideas de Deprez y D'Arsonval quien utilizó un rollo de alambre.

En 1902 Einthoven publica el primer electrocardiograma registrado mediante el uso de un galvanómetro de filamento, además de su primer artículo científico para comunicar las experiencias con el galvanómetro y su utilidad para registrar potenciales cardiacos.

La figura 2.30 muestra el primer electrocardiograma registrado realizado por Einthoven.

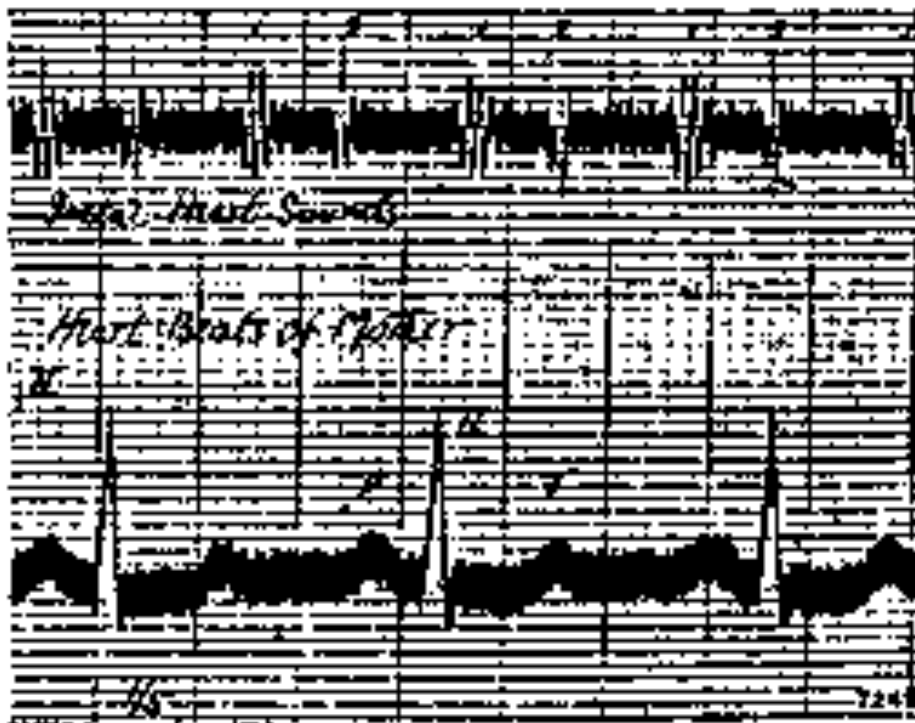


Figura 2.30 Primer electrocardiograma publicado por Einthoven.

El galvanómetro de cuerda consiste en un hilo muy delgado de cuarzo o platino revestido en plata, suspendido a tensión como la cuerda de un violín, la cual pende entre los polos de un electromagneto. Se necesitaba una lámpara de arco para proyectar la sombra del hilo magnificada 600 veces sobre una placa fotográfica. Este método generaba un registro exacto por su alta sensibilidad. Cuando la débil corriente del latido cardíaco pasa a través de esta cuerda tan delicada, sus deflexiones son más pequeñas y más cortas, o más grandes y más largas, en proporción al estado de tensión de la propia cuerda. Einthoven las llamó “telecardiogramas” o telegramas que provienen del corazón, puesto que dan un boletín exacto de su estado electromotor, pero finalmente prefirió utilizar el término de electrocardiograma [10].

En la figura 2.31 se muestra galvanómetro de cuerda, inventado por Einthoven para producir electrocardiogramas.

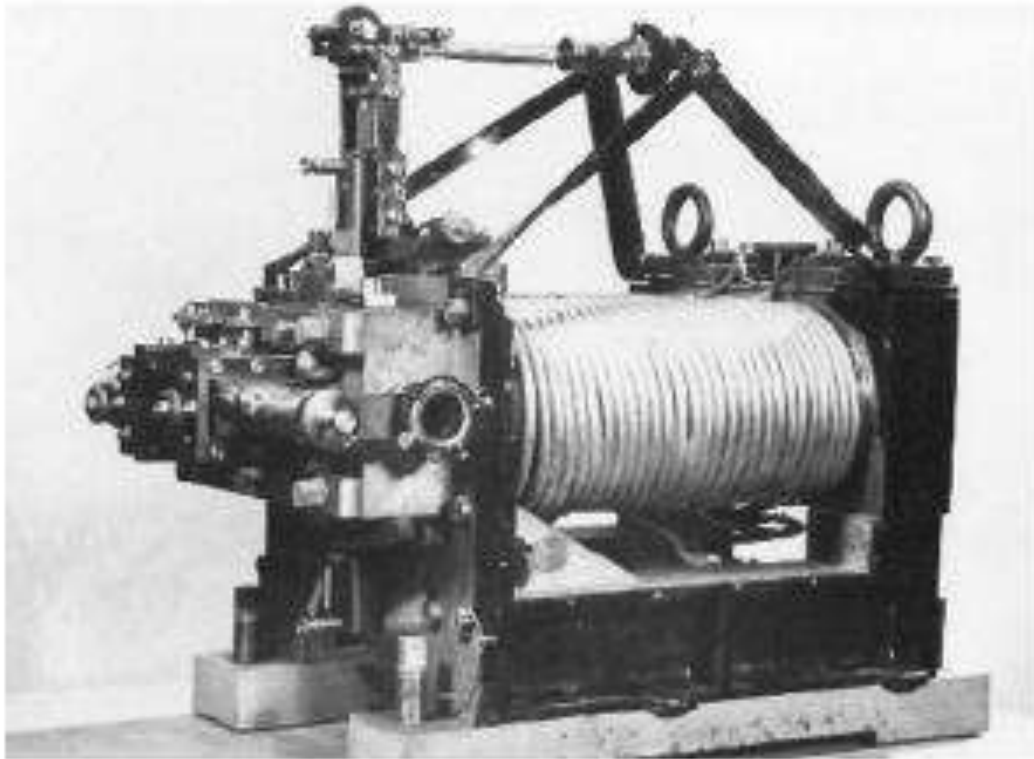


Figura 2.31 Galvanómetro de cuerda.

A continuación, se muestra de una forma esquemática, como se encuentra constituido de manera interna el galvanómetro de cuerda. Figura 2.32.

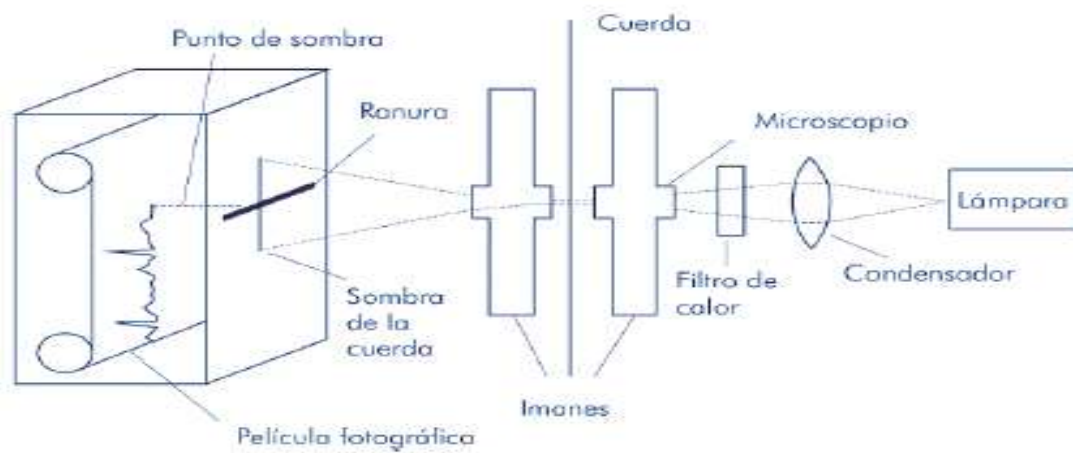


Figura 2.32 Esquema del galvanómetro de cuerda de Einthoven.

Los sujetos a quienes se les tomaban los trazados debían introducir sus extremidades en vasijas con una solución electrolítica en la cual también eran suspendidos los electrodos conductores (láminas de cobre) [10].

En la figura 2.33 se muestra a un sujeto que es sometido a la experimentación del galvanómetro de cuerda, introduciendo parte de sus brazos y manos en agua salada.

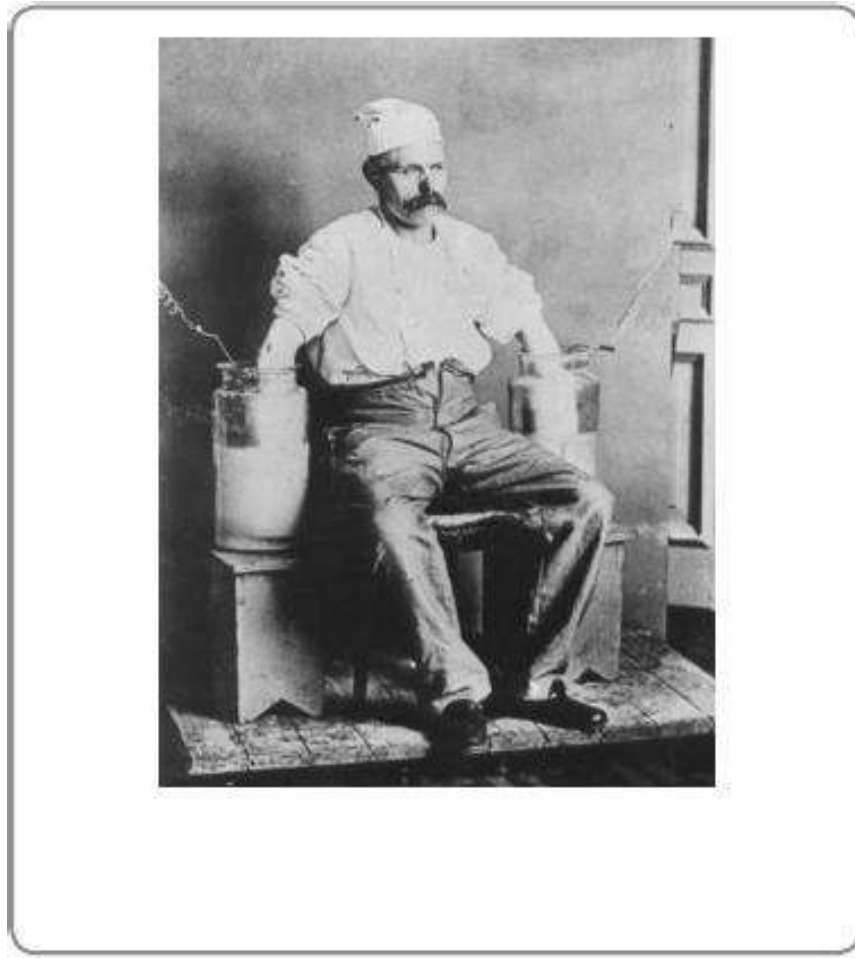


Figura 2.33 Toma de electrocardiograma con las extremidades sumergidas en vasijas con soluciones electrolíticas.

Sin embargo, el galvanómetro de cuerda inventado por Einthoven a pesar de su sensibilidad, tenía las desventajas de que pesaba más de 250 Kg., para su manejo de operación era necesario utilizar de 4 a 5 personas, y ocupaba dos estancias, por lo que debido a estas dificultades técnicas, este instrumento cayó en desuso.

En 1912 Einthoven escribe a la Sociedad de Clínicos de Chelsea en Londres y describe un triángulo equilátero formado por las derivaciones estándar I, II y III; y proponen el esquema del triángulo equilátero con un dipolo central para facilitar el cálculo del eje eléctrico del corazón que posteriormente se conocerán como “Triángulo de Einthoven”.

Einthoven colocó electrodos de registro en los brazos izquierdo y derecho y en la pierna izquierda lo cual produjo 3 derivaciones (I II y III) o también llamadas bipolares, formando un triángulo uniendo con una línea recta las 3 derivaciones.

En donde cada par de electrodos representa una derivación, los cuales son colocados en la superficie de la piel. Por lo que podemos describir que en la derivación I: el electrodo del brazo izquierdo constituye al polo positivo y el electrodo del brazo derecho al polo negativo, mientras que en la derivación II: el electrodo colocado en la pierna izquierda como polo positivo y el electrodo del brazo derecho como polo negativo, y por último en la derivación III: el electrodo del brazo izquierdo como negativo y el de la pierna izquierda como positivo. Como se observa en la figura 2.34.

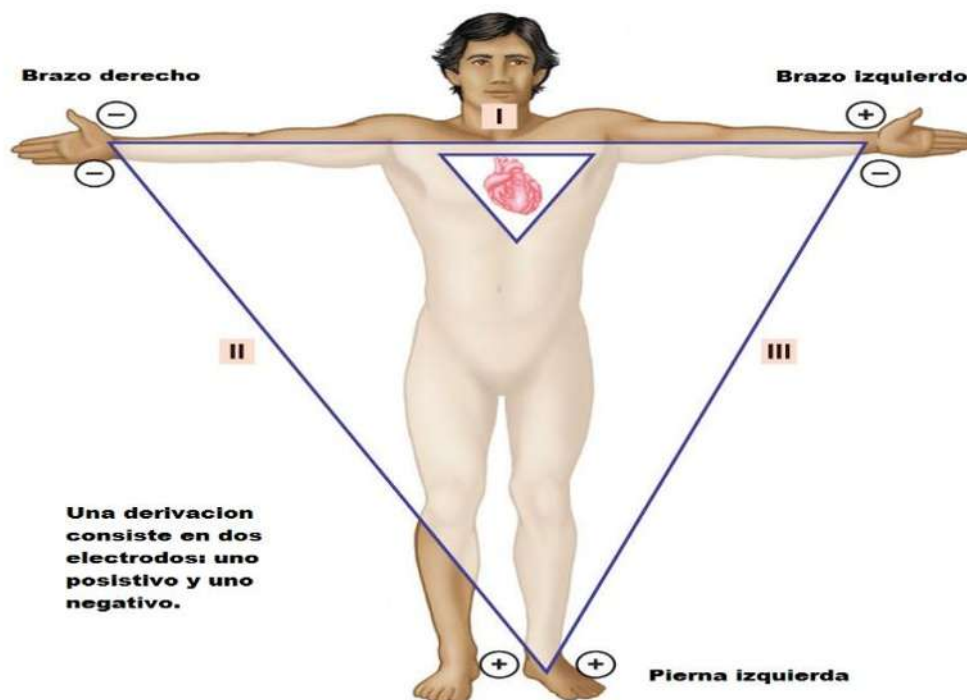


Figura 2.34 Triángulo de Einthoven y sus tres derivaciones.

La compañía Frank Sanborn, fue la primera en desarrollar el primer electrocardiógrafo portátil en 1928. El aparato pesaba unos 25 Kg. y funcionaba con una batería de automóvil de 6 V.

La figura 2.35 muestra el Sanborn Viso Cardiette electrocardiógrafo, modelo 51 aparato electrónico que capta y amplía la actividad eléctrica del corazón a través de electrodos colocados en las cuatro extremidades y en seis posiciones precordiales



Figura 2.35 Electrocardiógrafo Sanborn Viso Cardiette modelo 51

CAPÍTULO 3 SENSORES DE LA

RELACIÓN DE EJERCICIO

3.1 INTRODUCCIÓN

El corazón es un órgano vital para el desarrollo de todas nuestras funciones. Gracias a él obtenemos el oxígeno necesario para el funcionamiento adecuado de todos nuestros órganos, tales como el cerebro, los órganos de los sentidos, pulmones, riñones, aparato digestivo, sistema muscular y reproductivo.

