

METROLOGÍA ELECTROMÉDICA – CALIBRACIÓN/ENSAYOS DE EQUIPOS PARA ELECTROCARDIOGRAFÍA

Electromedical metrology - Calibration/Tests of electrocardiography equipment.

RESUMEN

En el contenido de éste artículo se hace referencia al procedimiento diseñado por el Laboratorio de Metrología de Variables Eléctricas en el área de Ensayo de equipo electromédico para la calibración/ensayos de equipos de electrocardiografía; procedimiento que el grupo de Electrofisiología ha diseñado para tal fin durante la ejecución de un proyecto aprobado por COLCIENCIAS cuyo objetivo principal fue el de acreditar un Laboratorio de Calibración/Ensayo de equipo electromédico.

PALABRAS CLAVES: Metrología electromédica, trazabilidad, Calibración/Ensayo, equipo electromédico, electrocardiografía.

ABSTRACT

In the content of this one article reference to the procedure designed by the Metrology Laboratory of Electrical Variables in the area of Calibration/Test of electromedical equipment for the tests of the electrocardiography equipment; procedure that the group of Electrophysiology has designed for such aim during the execution of a project approved by COLCIENCIAS whose primary target was the accreditation of a Calibration/Test Laboratory electromedical equipment.

KEYWORDS: *Electromedical metrology, trazability, Calibration/Test, electromedical equipment, Electrocardiography.*

LUIS ENRIQUE LLAMOSA R

Profesor Titular Departamento de Física
Director Laboratorio de Metrología de Variables eléctricas
Universidad Tecnológica de Pereira.
lellamo@utp.edu.co

LUIS G. MEZA CONTRERAS

Profesor Departamento de física
Jefe de Calibración/Ensayo Laboratorio de Metrología de Variables Eléctricas
Universidad Tecnológica de Pereira.
lgmeza@utp.edu.co

MILTON F VILLARREAL C.

Ingeniero de sistemas
Jefe de Calidad Laboratorio de Metrología de Variables Eléctricas
Universidad Tecnológica de Pereira.
milfer@utp.edu.co

1. INTRODUCCIÓN

1.1 ELECTROCARDIOGRAFÍA: El área de electrocardiografía comprende ensayos en equipos tales como electrocardiógrafos, monitores cardiacos y marcapasos. Un electrocardiograma (ECG o EKG) es un examen sencillo y rápido utilizado para evaluar el corazón. Los electrodos (parches pequeños de plástico) se colocan en ciertos lugares del pecho, los brazos y las piernas del cuerpo. Cuando los electrodos se conectan a la máquina de ECG (electrocardiógrafo) mediante cables conductores, la actividad eléctrica del corazón es registrada y el resultado de este registro se imprime en un papel cuadriculado especial usado en electrocardiografía para que posteriormente esa información pueda ser analizada por el médico[1]. Las variables fisiológicas que se miden en la calibración/ensayo para el área de electrocardiografía son:

- Frecuencia cardíaca (BPM)¹
- Amplitud de frecuencia cardíaca (mV)
- Formas de onda

1.1.1 Aspectos fisiológicos.

Sistema de conducción del corazón

El latido cardíaco se origina en un sistema cardíaco de conducción especializado y se propaga a través de este sistema a todas las partes del miocardio. Las estructuras que constituyen el sistema de conducción son:

- Nodo sino-auricular (nodo SA)
- Vías auriculares internodales
- Nodo auriculo-ventricular (nodo AV)
- Haz de Híz y sus ramas
- Sistema de Purkinje

Los impulsos originados en el nodo SA pasan a través de las vías auriculares internodales al nodo AV, de este nodo al haz de Híz y a través de las ramas del haz de Híz al sistema de Purkinje y al músculo ventricular. [2]

Metabolismo del corazón

Las pulsaciones cardíacas se inician mucho antes del nacimiento, en el embrión de pocas semanas y duran ininterrumpidamente durante toda la vida sin pararse jamás. Esto es posible por el metabolismo especial de la fibra muscular cardíaca, regulado por mecanismos químicos y humorales muy complejos y todavía no bien aclarados. Sobre ellos influyen seguramente iones activos (especialmente potasio, calcio y magnesio) que regulan la acción de las enzimas las cuales rompen el ATP (ácido

¹ Latidos por minuto

Fecha de Recepción: 5 de Junio de 2008.