El órgano funciona incesantemente, latiendo 100.000 veces al día, 40 millones de veces al año -registrando en total 3.000 millones de latidos durante una vida media. Suministra constantemente al cuerpo oxígeno y nutrientes, a la vez que retira materia de desecho dañina.

3.2 ANATOMÍA DEL CORAZÓN

Para todo lo que hace, el corazón es un órgano relativamente pequeño, aproximadamente del mismo tamaño (pero no de la misma forma) que un puño cerrado. Mide alrededor de 12 cm de largo, 9 cm en su punto más ancho y 6 cm de espesor, con un promedio de 250 g en mujeres adultas y de 300 g en hombres adultos [11].

El corazón humano (Figura 3.1) es en realidad el resultado de la unión de dos corazones: el derecho que envía la sangre sin oxígeno al pulmón para que se oxigene; y el izquierdo, que envía la sangre oxigenada al resto del cuerpo. Cada corazón tiene a su vez dos cavidades: las aurículas derecha e izquierda que serían la antesala; y los ventrículos derecho e izquierdo

actuando como una bomba sanguínea que con su potente contracción muscular impulsa la sangre hacia el pulmón o hacia el resto del cuerpo. La contracción del ventrículo derecho es de menor fuerza que la del izquierdo ya que al primero le basta una pequeña contracción para impulsar la sangre al pulmón, se podría decir que la aurícula y el ventrículo derecho son de baja presión, mientras que el ventrículo izquierdo tiene que impulsar la sangre a gran presión para que esta llegue a todos los órganos incluido el sistema nervioso central (alta presión). Las aurículas están separadas de los ventrículos por las válvulas auriculo ventriculares: la tricúspide en el lado derecho y la mitral en el izquierdo. Ambas válvulas impiden que la sangre de los ventrículos retroceda a las aurículas cada vez que éstos se contraen. Ambos corazones (figuradamente el derecho y el izquierdo) están totalmente separados por dos tabiques: el interatrial (que separa a las aurículas) y el interventricular (que separa a los ventrículos) de forma que la sangre no oxigenada no se mezcle con la sangre oxigenada [12].

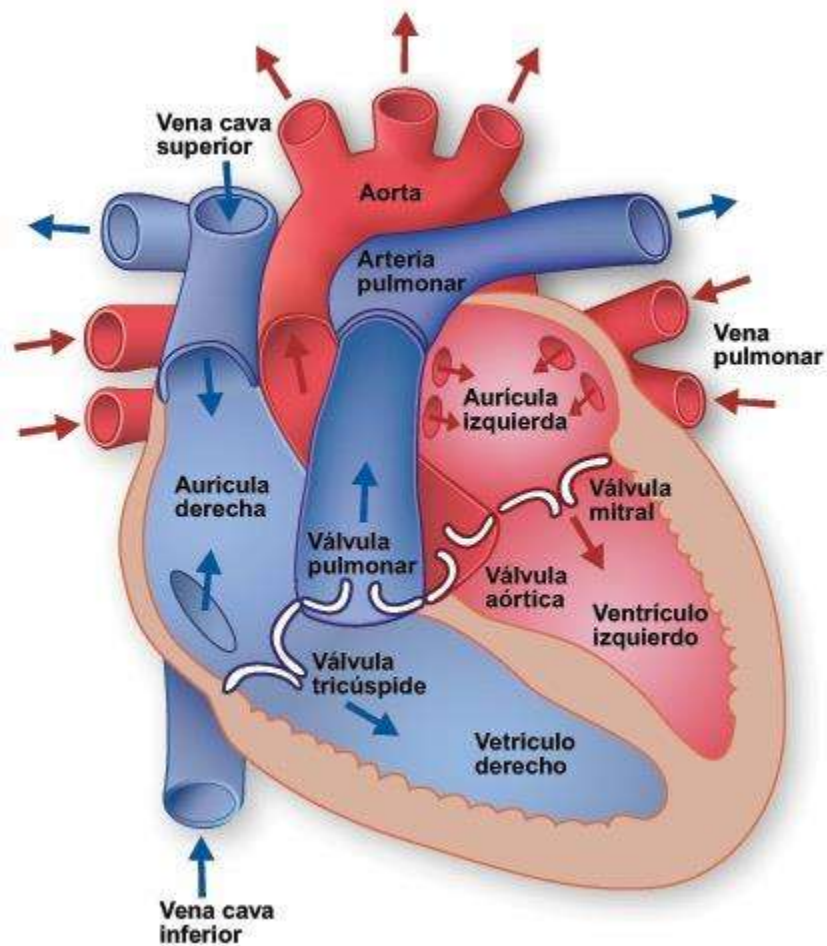


Figura 3.1 Cavidades del corazón.

Las válvulas que controlan el flujo de la sangre por el corazón son cuatro (figura 3.2) [13]:

- La válvula tricúspide controla el flujo sanguíneo entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho.
- La válvula pulmonar controla el flujo sanguíneo del ventrículo derecho a las arterias pulmonares, las cuales transportan la sangre a los pulmones para oxigenarla.
- La válvula mitral permite que la sangre rica en oxígeno proveniente de los pulmones pase de la aurícula izquierda al ventrículo izquierdo.
- La válvula aórtica permite que la sangre rica en oxígeno pase del ventrículo izquierdo a la aorta, la arteria más grande del cuerpo, la cual transporta la sangre al resto del organismo.

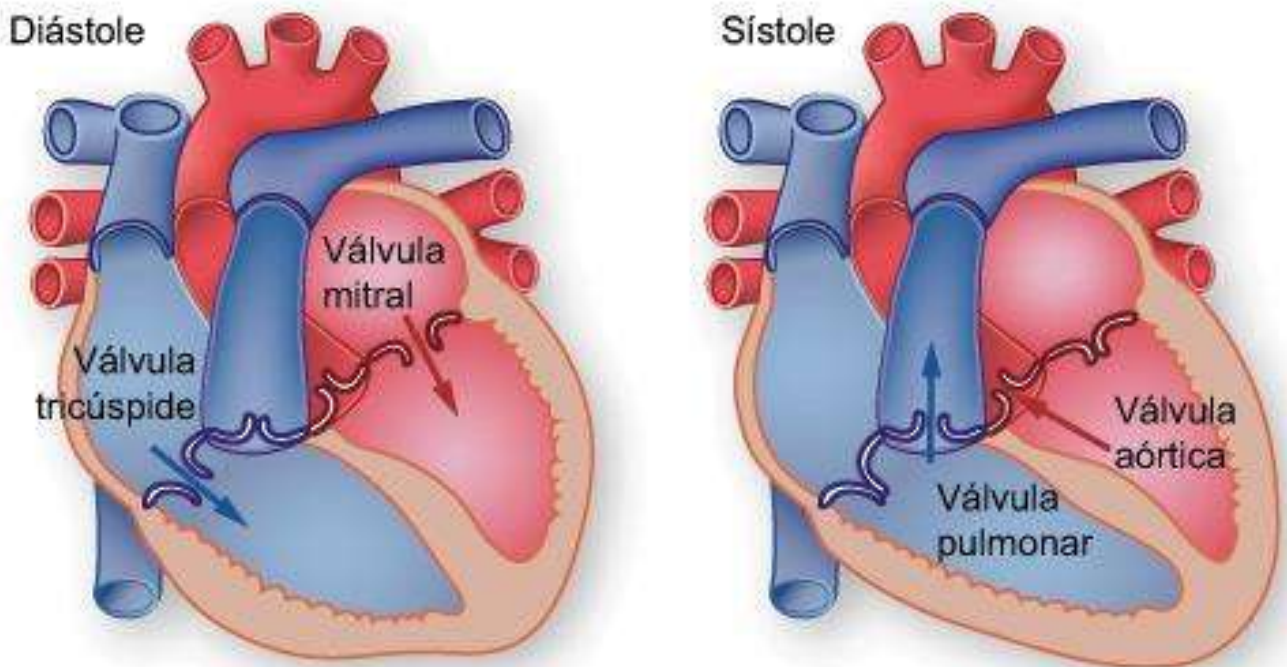


Figura 3.2 Las válvulas cardíacas.

3.3 ACTIVIDAD ELÉCTRICA DEL CORAZÓN

El corazón funciona por impulsos eléctricos generados por algunas células del tejido muscular de dicho órgano. Son impulsos similares a los de otras células, como los generados por las neuronas y las células de los músculos esqueléticos.

Los impulsos eléctricos generados por el músculo cardíaco (el miocardio) estimulan el latido (contracción) del corazón. Esta señal eléctrica se origina en el nódulo sino auricular (SA) ubicado en la parte superior de la aurícula derecha. El nódulo SA también se denomina el «marcapasos natural» del corazón. Cuando este marcapasos natural genera un impulso eléctrico, estimula la contracción de las aurículas. A continuación, la señal pasa por el nódulo auriculo ventricular (AV). El nódulo AV detiene la señal un breve instante y la envía por las fibras musculares de los ventrículos, estimulando su contracción (figura 3.3). Aunque el nódulo SA envía impulsos eléctricos a una velocidad determinada, la frecuencia cardíaca podría variar según las demandas físicas o el nivel de estrés o debido a factores hormonales [14].

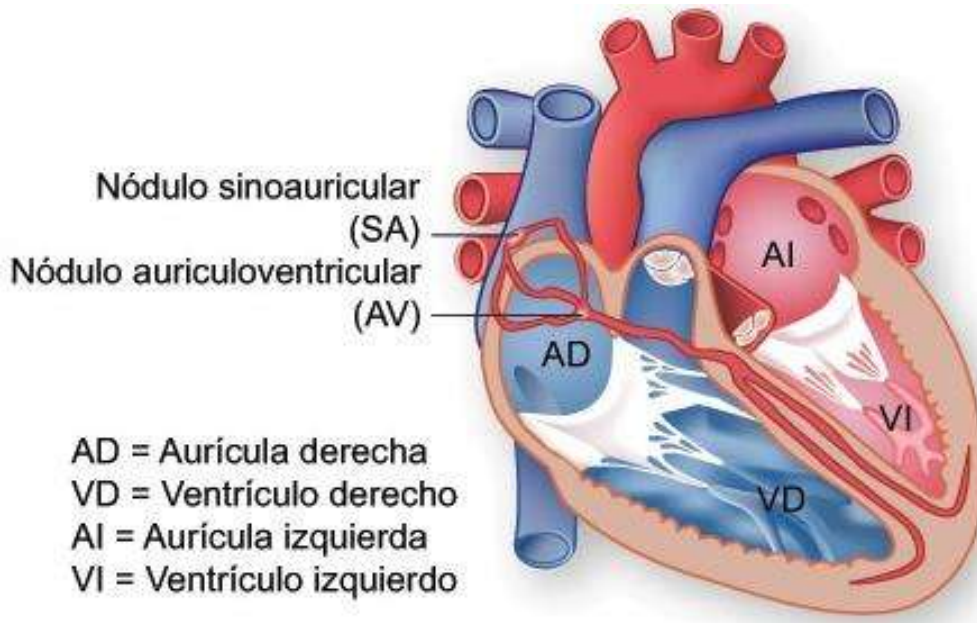


Figura 3.3 Sistema de conducción del corazón.

3.4 RITMO CARDIACO

El ritmo cardiaco se define como la expansión y contracción de una arteria (vaso sanguíneo que lleva sangre oxigenada a los órganos o tejidos) percibida en determinada parte del cuerpo. El ritmo cardiaco se refiere a las veces que late el corazón en un minuto. Por lo tanto, podemos decir que el pulso y el ritmo cardiaco son dos términos que deben considerarse en forma conjunta, ya que una depende de la otra y viceversa.

El ritmo cardiaco normal puede llegar a variar por distintos factores, dentro de los cuales el más importante y destacado es la edad. Por lo que podemos considerar como un ritmo cardiaco normal si se encuentra entre los 60 y 100 pulsaciones por minuto.

La tabla 3.1 muestra algunos valores del ritmo cardiaco de acuerdo a distintas edades, en donde se puede decir que si el ritmo cardiaco es menor a 60 pulsaciones (latidos) por minuto, se considera bradicardia; por el contrario si las pulsaciones son mayores a 100, se considera taquicardia.

Tabla 3.1 Valores del ritmo cardiaco normales.

Etapa	Pulsaciones por minuto
Recién nacidos	100 a 160
Niños de 1 a 7 años	70 a 120
Niños de más de 10 años y adultos	60 a 100
Ancianos	60 o menos
Atletas	40 a 60

3.5 CICLO CARDIACO

El ciclo cardiaco consta de todo el conjunto y hechos que se presentan en el corazón al latir una y otra vez. En este proceso las aurículas y ventrículos son contraídos y relajados, permitiendo el flujo de sangre hacia las cámaras, la aorta y el tronco pulmonar. Durante este ciclo se distinguen las siguientes dos fases [15].

- La diástole o relajación: En esta fase la aurícula o el ventrículo se llenan de sangre.
- La sístole o contracción: En esta fase la sangre contenida en la aurícula o el ventrículo es expulsada.

La diástole es una fase pasiva, es decir en la cual no se gasta energía, mientras que la sístole es una fase activa, en la cual las células miocárdicas gastan energía.

Los fenómenos cardiacos que se producen desde el comienzo de un latido cardiaco hasta el comienzo del siguiente se denominan ciclo cardiaco [16].

El ciclo cardiaco es la secuencia de eventos relacionados con el flujo de sangre, de la contracción y relajación de las cuatro cavidades cardiacas, el cierre y apertura de las válvulas y la producción de ruidos a ellas asociadas (figura 3.4).

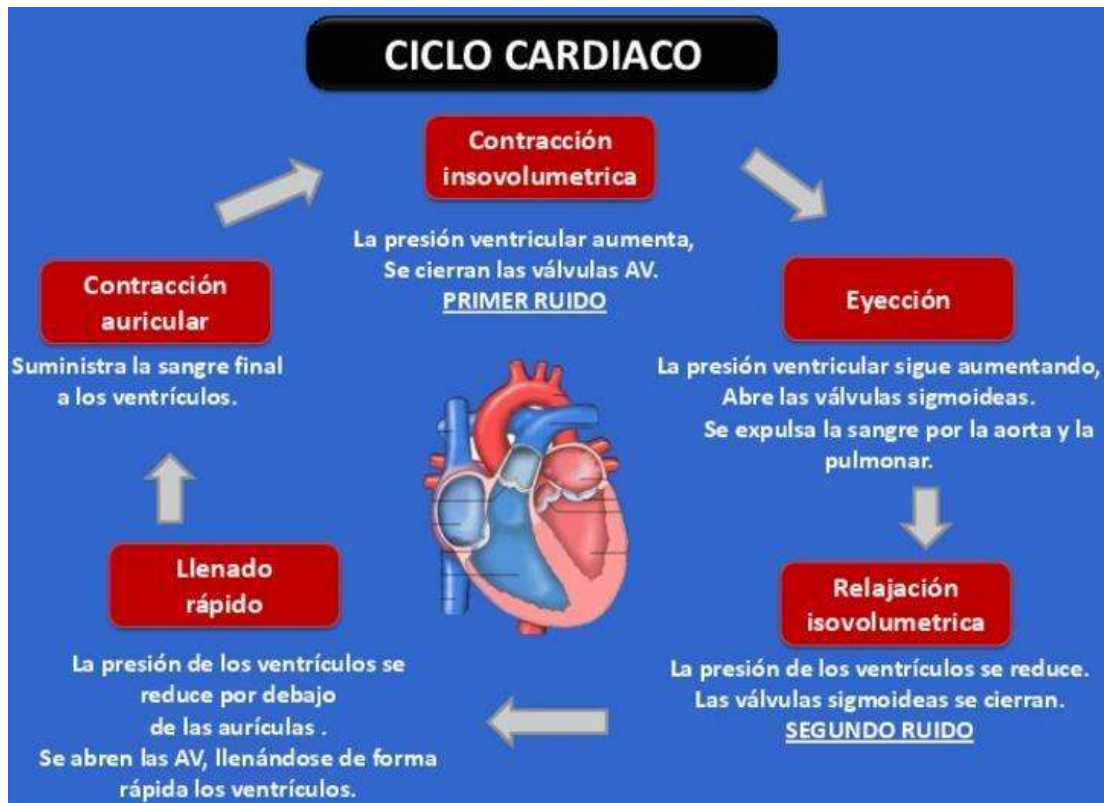


Figura 3.4 Representación del ciclo cardíaco.

3.6 FRECUENCIA CARDIACA

La frecuencia cardíaca (FC) es el número de veces que se contrae el corazón durante un minuto. Esta se reduce (bradicardia) durante el sueño y se acelera (taquicardia) con emociones, ejercicio, fiebre y otros estímulos. En individuos jóvenes sanos que respiran a una frecuencia normal, la frecuencia cardíaca varía con las fases de la respiración: se acelera durante la inspiración y se reduce la espiración, especialmente, si se aumenta la profundidad de la inspiración [17].

La duración del ciclo cardiaco es el recíproco de la frecuencia cardiaca, por lo que cuando la frecuencia cardiaca de una persona es de 75 latidos por minuto (lpm), un ciclo cardiaco dura 0.8 s.

$$\text{ciclo cardíaco (s/latido)} = \frac{60 \text{ (s/min)}}{FC \text{ (latido/min)}} \quad (3.1)$$

$$\text{Ciclo cardíaco} = \frac{60 \text{ s/min}}{75 \text{ l/min}} = 0.8 \text{ s.} \quad (3.2)$$

3.7 TÉCNICAS DE MEDICIÓN

3.7.1 PULSO ARTERIAL

Durante la sístole, se ha visto que la sangre sale del ventrículo izquierdo hacia la aorta y sus ramas. Este desplazamiento de sangre hacia adelante forma una onda de presión que expande las paredes de las arterias, que se puede palpar; es lo que se denomina pulso. El punto más conocido para palparlo se sitúa en la muñeca figura (3.5) [18]. En la aorta la onda viaja a una frecuencia alrededor de 4 m/s, en las arterias grandes a 8m/s, y en las arterias pequeñas de los adultos jóvenes alrededor de 16 m/s. la compresión debe ser suave para facilitar el reconocimiento de la variación interna de la presión, ya que al realizar una compresión con mayor fuerza se puede llegar a producir un aplastamiento completo en la arteria, lo cual anularía la percepción del pulso.

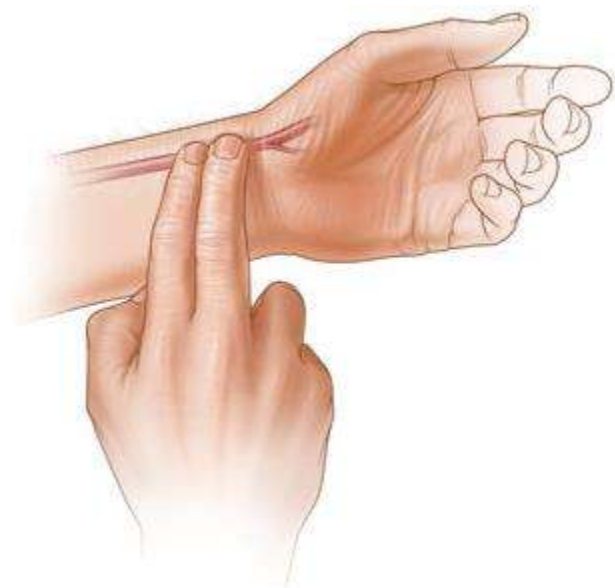


Figura 3.5 Presión arterial.

En consecuencia, el pulso arterial se examina sobre la arteria radial la cual se encuentra en el extremo externo del antebrazo, en esta zona la arteria se vuelve muy superficial y por lo tanto, puede ser comprimida fácilmente contra el hueso. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el pulso también puede examinarse en el cuello las carótidas, en los brazos la braquial, y también en otros sectores del cuerpo.

3.7.2 MÉTODO DE AUSCULTACIÓN

En la mayoría de los hospitales y clínicas el esfigmomanómetro es el dispositivo más usado para medir la presión arterial. En este dispositivo se encuentra un manguito el cuál está conectado a un bulbo que sirve para que el manguito se infle y mediante un medidor que se encuentra incorporado se registre la presión aplicada en el manguito. Se debe de tener el brazo apoyado en una mesa, esto es con la finalidad de que esté aproximadamente a la altura del corazón, después de esto se procede a envolver el manguito del esfigmomanómetro alrededor del brazo desnudo.

El manguito se infla apretando el bulbo hasta que la arteria braquial queda comprimida y el flujo sanguíneo se detiene, alrededor de 30 mm Hg por encima de la presión sistólica habitual de la persona. El técnico ubica el estetoscopio por debajo del manguito sobre la arteria braquial, y lentamente lo desinfla. Cuando el manguito se desinfla lo suficiente para permitir que la arteria se abra, un chorro de sangre la atraviesa y origina el primer ruido escuchado a través del estetoscopio. Este ruido corresponde a la presión arterial sistólica. Cuando se desinfla aún más el manguito, los ruidos se vuelven de repente demasiado débiles para poder ser escuchados a través del estetoscopio. Este nivel, llamado la presión arterial diastólica, representa la presión ejercida por la sangre remanente en las arterias durante la relajación ventricular. A presiones por debajo de la presión arterial diastólica, los sonidos desaparecen por completo [19].



Figura 3.6 Método de auscultación mediante un esfigmomanómetro.

3.7.3 FOTOPLETISMOGRAFÍA

La fotoplestismografía es un método no invasivo para la detección de ondas cardiovasculares propagadas alrededor del cuerpo humano en las diferentes partes del cuerpo de una persona, especialmente sus extremidades. Su principio se basa en la capacidad de la gama infrarroja de la energía lumínica en incidir y reflejarse en el flujo sanguíneo de las arterias y venas subcutáneas. La fuente emisora de infrarrojos es un diodo y la receptora es un foto sensor de cadmio-selenio contiguo al primero. La absorción de la luz se debe a que con cada ciclo cardíaco, el corazón bombea sangre a la periferia.

El cambio de volumen causado por la presión de pulso, es detectado en la piel con la luz infrarroja que emite un diodo LED; luego se mide la cantidad de luz transmitida o reflejada con un fototransistor. Se obtiene la señal de las variaciones aplicando la fotoplestismografía en los dedos, con este propósito se describen los tres tipos de captura mostrados en la figura 3.7, las tres técnicas son: trans-iluminado, reflexión de la luz y fibra óptica [20].

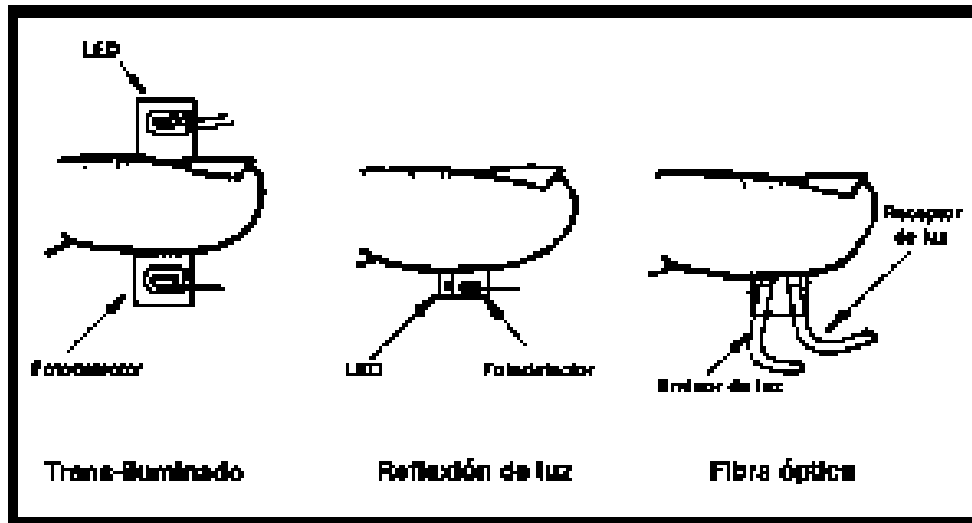


Figura 3.7 Tipos de Fotoplestismografía.

3.7.4 ELECTROCARDIOGRAMA

Los potenciales de acción a medida que a través del corazón se propagan, se generan corrientes eléctricas, las cuáles puede detectarse desde la superficie corporal. El electrocardiógrafo es un equipo capaz de no solo de obtener el pulso cardiaco, sino que también se obtiene un estudio completo de la actividad eléctrica del corazón, el cual se interpreta mediante un electrocardiograma (ECG) en trazados sobre papel.

El ECG es una representación de los potenciales de acción producidos por todas las fibras musculares cardiacas durante cada latido.

En la práctica clínica, para realizar el ECG se colocan electrodos en los brazos y las piernas (derivaciones de los miembros) y en seis ubicaciones a nivel torácico (derivaciones precordiales) como se ve en la figura (3.8). El electrocardiógrafo amplifica estas señales eléctricas cardiacas y produce 12 trazados diferentes surgidos de combinaciones diferentes de las derivaciones de los miembros y precordiales. Cada electrodo detecta una actividad eléctrica levemente diferente según la posición que ocupa respecto al corazón. Mediante la comparación de los trazados entre sí y con trazados normales, es posible determinar si el sistema de conducción está alterado, si el corazón esta agrandado si ciertas regiones del corazón están dañadas y la causa [19].



Figura 3.8 Aplicación de un electrocardiograma.

3.8 MONITORES DE FRECUENCIA CARDIACA

Estos dispositivos de nueva tecnología son utilizados para poder monitorear la frecuencia cardíaca de cualquier actividad física, por eso hoy en día se encuentran presentes en muchos eventos deportivos, gimnasios, tanto en centros de acondicionamiento físico, centros de entrenamiento de alto rendimiento e instalaciones médicas.

Los sensores de frecuencia cardíaca vienen típicamente en una de dos formas. El estilo de correa de pecho y el estilo de la banda de la muñeca. Hay pros y los contras de cada tipo de sensor.

Un sensor inalámbrico en una correa de pecho detecta el pulso electrónicamente y envía esos datos a un receptor, tal como un teléfono inteligente o un rastreador de pulsera. Esto es similar a lo que se puede ver en los hospitales con pacientes que tienen sensores atados a su pecho. Este tipo de monitores tienden a ser de alta precisión.

3.8.1 RELOJ FT7 POLAR

Las características del reloj FT7 (figura 3.9) son: incluye un cómodo sensor de frecuencia cardíaca. Funciones básicas como luz, fecha y día de la semana, pantallas en inglés, alemán, finlandés, sueco, francés, portugués, castellano e italiano, zona horaria 2, bloqueo de botones, indicador de batería baja, hora (12/24h) con alarma visual y sonora, batería reemplazable por el usuario, resistencia al agua - 30m. La activación de la función Heart Touch durante una sesión de entrenamiento permite acceder a información diversa relacionada con el entrenamiento acercando el training computer a tu transmisor y, por lo tanto, sin tener que pulsar botones [21].



Figura 3.9 Reloj FT7 Polar.

3.8.2 MONITOR DE FRECUENCIA CARDIACA DE EJERCICIO (EXERCISE MONITOR HEARTRATE SENSOR)

El monitor de frecuencia cardiaca del ejercicio es una excelente opción de manos libres para el seguimiento continuo de la frecuencia cardíaca antes, durante y después del ejercicio.

Dispone de una suave correa textil, se ha optimizado para uso en áreas repletas de gente, como gimnasios y competiciones deportivas.



Figura 3.10 Monitor de ejercicio de frecuencia cardiaca, modelo EHR-BTA.

El uso de la correa del pecho, los datos se transmiten de forma inalámbrica a una interfaz de Vernier con el receptor de frecuencia cardíaca. Los datos son transmitidos a través de Bluetooth ® para LabQuest 2 (puede requerir hardware adicional), IOS ®, o Android ™ dispositivos sin el receptor[22].

- Simple y fácil de usar
- correa de pecho es ideal para correr, ciclismo y otras actividades físicas.

3.8.3 CAMISETA INTELIGENTE

Científicos de la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), presentaron la camiseta inteligente t-shirt que mide los parámetros fisiológicos como la temperatura, la frecuencia cardíaca y otras funciones del cuerpo humano, trasmitiendo estas señales biométricas a través de un sistema muy similar al GPS “Redes Inalámbricas”, que localiza al paciente dentro del hospital. Determinando además en que posición exacta esta, si sentado, acostado, caminando o está corriendo, figura 3.11.



Figura 3.11 Camiseta inteligente.

Las camisetas fueron presentadas en el consorcio por LOBIN, basándose básicamente en dos partes: Una infraestructura fija pre instalado en el hospital y las unidades móviles que se mueven con los pacientes en las camisetas. El prototipo de la t-shirt es totalmente lavable, que incluye unos electrodos que detectan el poder bio-eléctrico, además que cuenta con acelerómetros, el termómetro y el electrocardiograma que mostrando los signos vitales del portador [23].

3.8.4 ELECTROCARDIOGRAMAS MEDIANTE UN DISPOSITIVO PORTÁTIL DEL TAMAÑO DE UNA TIRITA

Unos ingenieros de la Universidad de California en San Diego, Estados Unidos, han desarrollado el primer dispositivo flexible que se puede llevar encima (wereable o ponible) capaz de monitorizar tanto las señales eléctricas como las bioquímicas en el cuerpo humano. El parche Chem-Phys registra las señales del electrocardiograma y hace un seguimiento en tiempo real del lactato, una bio-sustancia que es un marcador del esfuerzo físico, figura (3.12).

El aparato puede ser llevado sobre el pecho y se comunica inalámbricamente con un teléfono inteligente (smartphone), un reloj inteligente o un ordenador portátil. Podría tener una amplia gama de aplicaciones, desde ayudar a atletas a que supervisen su ejercicio físico, hasta ayudar a médicos que hagan lo propio con pacientes que sufren alguna enfermedad cardiaca [24].



Figura 3.12 Sensores para un electrocardiograma en la piel.

CAPÍTULO 4 INSTRUMENTACIÓN DE

RELACIÓN DE EJERCICIO

4.1 VERNIER SOFTWARE & TECHNOLOGY

Vernier software & technology es una compañía dedicada al desarrollo de software y equipos educativos con sede en Beaverton Oregon, esta compañía produce sensores y software de gráficos para el uso educativo. La compañía Vernier es una de las primeras en hacer popular el uso de computadoras y tecnología de sensores conocidos como “probeware” o “Microcomputer Based Labs” (MBL) durante los experimentos de laboratorio.

4.2 LABPRO

LabPro es una interfaz de sensor versátil para la recolección de la calculadora y el ordenador de datos.