Fecha de Aceptación: 27 de Junio de 2008.

adenosín-trifósforo) en ADP (ácido adenosín-difosfato) y ácido fosfórico, que modifica la estructura espacial de las moléculas de miosina contenidas en la fibra muscular, causando la contracción; el ATP posteriormente se reconstituye con el ácido fosfórico que está contenido en la fosfocreatina (que se regenera a expensas del ácido fosfopirúvico y del glucógeno); todas estas reacciones suceden sólo en presencia de oxígeno y proveen la energía necesaria para la contracción muscular. [3]

¿Qué es el ECG?

El ECG es el registro gráfico de los cambios de la corriente eléctrica en el corazón inducidos por la onda de despolarización y luego de repolarización a través de aurículas y ventrículos. Estos cambios son detectados por electrodos ubicados en la piel y mediante el electrocardiógrafo son amplificados, filtrados y registrados en papel, en forma de ondas y deflexiones que representan la magnitud y dirección de la actividad eléctrica cardíaca. [4]

División en el papel de ECG

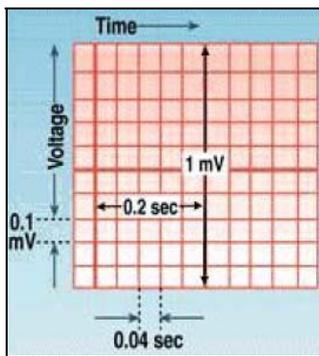


Figura 1. Papel de ECG.

Eje horizontal:

1pequeño cuadradito = 1 mm = 0,04 segundos

1cuadrado grande = 5 mm = 0,20 segundos

Eje vertical:

1pequeño cuadradito = 1 mm = 0,1 mv

1cuadrado grande = 5 mm = 0,5 mV

En un ciclo cardíaco normal la actividad auricular se inscribe antes que la ventricular. La despolarización auricular se representa por la onda P, y la repolarización por la onda T, pero habitualmente ésta no se inscribe porque está oculta en el complejo ventricular o es de muy baja amplitud. Luego se inscribe el **segmento PR** en el que no se detecta actividad eléctrica y se define como **línea isoelectrica**.

Tipos de ondas en ECG (ver fig. 2)

El intervalo desde el inicio de la onda P al complejo QRS (**PR**) representa el tiempo desde el inicio de la activación auricular a la activación ventricular. La **despolarización ventricular** es representada por el **complejo QRS**, que

es el componente de mayor amplitud en el ECG. El término del complejo QRS se denomina "**punto J**" y da inicio al **segmento ST** (período en que los ventrículos aún están despolarizados), que separa el complejo QRS con la **onda T**; esta última corresponde a la **repolarización ventricular**.

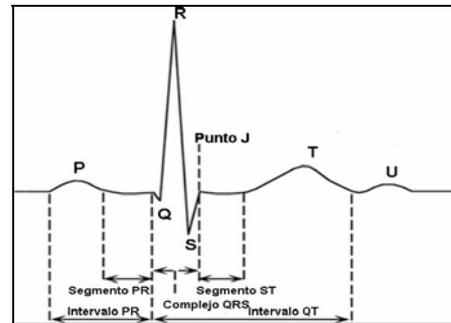


Figura 2. Tipos de ondas en ECG. [5]

Posterior a la onda T suele inscribirse una pequeña onda de origen aún no definido, denominada **onda U**. El intervalo desde el inicio de la activación ventricular al término de la repolarización se denomina **intervalo QT**. Finalmente hay otra línea isoelectrica entre el final de la onda T o U y la onda P. A frecuencias bajas y en personas normales los segmentos PR y TP muestran claramente la línea isoelectrica, la que se considera como basal para medir la amplitud de las ondas o deflexiones. Con frecuencias rápidas el segmento TP desaparece ya que la onda T generalmente se fusiona con la onda P. [4]

Derivaciones de ECG

Derivaciones bipolares (ver fig. 3)

Se tienen tres derivaciones bipolares de las extremidades (I, II y III) (ver fig. 3). El que estas derivaciones sean bipolares significa que miden la diferencia de voltaje entre un electrodo negativo y otro positivo: **DI**, diferencia de potencial entre brazo izquierdo y derecho; **DII**, diferencia entre pierna izquierda y brazo derecho, y **DIII**, diferencia entre pierna izquierda y brazo izquierdo. [4]