El Vernier LabPro ofrece la mayor versatilidad en la recogida de datos de los sensores de Vernier, figura 4.1. Puede usar LabPro con una calculadora gráfica de Texas Instruments compatible, con un ordenador y Logger Prosoftware, o por sí misma como un colector de datos a distancia. Si su escuela tiene más calculadoras gráficas de TI que las computadoras, LabPro es una manera económica de complemento recopilación de datos para experimentos científicos [25].



Figura 4.1 Interfaz LabPro.

- Compatible con más de 70 sensores Vernier.
- Seis canales de recolección de datos le permiten utilizar varios sensores a la vez.
- Las muestras de hasta 50.000 lecturas por segundo.
- Salida analógica para el control de dispositivos eléctricos, como los motores de corriente continua, ventiladores, LEDs, y más para proyectos de ingeniería.

4.3 LABQUEST 1

LabQuest es una interfaz independiente y equipo para los sensores de Vernier. Utiliza la pantalla táctil en color para obtener, representar gráficamente y analizar los datos en el aula o en el campo, figura 4.2.

Robustos y resistentes, construido para durar. Creado con la clase de hoy en la mente, el LabQuest está diseñado con sobremoldeo caucho y diseño mecánico robusto para proporcionar protección contra los golpes diarios, caídas y salpicaduras [26].



Figura 4.2 Interfaz Vernier LabQuest

Características principales de hardware:

- Stand-alone dispositivo o interfaz de la computadora Windows y Macintosh.
- Diseño duradero y resistente al agua, construido por años de uso.
- Batería recargable por lo general le permite ir un día de clases antes de la recarga.
- Compatible con los sensores Vernier existentes.

Recopilar y analizar datos directamente en la LabQuest con su pantalla táctil de color intenso. Realizar análisis gráfico, experimentos de tiempo con el cronógrafo, escribir notas de los alumnos, y hacer cálculos con la calculadora científica, todo usando el software LabQuest.

Características clave del software:

- Interfaz intuitiva basada en el contacto.
- El software integrado de gráficos y análisis.

- Cronómetro, notas, actividades, calculadora científica y más.

La Tecnología de Excel:

- Puede ser utilizado como una interfaz de ordenador, un dispositivo autónomo, o en el campo.
- El software integrado de gráficos y análisis.
- pantalla táctil de colores vivos.

4.4 LABQUEST 2

LabQuest 2 es la interfaz más potente e intuitiva para la educación científica. Involucre a sus estudiantes en la ciencia en el aula o en el campo.

VernierLabQuest2 es una interfaz autónoma utilizada para recoger datos de los sensores con su aplicación integrada de gráficos y análisis. El gran tamaño y alta resolución de la pantalla táctil hace que sea fácil e intuitivo para recopilar, analizar y compartir datos de los experimentos [27]. Su conectividad inalámbrica fomenta la colaboración y el aprendizaje personalizado. También, puede utilizar LabQuest 2 como una interfaz de ordenador utilizando el software Logger Pro para el análisis avanzado y funciones de vídeo como se muestra figura 4.3.

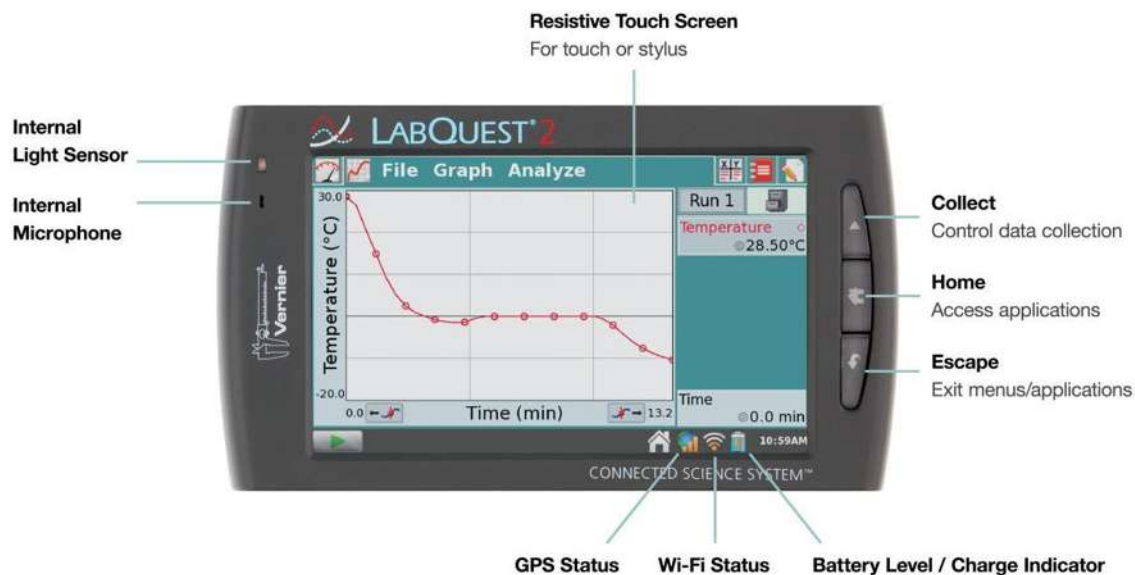


Figura 4.3 Interfaz Vernier LabQuest 2.

Características principales:

- Autónoma y conectada a computadora con una pantalla táctil.
- Compatible con todos los sensores Vernier.
- Recopilación de datos ultra rápida.
- Batería recargable de alta capacidad, e intercambiable.
- Compatible con ordenadores Windows y Macintosh.
- Actualización es de software gratuitas.

NuevoLabQuest 2:

- Recoger, analizar compartir datos de sensores sin cables en cualquier dispositivo con un navegador web.
- Resolución de la pantalla más grande y más alto, con orientación vertical y horizontal.
- Sensores incorporados, tales como GPS y acelerómetros.
- Procesador más rápido para el análisis y gráficos.
- Pantalla más grande y de alta resolución con pantalla táctil.
- Conectividad inalámbrica con Wi-Fi y Bluetooth.

- Recopilación de datos rápida, con 100,000 muestras por segundo.

4.5 SENSORES DE LABQUEST

Con la interfase LabQuest se tiene la oportunidad de crear experimentos científicos con la ayuda de los sensores, los cuales son más de 50 y en algunos casos existen sensores de diferentes constituciones.

4.5.1 SENSOR DE CORRIENTE ELÉCTRICA

El sensor de corriente eléctrica puede medir intensidades de corriente en circuitos de corriente directa y alterna, ambos de bajo voltaje. Su rango de medida es de 0 a 0.6 A, rango ideal para la mayoría de los circuitos de bajo voltaje, el cual se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4 Sensor de Corriente Eléctrica.

El sensor contiene un elemento de detección y amplificador de señal. El elemento de detección es una resistencia de 0.1 ohm unida entre las terminales roja y negra. Cuando la corriente pasa por la resistencia, una diferencia de potencial puede ser medida a través de esta resistencia. Esta diferencia de potencial es la entrada al amplificador de señal. El

resultado final es que un voltaje es producido por el amplificador y que puede ser medido por la interfaz de laboratorio. Este voltaje varía de manera lineal con la corriente.

4.5.2 SENSOR DE CAMPO MAGNÉTICO.

El sensor de campo magnético utiliza un transductor de efecto Hall y mide una componente transversal del campo magnético cerca de la punta del sensor. Tiene dos rangos, permitiendo la medición de relativamente fuertes campos magnéticos alrededor de imanes permanentes y electroimanes, así como la medición de los campos débiles, tales como el campo magnético de la tierra, el cual se muestra en la figura 4.5.



Figura 4.5 Sensor de Campo Magnético.

El sensor produce un voltaje que es lineal con el campo magnético. El sensor mide el componente del campo magnético que es perpendicular al punto blanco situado en el fin del sensor. La lectura es positiva cuando el punto blanco en el sensor señale un polo sur magnético.

4.5.3 SENSOR DE TEMPERATURA

El sensor de temperatura está hecha de acero inoxidable, este es un sensor de temperatura robusto y de uso general el cuál se puede usar en líquidos orgánicos, soluciones salinas, ácidos y bases. Se usa como lo realizaría un termómetro para experimentos en química, física, biología, ciencias de la Tierra y ciencias ambientales, el cuál se muestra en la figura 4.6.



Figura 4.6 Sensor de temperatura.

Esta sonda utiliza el termistor NTC 20 kilo-ohms, que es una resistencia variable. Cuando la temperatura aumenta, la resistencia disminuye de manera no lineal. El mejor ajuste de la aproximación a esta característica no lineal es la ecuación Steinhart-Hart.

4.5.4 SENSOR DE CARGA

El uso del sensor de carga es útil como electroscopio electrónico, puede hacer mediciones cuantitativas cuando es estudiada la carga por inducción, fricción o contacto. Las mediciones numéricas del sensor de carga mejoran mucho los experimentos de la electrostática. El sensor puede utilizarse también para medir la polaridad de carga, esto gracias a un sensor de voltaje de alta impedancia con un capacitor de entrada que hace posible estas mediciones. El sensor tiene tres rangos de operación y un interruptor con puesta a cero para hacer la descarga del condensador de entrada, como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7 Sensor de carga.

4.5.5 SENSOR DE RELACIÓN DE EJERCICIO

El sensor de relación de ritmo cardiaco de ejercicio es una excelente opción para continuamente monitorear la relación del comportamiento del corazón durante y después del ejercicio. Los datos pueden ser monitoreados gráficamente por medio de la tarjeta de adquisición de datos LabQuest 2 o a través de una aplicación por medio de Android este sensor se ilustra en la figura 4.8.



Figura 4.8 Sensor de Ritmo Cardíaco.

La medición de relación ejercicio monitorea el ritmo cardíaco de una persona registrando una pequeña señal eléctrica a través de la superficie de la piel de una persona en cada momento.

4.6 APLICACIÓN DEL SENSOR “EXERCISE HEART RATE MONITOR” A CASOS REALES

En esta ocasión el sensor fue aplicado a dos personas, mujer y hombre, respectivamente realizando las actividades cotidianas en tres diferentes posturas y una última realizando ejercicio; sentado, acostado, de pie o caminando y corriendo para así poder diferenciar el ritmo cardíaco que se tiene en cada una de estas situaciones.

Lo primero es sincronizar el sensor con el sistema de adquisición de datos en este caso utilizaremos LabQuest2 la cual cuenta con herramientas que permite tener mejor interpretación de datos que se están monitoreando.

Colocamos el sensor de la siguiente manera:

Un sensor de frecuencia cardíaca Polar está formado por un elástico y un conector.

1. Humedece las áreas del electrodo de plástico de la correa.

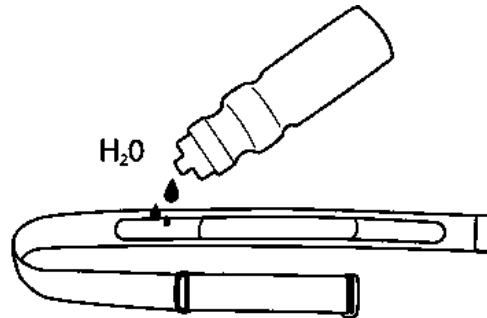


Figura 4.9 Humectación de electrodos.

2. Conecta el sensor al elástico.

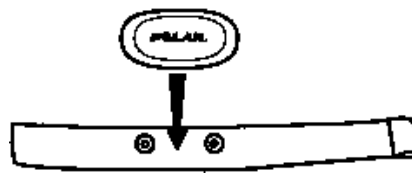


Figura 4.10 Conexión sensor con banda elástica.

3. Ajusta el elástico alrededor del tórax justo debajo de los músculos pectorales y fija la hebilla al otro extremo del elástico.



Figura 4.11 Colocación de banda elástica.

4. Ajusta la longitud del elástico para que quede ajustada pero cómoda.
5. Comprueba que las zonas de los electrodos humedecidas queden bien apoyadas en la piel y que el logotipo Polar del transmisor esté en posición centrada y vertical.

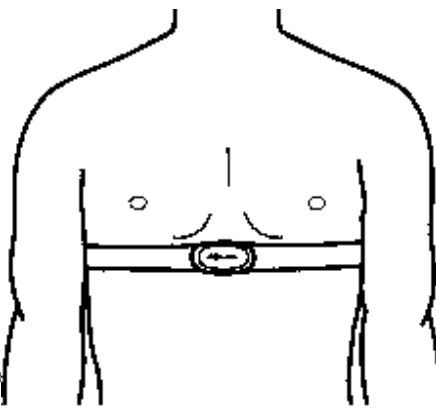


Tabla 4.1 Características de la persona

RITMO <i>Figura 4.12 Posición del sensor en el cuerpo.</i> MENINA.	
Nombre:	María
Edad:	22 años
Estatura:	1.60 mts
Peso:	54kg



Figura 4.13 Cuerpo humano femenino

Caso 1 Ritmo cardiaco de la persona femenina en reposo en posición acostada.

Tabla 4.2 Resultados de medición de ritmo cardiaco en posición acostada.

Tiempo	dato	Ritmo Cardiaco
T	d	R
s	v	bpm
15.00	1.502	75
20.00	0.020	77
25.00	0.032	84
30.00	0.603	80
35.00	0.053	76
40.00	0.013	75
45.00	0.013	75
50.00	0.012	75
55.00	0.387	76
60.00	0.082	73
65.00	0.037	73
70.00	0.022	71
75.00	0.042	71
80.00	0.014	75
85.00	0.013	75
90.00	0.012	73
95.00	0.361	76
100.00	0.013	82
105.00	0.015	81
110.00	0.014	72
115.00	0.013	75
120.00	0.048	78
125.00	0.035	72
130.00	0.023	72
135.00	0.860	81
140.00	1.332	70
145.00	3.440	66
150.00	0.012	75
155.00	0.013	70
160.00	0.015	69
165.00	0.034	71
170.00	0.022	73
175.00	0.082	82
180.00	0.067	71
185.00	0.063	74
190.00	0.025	74
195.00	0.012	66
200.00	0.013	71
205.00	0.013	71
210.00	0.013	73
215.00	0.013	72
220.00	0.013	70
225.00	0.015	70
230.00	0.025	72
235.00	0.196	72
240.00	2.011	64
245.00	0.012	71
250.00	4.423	67
255.00	0.012	84
260.00	2.108	68
265.00	0.431	73
270.00	0.471	71
275.00	0.878	71
280.00	0.780	71
285.00	0.182	73
290.00	0.022	73



Figura 4.14 Posición del cuerpo humano femenino acostado.

En la Tabla 4.2 se observan los datos adquiridos de la medición en posición acostada como se aprecia en la Figura 4.14, en la primera columna se indica el tiempo en la segunda el voltaje adquirido del emisor al receptor y en la tercera columna la conversión que el voltaje representa en ritmo cardiaco.