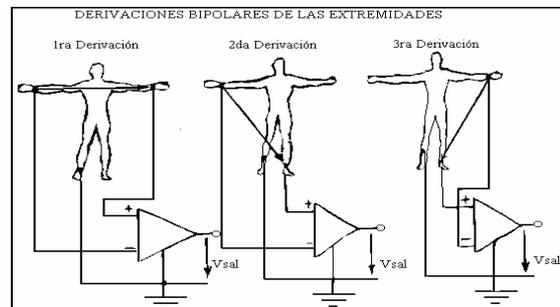


Figura 3. Derivaciones bipolares en ECG [2]

Derivaciones unipolares aumentadas de las extremidades (ver fig. 4)

Se tienen tres derivaciones unipolares o aumentadas de las extremidades (aVR, aVL y aVF). Estas derivaciones miden el potencial eléctrico entre un electrodo positivo y una central terminal creada en el circuito del electrocardiográfico por combinación de las corrientes eléctricas provenientes de los electrodos posicionados en ambos brazos y la pierna izquierda, y cuyo potencial eléctrico es cero. En la derivación **aVR** el electrodo positivo está en el brazo derecho y es comparado con los electrodos de la pierna y brazo izquierda; En **aVL** el electrodo positivo está en el brazo izquierdo y se compara con el del brazo derecho y pierna izquierda; en **aVF** el electrodo positivo está en la pierna izquierda y se compara con ambos brazos. [4]

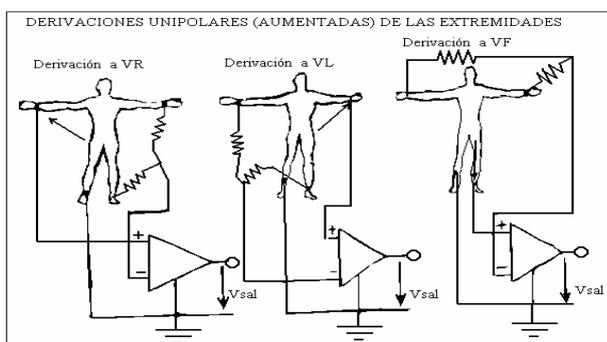


Figura 4. Derivaciones unipolares en ECG [2]

Derivaciones precordiales (ver fig. 5)

Las seis derivaciones precordiales también son unipolares (V1 a V6), pero como tienen mayor cercanía con el corazón las señales registradas son amplias por lo que no necesitan ser aumentadas como las unipolares de las extremidades. El electrodo positivo se ubica en distintos puntos del precordio y la central terminal está conectada a los tres electrodos de las extremidades. Las derivaciones **V1** y **V2** están ubicadas sobre el ventrículo derecho, **V3** y **V4** sobre el septum interventricular, y **V5** y **V6** sobre el ventrículo izquierdo. [4]

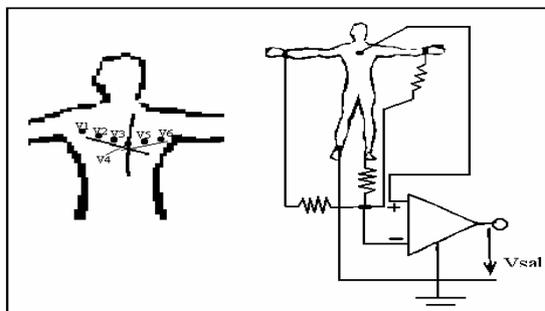


Figura 5. Derivaciones precordiales en ECG [2]

Triángulo de Einthoven (ver fig. 6)

El corazón puede representarse mediante un dipolo eléctrico localizado en el medio parcialmente conductor del tórax.

A medida que se avanza en el ciclo cardiaco, la magnitud y dirección del vector cardiaco varía, puesto que el campo eléctrico del dipolo varía, cada una de las tres derivaciones de las extremidades es una de las componentes unidimensionales variables con el tiempo de este vector. En la figura de abajo se pueden observar las derivaciones bipolares, unipolares y precordiales de acuerdo al triángulo de Einthoven.