295.00	0.082	85
300.00	0.107	71
305.00	0.488	71
310.00	2.463	64
315.00	3.624	84
320.00	0.999	79
325.00	0.634	72
330.00	0.013	70
335.00	0.013	69
340.00	0.013	71
345.00	0.013	73
350.00	0.015	71
355.00	0.038	70
360.00	0.070	70
365.00	0.072	71
370.00	0.022	75
375.00	0.020	71
380.00	0.014	73
385.00	0.014	71
390.00	0.018	71
395.00	0.017	73
400.00	0.013	74
405.00	0.012	72
410.00	0.012	74
415.00	0.013	72
420.00	0.012	71
425.00	0.012	73
430.00	0.592	75
435.00	0.044	76
440.00	0.013	75
445.00	2.163	72
450.00	0.013	79
455.00	0.959	76
460.00	0.186	73
465.00	0.043	74
470.00	2.163	74
475.00	0.012	84
480.00	0.015	80
485.00	0.015	86
490.00	0.013	85
495.00	0.012	75
500.00	0.622	74
505.00	0.013	81
510.00	0.018	80
515.00	0.013	77
520.00	0.012	72
525.00	3.148	69
530.00	0.272	87
535.00	0.014	76
540.00	4.991	71
545.00	0.015	86
550.00	0.014	72
555.00	0.013	73
560.00	0.958	77
565.00	0.027	75
570.00	0.522	81
575.00	0.063	87
580.00	0.013	80
585.00	0.017	80
590.00	0.013	76
595.00	0.093	77
600.00	0.034	74

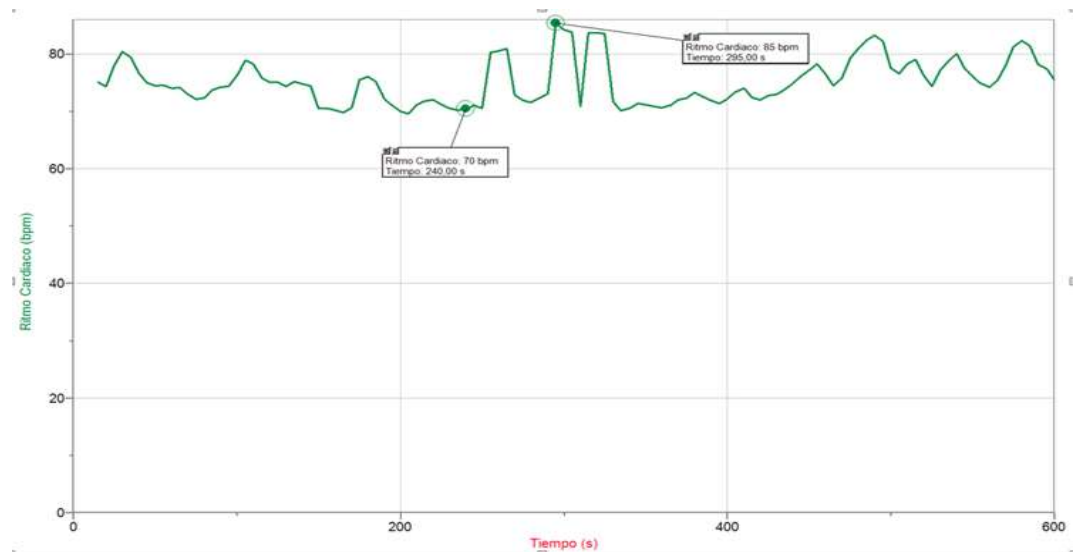


Figura 4.15 Gráfica de valores de ritmo cardiaco en posición acostada.

Tabla 4.3 Valores significativos de ritmo cardiaco en el caso 1.

Valor minim	64 bpm
Valor maxim	87 bpm
Promedio	74 bpm

En la Figura 4.15 se muestra una gráfica con el rango en el que oscilaron las mediciones echar en posición acostada resaltando los valores mínimo y máximo de dicha oscilación, sin embargo en los datos de la Tabla 4.2 se muestran los valores mínimo, máximo y promedio obtenidos de la Tabla 4.1.

Caso 2 Ritmo cardiaco de la persona en reposo en posición sentada.

Tabla 4.4 Resultados de medición de ritmo cardiaco en posición sentada

Tiempo	dato	Ritmo
T	d	Cardiaco
s	v	bpm
15.00	0.456	96
20.00	0.084	74
25.00	0.019	88
30.00	0.013	88
35.00	0.010	75
40.00	0.197	77
45.00	0.012	78
50.00	0.032	80
55.00	0.251	94
60.00	0.020	69
65.00	0.080	98
70.00	0.017	74
75.00	0.030	70
80.00	0.075	71
85.00	0.080	71
90.00	0.155	72
95.00	2.896	71
100.00	0.037	76
105.00	0.017	76
110.00	0.022	69
115.00	0.017	92
120.00	3.658	97
125.00	0.010	78
130.00	0.010	70
135.00	0.018	71
140.00	0.015	75
145.00	0.496	76
150.00	0.017	79
155.00	0.015	72
160.00	0.010	73
165.00	0.015	72
170.00	0.022	81
175.00	0.012	71
180.00	0.012	71
185.00	0.078	68
190.00	1.806	69
195.00	0.010	89
200.00	0.993	74
205.00	0.017	79
210.00	0.018	84
215.00	0.165	97
220.00	0.010	81
225.00	0.052	77
230.00	0.017	107
235.00	0.100	92
240.00	0.057	100
245.00	0.010	84
250.00	0.018	110
255.00	0.012	89
260.00	0.029	107
265.00	0.018	90
270.00	0.077	80
275.00	0.023	85
280.00	4.977	88
285.00	0.563	123
290.00	0.012	90
295.00	0.010	74



Figura 4.16 Cuerpo humano femenino posición sentada.

Los valores del ritmo cardiaco se observan en la tabla 4.4 la cual proporciona tiempo, voltaje y ritmo cardiaco medidos en la posición como se muestra en la Figura 4.16 realizando dicha medición durante 10 minutos.

300.00	0.010	86
305.00	4.977	82
310.00	0.060	99
315.00	0.019	103
320.00	4.348	101
325.00	0.035	109
330.00	0.079	82
335.00	0.010	107
340.00	0.457	112
345.00	0.032	88
350.00	4.686	88
355.00	0.015	72
360.00	0.015	104
365.00	0.017	99
370.00	0.017	82
375.00	0.014	102
380.00	0.012	89
385.00	0.012	97
390.00	0.904	88
395.00	0.009	132
400.00	0.009	83
405.00	4.977	106
410.00	0.012	79
415.00	0.095	103
420.00	0.097	128
425.00	0.090	116
430.00	0.018	83
435.00	2.496	91
440.00	0.017	97
445.00	0.784	77
450.00	1.844	118
455.00	0.010	88
460.00	0.010	99
465.00	4.973	74
470.00	0.690	94
475.00	0.043	88
480.00	0.015	77
485.00	1.030	103
490.00	0.017	94
495.00	2.268	72
500.00	0.012	100
505.00	3.861	81
510.00	0.213	85
515.00	0.430	126
520.00	0.010	94
525.00	0.009	107
530.00	0.059	117
535.00	0.012	103
540.00	0.052	109
545.00	0.239	84
550.00	0.009	75
555.00	1.399	67
560.00	2.697	82
565.00	0.221	72
570.00	0.019	64
575.00	0.085	75
580.00	0.020	85
585.00	0.503	124
590.00	0.015	83
595.00	1.856	90
600.00	1.401	98

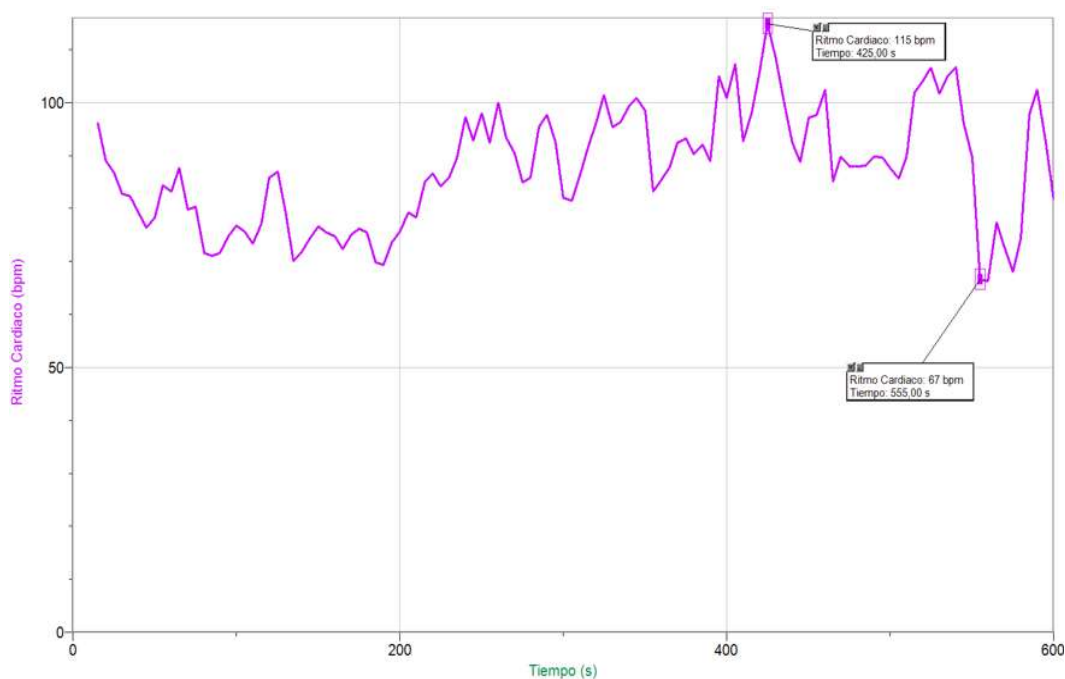


Figura 4.17 Gráfica de valores de ritmo cardiaco en posición sentada

Tabla 4.5 Valores significativos de los datos obtenidos en el caso 2

Valor minim	64 bpm
Valor maxim	132 bpm
Promedio	88 bpm

En la Figura 4.17 se muestra el rango de oscilación de los valores obtenidos del ritmo cardiaco de María mientras ella se encontraba sentada, los valores mínimo, máximo y promedio del monitoreo se representan en la Tabla 4.5.

Caso 3 Ritmo cardiaco de la persona con la posición de pie realizando actividad cotidiana (caminando).

Tabla 4.6 Resultados de medición de ritmo cardiaco estando de pie.

Tiempo	dato	Ritmo
T	d	Cardiaco
s	v	bpm
15.00	2.374	89
20.00	0.269	85
25.00	0.015	90
30.00	0.037	93
35.00	0.013	89
40.00	0.266	100
45.00	0.014	88
50.00	0.302	91
55.00	0.013	91
60.00	0.013	85
65.00	0.175	89
70.00	0.241	96
75.00	0.072	98
80.00	0.103	95
85.00	0.017	100
90.00	0.024	94
95.00	0.149	106
100.00	0.075	109
105.00	0.025	111
110.00	2.984	107
115.00	0.710	104
120.00	0.160	99
125.00	0.316	108
130.00	1.805	105
135.00	0.032	101
140.00	0.017	97
145.00	3.203	96
150.00	0.236	105
155.00	0.013	104
160.00	0.160	101
165.00	3.345	99
170.00	0.017	110
175.00	0.035	106
180.00	0.017	111
185.00	0.017	108
190.00	1.222	112
195.00	4.948	100
200.00	0.015	112
205.00	0.033	105
210.00	0.344	104
215.00	1.152	107
220.00	0.864	108
225.00	0.013	104
230.00	0.014	107
235.00	0.032	105
240.00	0.916	103
245.00	3.972	101
250.00	0.013	113
255.00	0.027	103
260.00	0.089	106
265.00	0.134	107
270.00	2.181	99



Figura 4.18 Cuerpo humano femenino en posición de pie.

Los valores del ritmo cardiaco se observan en la tabla 4.6 la cual proporciona tiempo, voltaje y ritmo cardiaco medidos en la posición como se muestra en la Figura 4.18 en la cual la persona de sexo femenino realizo las mediciones mientras caminaba.

275.00	0.037	101
280.00	0.013	100
285.00	0.291	101
290.00	3.770	100
295.00	0.019	110
300.00	0.045	106
305.00	0.062	108
310.00	0.033	109
315.00	0.226	106
320.00	4.101	99
325.00	4.890	108
330.00	0.311	119
335.00	4.514	110
340.00	1.327	115
345.00	0.017	103
350.00	0.013	100
355.00	1.384	98
360.00	0.093	87
365.00	3.493	87
370.00	0.065	106
375.00	0.050	96
380.00	0.143	95
385.00	0.020	100
390.00	0.034	95
395.00	0.032	97
400.00	0.058	95
405.00	0.014	100
410.00	0.247	101
415.00	0.125	109
420.00	0.676	105
425.00	1.288	108
430.00	0.571	109
435.00	0.112	111
440.00	0.251	106
445.00	0.089	98
450.00	0.029	98
455.00	0.043	135
460.00	0.038	103
465.00	0.127	105
470.00	0.607	119
475.00	0.445	108
480.00	0.013	103
485.00	1.036	99
490.00	0.022	102
495.00	0.015	124
500.00	0.079	103
505.00	3.617	98
510.00	0.053	106
515.00	2.956	98
520.00	0.019	103
525.00	0.406	103
530.00	0.017	101
535.00	0.299	103
540.00	0.024	100
545.00	0.013	99
550.00	0.040	104
555.00	2.314	97
560.00	0.029	102
565.00	0.017	110
570.00	0.085	104
575.00	1.248	106
580.00	2.452	90
585.00	0.019	91
590.00	0.040	94
595.00	0.680	104
600.00	3.706	101

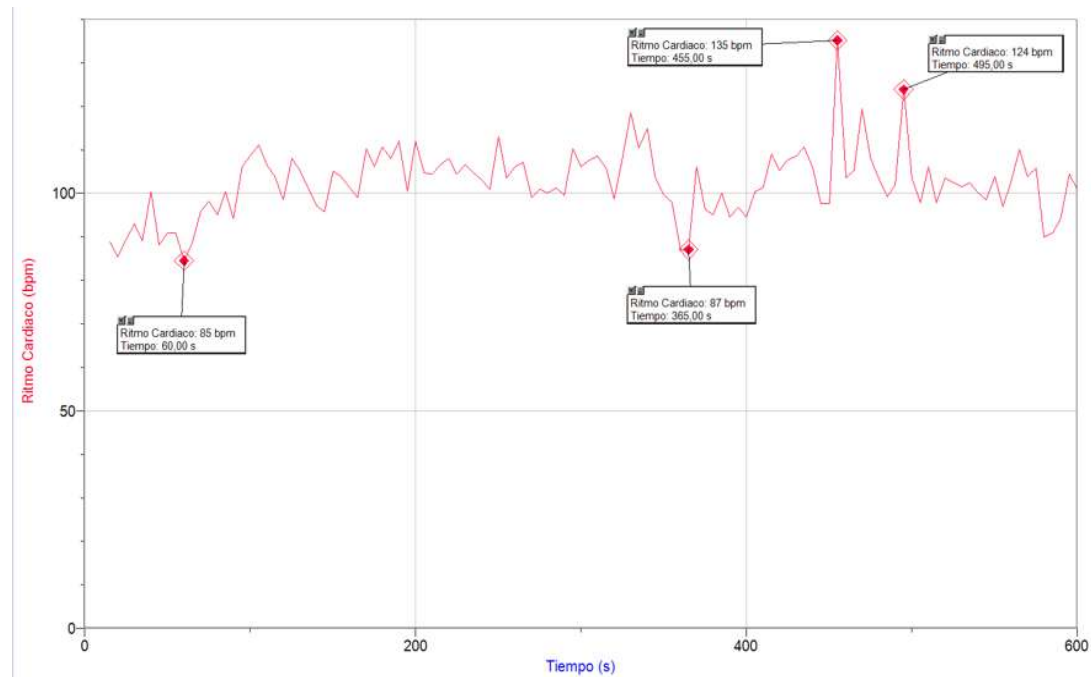


Figura 4.19 Gráfica de valores de ritmo cardiaco en posición de pie.

Tabla 4.7 Valores significativos obtenidos en el caso 3

Valor minim	85 bpm
Valor maxim	135 bpm
Promedio	102 bpm

La grafica de la figura 4.19 representa la oscilación de los valores de la tabla 4.6 la cual proporciona tiempo y ritmo cardiaco en la tabla 4.7 se aprecian los valores mínimo, máximo y promedio del ritmo cardiaco de la persona de sexo femenino mientras camina.

Caso 4 Ritmo cardiaco de la persona realizando ejercicio.

Tabla 4.8 Resultados de medición de ritmo cardiaco realizando ejercicio.

Tiempo	dato	Ritmo Cardíaco
T	d	R
s	v	bpm
15,00	0,102	133
20,00	0,052	145
25,00	1,555	150
30,00	0,030	152
35,00	0,037	156
40,00	3,591	153
45,00	0,702	165
50,00	0,057	161
55,00	0,133	166
60,00	0,092	169
65,00	0,050	170
70,00	0,032	169
75,00	1,745	171
80,00	0,077	175
85,00	0,183	178
90,00	0,582	178
95,00	1,521	178
100,00	3,054	173
105,00	2,298	180
110,00	0,523	183
115,00	0,053	185
120,00	0,716	186
125,00	0,133	183
130,00	0,040	183
135,00	4,952	175
140,00	3,024	182
145,00	2,339	180
150,00	3,001	174
155,00	4,946	179
160,00	0,062	184
165,00	0,127	178
170,00	0,269	178
175,00	0,958	177
180,00	4,952	171
185,00	0,050	185
190,00	0,090	178
195,00	0,462	176
200,00	2,245	171
205,00	4,614	172
210,00	1,743	188
215,00	0,378	183
220,00	0,013	184
225,00	1,192	185
230,00	0,110	186
235,00	2,188	180
240,00	0,162	187
245,00	1,934	186
250,00	0,097	185
255,00	0,707	188
260,00	2,880	184
265,00	0,053	189
270,00	0,167	189
275,00	0,511	189



Figura 4.20 Cuerpo humano femenino realizando ejercicio.

En la tabla 4.8 muestra los valores obtenidos del monitoreo de María mientras realizaba ejercicio como se muestra en la Figura 4.20 donde se aprecia una imagen en caricatura de una persona de sexo femenino realizando ejercicio, similares a los que ejecutó María.

280,00	1,103	191
285,00	2,054	185
290,00	3,365	195
295,00	4,952	191
300,00	0,049	194

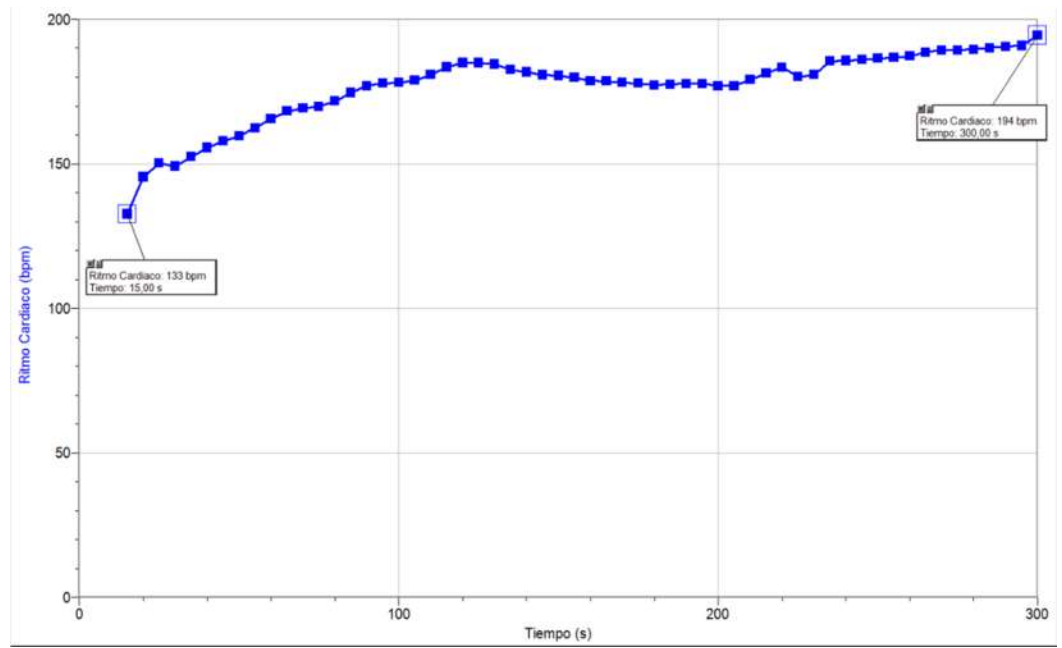


Figura 4.21 Gráfica de valores de ritmo cardiaco realizando ejercicio.

Tabla 4.9 Valores significativos obtenidos en el caso 4

Valor minim	133 bpm
Valor maxim	191 bpm
Promedio	177 bpm

En la Figura 4.21 se grafican los valores obtenidos en la tabla 4.8 como puede apreciar estos valores iban subiendo constantemente al paso del tiempo mientras el cuerpo se exigía más durante el ejercicio se puede observar sus valores mínimos y máximos dichos valores son el comienzo y el fin de la medición el cual solo duro 5 minutos por la resistencia del cuerpo, mostrando sus valores mínimo, máximo y promedio en la Tabla 4.9.

Tabla 4.10 Características de la persona masculina.

RITMO CARDIACO DE PERSONA MASCULINA.	
Nombre:	Abraham
Edad:	27 años
Estatura:	1.66 mts
Peso:	68kg



Figura 4.22 Representación de persona masculina.

Caso 5 Ritmo cardiaco de la persona masculina en posición **acostado**.

Tabla 4.11 Resultados de medición de ritmo cardiaco en posición acostada.

Tiempo	dato	Ritmo
T	d	Cardiaco
s	v	Bpm
15,00	0,017	73,38
20,00	0,015	71,77
25,00	0,014	75,00
30,00	0,012	73,53
35,00	0,459	75,00
40,00	0,095	73,53
45,00	0,014	75,76
50,00	0,014	75,00
55,00	0,012	73,53
60,00	0,014	67,57
65,00	0,260	80,72
70,00	0,287	72,12
75,00	0,012	67,80
80,00	0,026	66,08
85,00	0,012	65,57
90,00	0,017	67,57
95,00	1,090	66,67
100,00	0,015	64,86
105,00	0,434	67,57
110,00	0,012	68,18
115,00	0,075	66,08
120,00	0,012	65,22
125,00	0,050	67,26
130,00	0,012	67,80
135,00	0,014	68,18
140,00	0,015	71,43
145,00	0,020	70,42
150,00	2,763	63,08
155,00	0,014	67,04
160,00	0,044	68,49
165,00	0,673	69,77
170,00	1,993	67,84
175,00	0,014	66,67
180,00	0,012	64,52
185,00	0,014	69,12
190,00	0,020	68,18
195,00	0,617	68,81
200,00	0,832	70,75
205,00	1,108	71,43
210,00	0,014	65,22
215,00	2,142	61,36
220,00	3,039	67,84
225,00	0,012	75,42
230,00	0,012	69,12
235,00	0,299	78,26
240,00	0,460	68,81
245,00	0,346	72,46
250,00	0,297	71,77
255,00	1,679	70,09
260,00	0,873	72,82
265,00	0,012	69,77
270,00	0,012	70,42
275,00	0,012	72,82
280,00	0,012	71,09
285,00	0,012	73,17
290,00	0,017	66,96
295,00	4,515	63,38

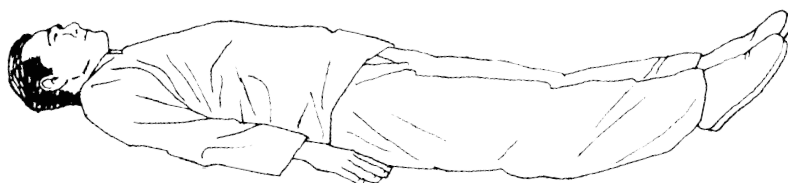


Figura 4.23 Representación de persona masculina en posición acostado.

En la Tabla 4.11 se muestran los valores correspondientes de tiempo, voltaje y ritmo cardiaco respecto a las mediciones de una persona de sexo masculino con las características de la Tabla 4.10 en posición como se indica en la Figura 4.23 que fueron medidas durante 10 minutos

300,00	0,014	71,05
305,00	0,055	67,87
310,00	0,012	68,18
315,00	0,016	66,08
320,00	0,012	65,93
325,00	0,012	85,31
330,00	0,019	66,96
335,00	0,014	76,53
340,00	0,015	70,75
345,00	0,014	72,82
350,00	0,012	75,38
355,00	0,017	79,30
360,00	0,014	75,00
365,00	2,500	71,43
370,00	1,058	72,82
375,00	0,096	73,53
380,00	0,017	75,00
385,00	3,739	73,99
390,00	0,021	81,68
395,00	0,012	76,14
400,00	0,671	74,07
405,00	0,024	75,76
410,00	0,016	72,82
415,00	0,024	70,75
420,00	0,014	76,14
425,00	0,012	63,83
430,00	0,050	64,94
435,00	0,109	71,43
440,00	0,012	64,52
445,00	0,169	66,96
450,00	0,012	65,57
455,00	0,244	65,50
460,00	0,012	69,77
465,00	0,090	64,66
470,00	0,012	64,52
475,00	1,694	65,22
480,00	0,015	65,57
485,00	1,015	67,26
490,00	0,014	66,30
495,00	0,055	68,49
500,00	0,125	71,09
505,00	0,012	65,22
510,00	0,054	67,26
515,00	0,194	70,09
520,00	0,012	66,67
525,00	0,014	70,42
530,00	0,042	68,18
535,00	0,199	82,95
540,00	0,014	76,92
545,00	0,014	71,77
550,00	0,014	72,12
555,00	0,014	73,17
560,00	0,014	70,75
565,00	0,017	70,09
570,00	0,014	74,26
575,00	0,014	71,77
580,00	0,014	70,09
585,00	0,059	68,18
590,00	0,012	67,04
595,00	0,015	67,57
600,00	0,021	70,75

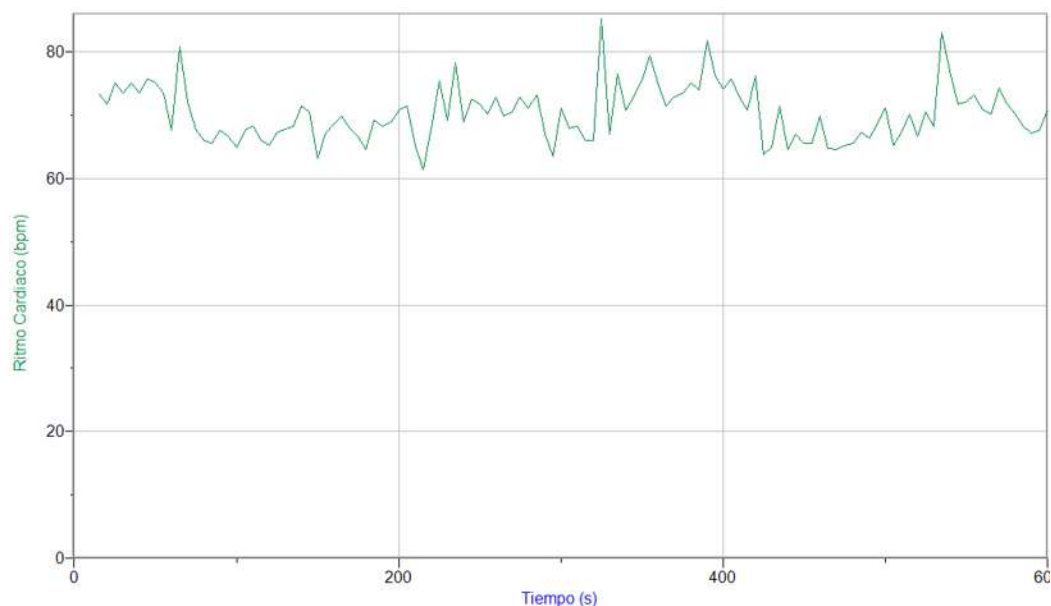


Figura 4.24 Gráfica relacionada con las mediciones de ritmo cardíaco en posición acostado.

Tabla 4.12 Valores significativos del caso 5

Valor minim	61 bpm
Valor maxim	85 bpm
Promedio	70 bpm

En la Figura 4.24 se representan los valores de tiempo y ritmo cardíaco que se obtuvieron en la tabla 4.11 grafica, en la tabla 4.12 se muestran los valores significativos de dicha medición teniendo un valor de 70 bpm como promedio.

Caso 6 Ritmo cardiaco de la persona masculina en posición **sentado**.

Tabla 4.13 Resultados de medición de ritmo cardiaco con la posición **sentado**.

Tiempo	dato	Ritmo Cardiaco
T	d	R
s	v	Bpm
15,00	0,012	70
20,00	0,019	53
25,00	0,017	0
30,00	0,009	43
35,00	0,827	75
40,00	0,007	70
45,00	0,013	66
50,00	0,009	61
55,00	0,025	73
60,00	0,198	68
65,00	0,037	62
70,00	0,018	63
75,00	0,040	70
80,00	0,022	75
85,00	0,382	78
90,00	0,022	77
95,00	0,023	69
100,00	0,017	61
105,00	2,177	62
110,00	0,012	65
115,00	0,328	68
120,00	0,008	78
125,00	0,030	80
130,00	2,645	63
135,00	0,022	63
140,00	0,018	63
145,00	0,017	62
150,00	0,012	58
155,00	0,007	62
160,00	0,010	56
165,00	4,061	61
170,00	0,020	59
175,00	0,022	70
180,00	0,130	66
185,00	0,030	79
190,00	0,020	64
195,00	3,032	75
200,00	0,009	72
205,00	2,253	60
210,00	0,010	69
215,00	0,050	67
220,00	0,024	61
225,00	0,022	65
230,00	0,020	61
235,00	0,020	62
240,00	0,030	66
245,00	0,022	62
250,00	0,022	62
255,00	0,020	63
260,00	1,642	61
265,00	2,362	56
270,00	0,849	74
275,00	0,009	65
280,00	0,274	66
285,00	3,947	69
290,00	0,007	70
295,00	0,017	66



Figura 4.25 Representación del cuerpo humano masculino en posición **sentado**.

En la Tabla 4.13 se muestran los resultados obtenidos del muestreo realizado por Labquest en el cual se midió el ritmo cardiaco de posición sentada como se muestra en la Figura 4.25.

300,00	0,023	67
305,00	0,020	62
310,00	0,020	61
315,00	0,030	67
320,00	0,632	68
325,00	2,370	54
330,00	0,025	66
335,00	0,020	65
340,00	1,746	64
345,00	0,080	61
350,00	0,018	68
355,00	0,032	66
360,00	0,403	69
365,00	0,331	61
370,00	0,022	66
375,00	0,606	67
380,00	0,047	77
385,00	0,070	70
390,00	0,014	67
395,00	1,003	64
400,00	0,004	71
405,00	0,003	69
410,00	2,496	59
415,00	0,024	65
420,00	0,022	66
425,00	0,027	65
430,00	0,103	71
435,00	0,009	63
440,00	0,114	68
445,00	0,010	64
450,00	0,983	67
455,00	0,004	66
460,00	0,097	78
465,00	0,020	66
470,00	0,286	66
475,00	0,018	66
480,00	0,010	62
485,00	0,082	64
490,00	0,033	74
495,00	0,007	73
500,00	0,004	63
505,00	0,044	64
510,00	0,007	62
515,00	0,005	62
520,00	0,033	69
525,00	0,004	64
530,00	0,013	56
535,00	0,010	61
540,00	0,005	62
545,00	0,022	72
550,00	0,765	68
555,00	0,007	69
560,00	0,105	65
565,00	0,022	67
570,00	0,042	69
575,00	0,022	63
580,00	0,049	66
585,00	0,015	63
590,00	0,009	59
595,00	0,005	60
600,00	0,003	63

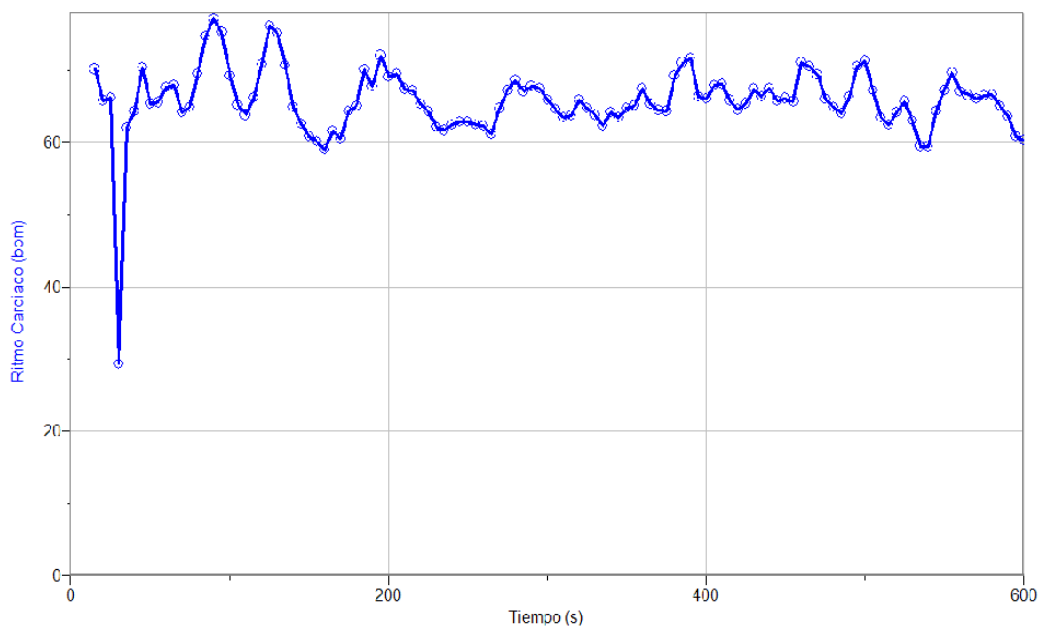


Figura 4.26 Gráfica de ritmo cardíaco en posición sentado.

Tabla 4.14 Valores significativos obtenidos en el caso 6.

Valor minim	43 bpm
Valor maxim	80 bpm
Promedio	65 bpm

En la Figura 4.26 se observa la gráfica representativa de la Tabla 4.13 donde se observa el rango donde oscilaba el ritmo cardíaco en posición sentada. Se puede observar como en el segundo 25 no se tiene lectura del sensor debido a que este fue alejado dicho suceso se puede apreciar en la gráfica, igual cómo se muestra tabla de valores Tabla 4.13. En la Tabla 4.14 se muestran los valores mínimo, máximo y promedio.

Caso 7 Ritmo cardiaco de la persona masculina en posición de pie.

Tabla 4.15 Resultados de medición de ritmo cardiaco en posición de pie.

Time	Signal	Heart Rate
T	S	H
s	v	bpm
15.00	0.015	93
20.00	0.014	87
25.00	0.019	79
30.00	0.012	79
35.00	0.015	80
40.00	0.016	83
45.00	0.016	84
50.00	0.391	90
55.00	0.511	95
60.00	0.017	88
65.00	0.387	92
70.00	0.024	101
75.00	0.029	107
80.00	3.154	85
85.00	0.016	84
90.00	4.944	72
95.00	0.030	83
100.00	1.160	79
105.00	0.287	73
110.00	0.014	81
115.00	0.015	81
120.00	0.390	91
125.00	0.162	97
130.00	0.020	86
135.00	0.014	86
140.00	2.309	82
145.00	0.389	100
150.00	4.078	78
155.00	0.024	98
160.00	1.908	91
165.00	0.039	102
170.00	0.536	91
175.00	0.016	89
180.00	0.024	82
185.00	0.022	83
190.00	0.024	96
195.00	4.777	96
200.00	0.140	91
205.00	0.015	87
210.00	0.014	87
215.00	0.012	98
220.00	0.016	95
225.00	2.458	96
230.00	0.014	96
235.00	0.014	95
240.00	0.014	86
245.00	0.581	99
250.00	1.018	84
255.00	0.082	87
260.00	0.017	100
265.00	0.487	102
270.00	1.928	94
275.00	4.322	93
280.00	0.016	84



Figura 4.27 Representación de persona masculina.

La Figura 4.27 mostrada anteriormente representa la posición utilizada para esta medición donde la persona masculina está de pie sin realizar ningún movimiento durante 10 minutos, los datos obtenidos se presentan en la Tabla 4.15.

285.00	0.039	94
290.00	0.017	99
295.00	0.992	91
300.00	0.059	114
305.00	3.163	86
310.00	0.012	90
315.00	0.031	80
320.00	3.411	83
325.00	1.255	102
330.00	0.014	93
335.00	0.024	93
340.00	0.015	98
345.00	0.014	96
350.00	0.300	78
355.00	0.014	90
360.00	0.247	90
365.00	0.014	92
370.00	0.559	100
375.00	0.015	103
380.00	2.202	95
385.00	0.014	96
390.00	0.084	102
395.00	0.020	98
400.00	0.019	96
405.00	4.948	83
410.00	0.049	93
415.00	0.134	95
420.00	0.014	92
425.00	0.384	102
430.00	0.019	101
435.00	0.020	95
440.00	0.475	91
445.00	0.950	95
450.00	0.035	100
455.00	0.014	100
460.00	0.015	95
465.00	0.340	90
470.00	0.295	95
475.00	0.015	104
480.00	0.284	101
485.00	0.997	95
490.00	0.070	99
495.00	0.411	106
500.00	0.014	106
505.00	1.026	98
510.00	3.991	90
515.00	0.610	89
520.00	0.029	87
525.00	0.019	97
530.00	0.014	100
535.00	0.049	103
540.00	0.435	93
545.00	0.014	93
550.00	0.015	95
555.00	0.015	95
560.00	0.015	95
565.00	0.399	91
570.00	0.232	97
575.00	0.596	106
580.00	0.335	108
585.00	0.019	86
590.00	0.014	87

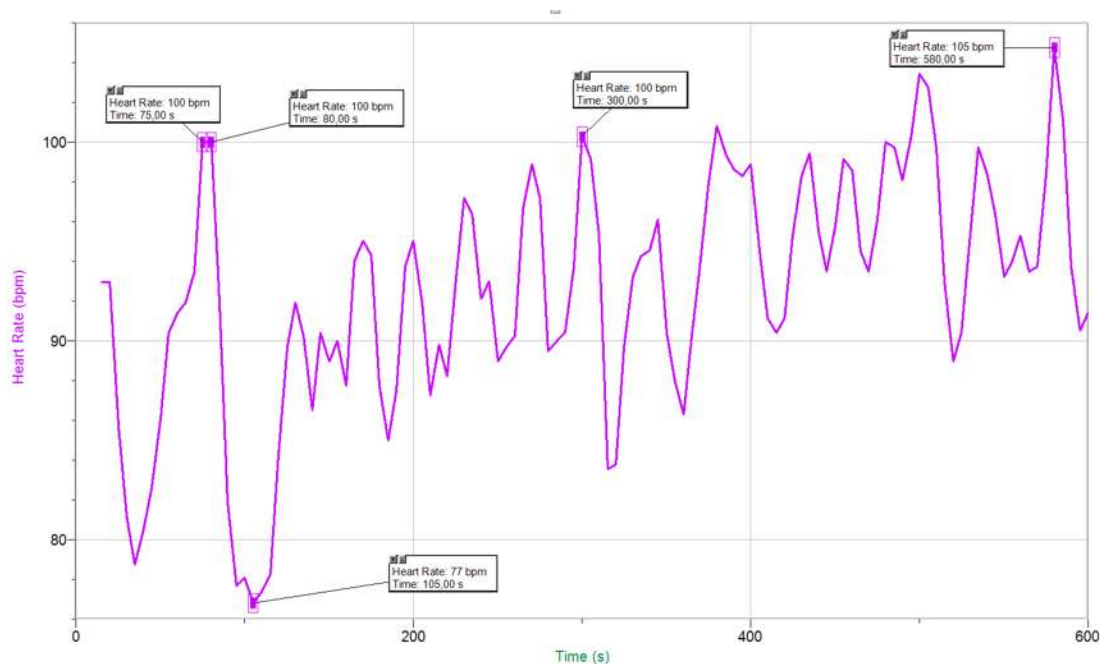


Figura 4.28 Gráfica de ritmo cardíaco en posición de pie.

Tabla 4.16 Valores Significativos del caso 7.

Valor mínimo	72 bpm
Valor máximo	114 bpm
Promedio	92 bpm

La Figura 4.28 muestra la representación de los valores de la Tabla 4.15 de forma gráfica en la cual podemos ver las etiquetas de sus valores mínimos y máximos dichos valores se representan en la Tabla 4.16 que fueron obtenidos de la Tabla 4.15, en la que podemos observar que tiene un promedio de 92 bpm.

595,00	0.014	99
600,00	0.112	89

Caso 8 Ritmo cardiaco de la persona masculina realizando ejercicio.

Tabla 4.17 Resultados de medición de ritmo cardiaco realizando ejercicio.

Tiempo	dato	Ritmo
T	d	R
s	v	bpm
15,00	0,021	116
20,00	1,285	113
25,00	0,038	113
30,00	0,544	116
35,00	0,015	115
40,00	0,103	114
45,00	1,920	116
50,00	0,068	113
55,00	0,016	111
60,00	0,211	114
65,00	0,027	123
70,00	0,017	122
75,00	0,335	125
80,00	4,663	122
85,00	0,471	130
90,00	0,427	121
95,00	0,093	123
100,00	0,290	118
105,00	4,527	110
110,00	0,170	132
115,00	1,320	129
120,00	1,053	133
125,00	0,359	134
130,00	0,046	123
135,00	0,017	123
140,00	0,205	126
145,00	0,021	124
150,00	0,107	129
155,00	0,021	136
160,00	0,160	139
165,00	0,247	143
170,00	0,075	146
175,00	1,137	139
180,00	4,876	136
185,00	0,065	146
190,00	0,020	135
195,00	0,321	138
200,00	0,018	139
205,00	0,121	139
210,00	0,070	145
215,00	4,879	143
220,00	2,113	145
225,00	1,651	144
230,00	0,021	141
235,00	0,179	139
240,00	0,812	142
245,00	0,297	146
250,00	0,372	143
255,00	0,254	145
260,00	0,533	142
265,00	0,971	143
270,00	0,072	149
275,00	0,035	145
280,00	0,046	143



Figura 4.29 Representación de cuerpo humano masculino realizando ejercicio.

La Tabla 4.17 muestra los valores de frecuencia cardiaca tiempo y voltaje obtenido durante 10 minutos medidos durante la persona masculina realiza ejercicio. La Figura 4.29 representa la posición realizada para esta medición.

285,00	3,328	142
290,00	0,158	156
295,00	2,482	145
300,00	0,061	151
305,00	0,285	153
310,00	1,372	153
315,00	0,035	151
320,00	0,905	149
325,00	4,945	147
330,00	0,224	156
335,00	0,063	147
340,00	0,474	152
345,00	2,712	147
350,00	0,023	155
355,00	0,165	151
360,00	1,980	152
365,00	0,028	153
370,00	0,026	157
375,00	0,058	153
380,00	0,037	157
385,00	0,998	161
390,00	0,150	160
395,00	0,038	159
400,00	4,493	153
405,00	1,485	164
410,00	2,842	149
415,00	0,027	154
420,00	3,940	152
425,00	1,552	164
430,00	0,449	159
435,00	0,229	157
440,00	0,739	154
445,00	3,753	147
450,00	1,441	151
455,00	1,429	144
460,00	4,057	136
465,00	0,145	157
470,00	2,667	145
475,00	0,264	148
480,00	0,026	149
485,00	0,046	155
490,00	0,028	157
495,00	0,025	157
500,00	0,053	154
505,00	1,173	149
510,00	0,038	151
515,00	0,724	150
520,00	0,048	149
525,00	1,159	149
530,00	0,030	152
535,00	0,077	153
540,00	0,190	155
545,00	0,158	157
550,00	0,267	155
555,00	0,399	155
560,00	2,064	147
565,00	0,027	153
570,00	0,067	153
575,00	1,712	149
580,00	0,030	153
585,00	0,068	154
590,00	0,844	151
595,00	0,035	150

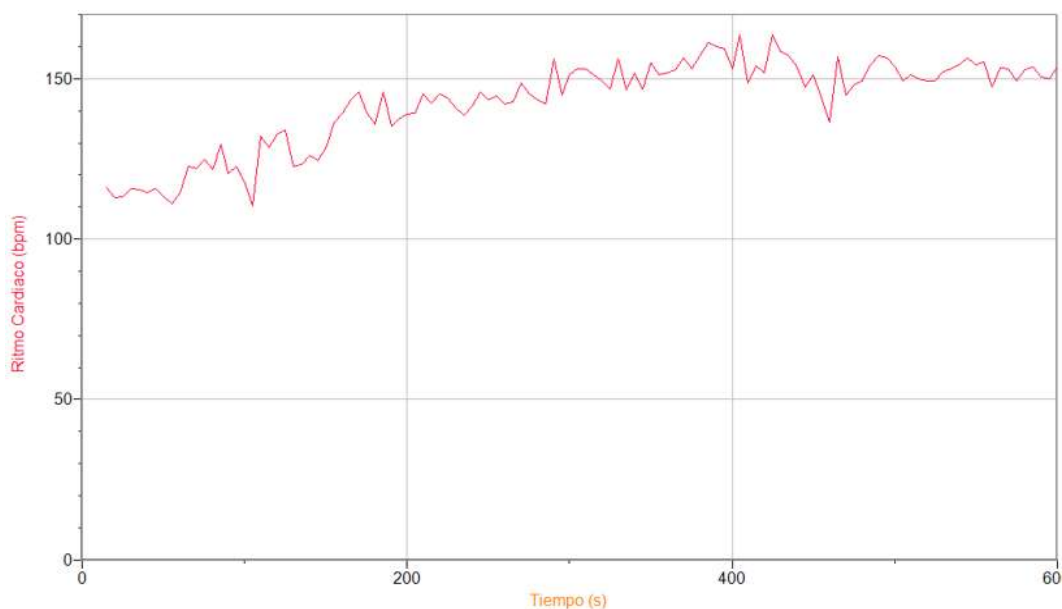


Figura 4.30 Gráfica de ritmo cardíaco vs tiempo realizando ejercicio.

Tabla 4.18 Valores significativos del caso 8 .

Valor minim	110 bpm
Valor maxim	164 bpm
Promedio	142.5 bpm

La Figura 4.30 es la representación gráfica de los datos obtenidos ritmo cardíaco vs tiempo obtenidos durante se realizaba ejercicio. En la Tabla 4.18 se muestran los valores significativos en la cual podemos observar que el promedio de dicha medición de ritmo cardíaco es de 142.5 bpm.

4.7 ¿QUÉ ES LA FRECUENCIA CARDIACA EN REPOSO? O FCR

La frecuencia cardiaca en reposo es la frecuencia que se toma cuando el cuerpo está, en estado de reposo o descanso, es ideal tomarlo al levantarnos, sentados en la cama, por la mañana. Estas pulsaciones en un adulto pueden rondar las 60/80 pulsaciones por minuto, y en una persona muy activa, deportista pueden estar entre 40 / 50 pulsaciones por minuto. En los niños menores de 6 años y hasta los 9 años, puede rondar los 70 / 115 latidos por minuto. En una persona adulta mayor puede rondar los 40 / 60 latidos por minuto. Para poder tomar la frecuencia cardiaca máxima debemos conocer nuestra frecuencia en reposo.

4.8 ¿QUÉ ES LA FRECUENCIA CARDIACA EN MÁXIMA? O FCMAX

La frecuencia cardiaca máxima se toma a partir de la frecuencia cardiaca en reposo, la edad, y el sexo, básicamente. No vamos a entrar en materia de fórmulas, por lo que les se obtendrá la frecuencia máxima con una aplicación.

Esta es la frecuencia máxima que se puede alcanzar en un ejercicio determinado, debido al esfuerzo realizado sin poner en riesgo la salud, y en excelentes condiciones físicas. Al llegar a esta frecuencia máxima, se ha llegado al máximo de la capacidad de esfuerzo y capacidad de trabajo que puedes realizar, en otras palabras, conocer la frecuencia máxima nos ayuda a saber el límite de latidos por minuto que puede alcanzar tu corazón.

A partir de éstas definiciones usaremos los datos obtenidos en los ejercicios anteriores para obtener su frecuencia cardiaca máxima a través de sus datos en reposo y comparar dicha frecuencia máxima con los datos obtenidos en los casos donde ambas personas realizaban ejercicio.

Tabla 4.19 Características de la persona femenina.

RITMO CARDIACO DE PERSONA FEMENINA.	
Nombre:	María
Edad:	22 años
Estatura:	1.60 mts
Peso:	54kg

Tabla 4.20 Valores significativos de ritmo cardiaco en el caso 1.

Valor minim	64 bpm
Valor maxim	87 bpm
Promedio	74 bpm

Frecuencia cardíaca de entrenamiento (FCE)

Introduzca su sexo: ☐ Hombre ☒ Mujer

Introduzca su edad (años):

Introduzca su Frecuencia Cardíaca en Reposo (FCR):

Tu rango de pulsaciones para las distintas zonas de entrenamiento son:

Zona 1 (moderada): **133-144** pulsaciones por minuto
 Zona 2 (aeróbico 1): **144-156** pulsaciones por minuto
 Zona 3 (aeróbico 2): **156-168** pulsaciones por minuto
 Zona 4 (umbral anaeróbico): **168-179** pulsaciones por minuto
 Zona 5 (alta densidad): **179-191** pulsaciones por minuto

Tu FCmáx. es de **191 pulsaciones por minuto**

Figura 4.31 Cálculo de Frecuencia Femenina Máxima a través de la aplicación.

Tabla 4.21 Valores significativos obtenidos en el caso 4.

Valor minim	133 bpm
Valor maxim	191 bpm
Promedio	177 bpm

En la Figura 4.31 Se muestra el cálculo obtenido de Frecuencia Máxima que resulto de 191 bpm de acuerdo a su edad y frecuencia en reposo que se obtuvieron de las Tablas 4.19 y su frecuencia cardiaca promedio de la Tabla 4.20. Comprobando los datos resultantes en la Figura 4.29 con la Tabla 4.21 donde especifica los datos significativos donde María realiza ejerció que es en el caso donde se exige el ritmo cardiaco, se observa que en la Figura 4.29 el rango de Frecuencia cardiaca está entre 133 bpm – 191 bmp, mismos datos siendo resultantes en los obtenidos en la Tabla 4.21 (Frecuencia mínima y Frecuencia máxima). Teniendo un promedio de este caso de 177 bpm.

Tabla 4.22 Características de la persona masculina.

RITMO CARDIACO DE PERSONA MASCULINA.	
Nombre:	Abraham
Edad:	27 años
Estatura:	1.66 mts
Peso:	68kg

Tabla 4.23 Valores significativos del caso 5.

Valor minim	61 bpm
Valor maxim	85 bpm
Promedio	70 bpm

Frecuencia cardíaca de entrenamiento (FCE)

Introduzca su sexo: ☒ Hombre ☐ Mujer

Introduzca su edad (años):

Introduzca su Frecuencia Cardíaca en Reposo (FCR):

Tu rango de pulsaciones para las distintas zonas de entrenamiento son:

Zona 1 (moderada): **129–141** pulsaciones por minuto
Zona 2 (aeróbico 1): **141–153** pulsaciones por minuto
Zona 3 (aeróbico 2): **153–165** pulsaciones por minuto
Zona 4 (umbral anaeróbico): **165–177** pulsaciones por minuto
Zona 5 (alta densidad): **177–189** pulsaciones por minuto

Tu FCmáx. es de **189 pulsaciones por minuto**

Figura 4.32 Cálculo de Frecuencia Masculina Máxima a través de la aplicación

Tabla 4.24 Valores significativos del caso 8.

Valor mínimo	110 bpm
Valor máximo	164 bpm
Promedio	142.5 bpm

En la Figura 4.32 se aprecia el cálculo realizado por la aplicación donde se observa el rango de 129 a 189 pulsaciones por minuto como frecuencia máxima, en este caso como se en la Tabla 4.24 el valor mínimo y máximo es de 110 a 164 bpm entrando en la zona 1 a la zona 3 cabe mencionar que el ejercicio realizado por Abraham fue más moderado aparte que tiene mayor habito para realizar ejercicio lo cual indica que tiene una mayor resistencia al exigir su ritmo cardiaco. Sin embargo, se puede apreciar como la medición realizada entra en el rango calculado por la aplicación.

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Conocer la frecuencia cardíaca es importante entre otras razones, para dosificar nuestro ejercicio físico, a frecuencia cardíaca es el número de veces que nuestro corazón se contrae para bombear sangre a todo el organismo y que éste, gracias a ello, pueda funcionar correctamente. Esta cifra se calcula por número de latidos por minuto y es un claro indicador de cómo está funcionando el corazón.

El conocimiento de nuestra frecuencia cardíaca nos permite la práctica del ejercicio físico y el desarrollo de un plan de entrenamiento de una forma controlada optimizando el esfuerzo.

Cabe destacar que los latidos del corazón no son iguales en todas las personas, depende mucho del estilo de vida que lleva cada una. Los valores normales de la frecuencia cardíaca varían dependiendo si la persona está en reposo o si está ejercitándose.

Durante la práctica deportiva podemos valorar una serie de parámetros, que de forma subjetiva nos permite hacer análisis básicos, algunos de ellos como el esfuerzo percibido, la respiración o nuestras sensaciones físicas únicamente nos permite realizar una serie de aproximaciones, conocer la frecuencia cardíaca es un parámetro mucho más objetivo que depende de factores internos y externos, y nos permite hacer un seguimiento más amplio de nuestro estado físico.

El monitor de ejercicio de frecuencia cardíaca nos permite monitorear y analizar la frecuencia proveniente de nuestro corazón de una manera eficaz y sencilla mediante una interfaz muy poderosa gracias a su procesamiento de información llamada LabQuest, la cual nos permite el control de estos datos para realizar y visualizar estadística de manera sencilla y amigable.

El monitor de ejercicio de frecuencia consiste en un cinturón transmisor con una correa elástica y un receptor conectable. El cinturón del transmisor se lleva justo debajo del pecho y se sujeta con una correa elástica.

5.2 LOS BENEFICIOS DE MEDIR LA FRECUENCIA

CARDIACA SON:

Deportista principiante

- Factor indicativo de la forma en que su cuerpo reacciona ante la realización del ejercicio físico.
- Evitar un comienzo demasiado intenso de actividad física que repercuta en nuestra salud.
- Controlar nuestros entrenamientos en cuanto a intensidad se refiere.
- Proporciona datos de nuestros progresos y mejoras.

Deportista habitual

- Permite controlar la intensidad del programa de ejercicios a realizar.
- Aporta una ayuda en el ajuste del programa para lograr realizar entrenamientos más eficientes.
- Durante y después de cada entrenamiento proporciona información que nos permite ver como se está adaptando nuestro cuerpo a la actividad física y al esfuerzo que supone la misma.

Deportista comprometido

- Podemos asegurarnos que el entrenamiento realizado se produce a una intensidad adecuada en función del programa estipulado.
- Se registra y ajusta de forma precisa a un programa de entrenamiento.
- La información recibida evita una situación de sobre-entrenamiento y en definitiva nos ayuda a obtener un mayor rendimiento físico.

5.3 RECOMENDACIONES

Recomendaciones para usar el monitor de frecuencia cardíaca para el ejercicio

Los consejos para asegurar una recolección de datos exitosa con el Monitor de Frecuencia Cardíaca con Ejercicio incluyen:

- Asegúrese de que el cinturón quede bien ajustado alrededor del pecho y que descansa directamente sobre la piel del sujeto. Es posible que necesite reposicionar el transmisor a la izquierda o a la derecha, o colocarlo más bajo o más alto en el torso. Asegúrese de humedecer de nuevo la interfaz de la correa cutánea con la solución salina cada vez que se cambie la posición del transmisor.
- Asegúrese de que el receptor esté situado a una distancia máxima de 80 cm de la correa del transmisor. Este es el rango máximo de transmisión del transmisor en el cinturón de pecho.
- El receptor del monitor de ejercicio de frecuencia cardíaca recibirá señales de otros transmisores de cinturón si están dentro del alcance. Mantenga una distancia de al menos 2 m entre grupos utilizando este sensor. La interferencia de otros dispositivos eléctricos, como electrodomésticos, cables de alto voltaje, computadoras portátiles, teléfonos celulares y computadoras de escritorio, puede dar lugar a lecturas deficientes o erróneas. Mantenga el receptor del monitor de ejercicio de frecuencia cardíaca lo más alejado posible de dicho equipo.
- La electricidad estática también puede causar interferencias eléctricas, lo que da lugar a lecturas erróneas.
- La acumulación de sal en el transmisor torácico puede causar lecturas deficientes. Lave y seque la unidad regularmente después de usarla con agua y una solución de jabón suave. No utilice alcohol ni detergentes a base de disolventes.
- Con ciertas personas, las lecturas del Monitor de Frecuencia Cardíaca de Ejercicio pueden tardar uno o dos minutos en estabilizarse. En esos casos, permita que las lecturas se estabilicen antes de comenzar la recolección de datos.

Cuando se transfieren los datos al software recomendado por vernier (Logger Pro) la señal obtenida en la gráfica algunas ocasiones es modificada difiere con la gráfica obtenida en un

principio por LabQuest, para poder procesar los datos en la tabla fueron realizados por medio de Excel Microsoft y estos datos son los que se obtuvieron desde un inicio por LabQuest es por esta razón que en los ejercicios realizados no concuerdan los valores mínimo y máximo con los etiquetados que se muestran en las gráficas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Apuntes de Instrumnetación Gilberto González Avalos.
- [2] Á. P. Dra. Perez, «Corazon, salud y ejercicio,» *EduSport - Ministerio de Educacion Cultura y Deporte*.
- [3] J. H. Arce Rincón, «Cosas del corazón,» *Ciencias* 66, 2002.
- [4] INEGI, «Estadísticas de la Mortalidad».
- [5] OMS, «Mas informacion sobe Enfermedade Cardiovasculares: OMS».
- [6] T. wildi, Maquinas eléctricas y sistemas de potencia -, sexta ed., Mexico: Pearson educación, 2007.
- [7] C. H. Wu, «El pez eléctrico y el descubrimiento de LA ELECTRICIDAD ANIMAL,» 2007.
- [8] «Electrómetro capilar de Lippmann. Museo Virtual de la Ciencia del CSIC.,» 22 Abril 1996. [En línea]. Available: http://museovirtual.csic.es/coleccion/torres/fichas_aparatos/toap2.htm.
- [9] J. Reynolds, L. Barragán y F. Cuéllar, «Historia de la cardiologia,» *Revista Colombiana de Cardiologia*, vol. 18, nº 3, 01 Diciembre 2011.
- [10] J. C. P. Dr. Alva, Cardiologia en el área de urgencias, México: ELSEVIER, 2014.
- [11] G. J. Tortora y B. H. Derrickson, Principios de anatomía y Fisiología, 11a ed., México: Médica Panamericana, 2011.

- [12] P. Micó, *NUEVOS DESARROLLOS Y APLICACIONES BASADOS EN MÉTODOS ESTOCÁSTICOS PARA EL AGRUPAMIENTO NO SUPERVISADO DE LATIDOS EN SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS*, valencia, 2005.
- [13] Las válvulas cardíacas , «Centro de Información Cardiovascular del Texas Heart Institute,» Agosto 2016. [En línea]. Available: http://www.texasheart.org/HIC/Anatomy_Esp/valve_sp.cfm. [Último acceso: 31 Enero 2017].
- [14] El sistema de conducción , «Centro de Información Cardiovascular del Texas Heart Institute,» agosto 2016. [En línea]. Available: http://www.texasheart.org/HIC/Anatomy_Esp/cond_sp.cfm. [Último acceso: 31 Enero 2017].
- [15] V. G. E. Picón, *Tesis: Diseño y construccion de un electrocardiógrafo de 12 derivaciones para el analisis de señales cardiacas*, Cuenca, 2012.
- [16] A. C. G. y. J. E. H. Graw-Hill, *Tratado de Fisiología Medica*, 10a ed., México: Mc Graw-Hill, 2001.
- [17] W. F. Ganong, *Fisiología Medica*, 20a ed., México: Manual Moderno, 2006.
- [18] A. L. Farré y C. M. Miguel, *libro de la salud cardiovascular del hospital clínico San Carlos y la fundación BBVA*, 1a ed., Bilbao: Fundacion BBVA, 2009.
- [19] B. Y. E. Restrepo, *Escuela de ingeniería de Antioquia. Universidad CES, Sistema para la medición de la presión arterial continua no invasiva sin brazaletes*, 2012.
- [20] H. Adelaida, *Instituto politécnico nacional. Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica. Diseño y construcción de un medidor de pulso cardiaco para persona con problemas de taquicardia.*, México, D.F, 2013.

- [21] [En línea]. Available: https://www.polar.com/mx-es/productos/activate/fitness_crosstraining/FT7.
- [22] «Vernier.com,» Exercise Heart Rate Monitor, [En línea]. Available: <https://www.vernier.com/products/sensors/heart-rate-sensors/ehr-bta/>.
- [23] «Portalmedico.co,» [En línea]. Available: <http://portalmedico.co/lobin-crea-camisetas-que-miden-los-signos-vitales-de-los-pacientes-por-telemedicina/>.
- [24] [En línea]. Available: <http://noticiasdelaciencia.com/not/19713/electrocardiogramas-mediante-un-dispositivo-portatil-del-tamano-de-una-tirita/>.
- [25] «<https://www.vernier.com/products/interfaces/labpro/>,» [En línea].
- [26] «<https://www.vernier.com/products/interfaces/labq/>,» [En línea].
- [27] «<http://www.vernier-iberica.com/lq2.html>,» [En línea].