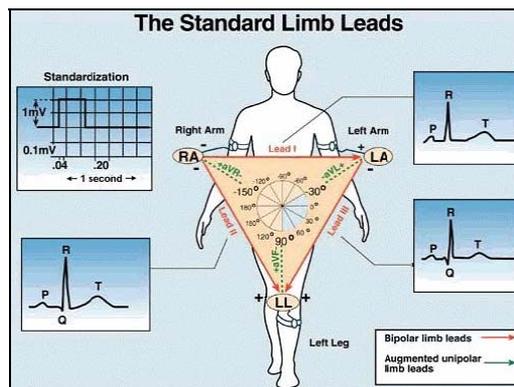


Figura 6. Triángulo de Einthoven con las diferentes derivaciones unipolares y bipolares [4]

Requisitos de un electrocardiógrafo:

- Rango de entrada: Amplitud señal in > 10 mVp-p
- Impedancia de entrada: > 5 MΩ
- Ganancia: Tres posiciones; 5, 10, 20 mm/mV
- Respuesta a la frecuencia: ± 0,5 dB con un rango entre 0,14 y 25 Hz.
- Calibración: Voltaje de estandarización de 1,0 mV para verificar calibración en ganancia.
- Impedancia de Salida: < 100 Ω
- En la tabla 1 se observan los rangos de voltaje y frecuencia en los cuales se puede obtener señales electrocardiográficas:

Parámetro	Rango de voltaje	Rango de frecuencia	Sensor
Electrocardiografía	0.5 mV a 4 mV	0.01 Hz a 250 Hz	Electrodos cutáneos

Tabla 1. Rangos de voltaje y frecuencia en los cuales se puede obtener señales electrocardiográficas [2]

1.1.2 Equipo analizador para electrocardiógrafos utilizado en el laboratorio

El simulador de paciente **METRON PS- 440** [6] (ver fig. 7) fue diseñado para ser utilizado fácilmente con teclas etiquetadas para guiar en las selecciones más frecuentes. Las características de la simulación incluyen múltiples opciones como lo son ECG y segmentos ST, formas de

onda para la verificación de las características de ECG entre otras; todo ello para ser seleccionado desde el menú.

Características principales

- ECG de 12 derivaciones.
- Ritmo sinusal normal adulto y pediátrico.
- 37 tipos de arritmias.
- Formas de onda para la verificación de especificaciones ECG.
- Niveles de segmento ST.
- Artefactos de ECG.



Figura 7. Simulador de Pacientes: METRON PS- 440

Especificaciones

- Ritmo normal: 80 BPM
- Frecuencia - selección: 30,40,60,80,100,120,140,160, 180,200,220,240,260,280,300 BPM
- Exactitud: + 1%
- Impedancia de salida: 500, 1000, 1500,2000 Ohms en I, II, III derivación.
- Amplitudes ECG: 0.5mV, 1mV, 1.5mV y 2mV
- Exactitud amplitud: + 2% II derivación
- Nivel de salida alto: 1000x amplitud II derivación
- Forma de onda ECG Adulto y Pediátrico.
- Formas de onda para verificación: II derivación
- Onda cuadrada: 2 Hz y 0,125 Hz
- Pulsos: 30, 60, 120, PPM, 60 ms de ancho de pulso
- Onda senoidal: 0,5, 4, 10, 40, 50, 60 Hz (amplitud 1mV, II derivación)
- Onda triangular: 2Hz.

1.1.3 Normatividad. Para los electrocardiógrafos, la norma IEC 60601-3-02 plantea, entre otras, exigencias como:

- Sensibilidad
- Reducción de los efectos de señales no deseadas
- Distorsión de las señales registradas. [7]

NTC-IEC 60601-2-25:EQUIPOS ELECTROMEDICOS PARTE 2 – Requisitos particulares para la seguridad de electrocardiógrafos.

NTC-IEC 60601-2-27:EQUIPOS ELECTROMEDICOS PARTE 2 – Requisitos particulares para la seguridad de equipos de supervisión electrocardiográfica.

2. CALIBRACIÓN/ENSAYO DE UN EQUIPO DE ELECTROCARDIOGRAFÍA

El siguiente procedimiento describe los pasos para realizar la calibración/ensayos de electrocardiógrafos, a través de la prueba de la señal interna del electrocardiógrafo (Comparación de señales), generación de formas de onda (onda cuadrada, onda de pulso, onda seno y onda triangular), medida de la amplitud de la onda seno, medida de la frecuencia cardiaca (índice ECG).



Figura 8. Conexión del simulador de paciente PS-440 y un ECG

2.1 EQUIPO Y MATERIALES EMPLEADOS.

Patrón de trabajo: Simulador de paciente METRON PS-440, cables de prueba y conectores.

2.2 PREPARACIÓN Y PRECAUCIONES PARA LA CALIBRACIÓN/ENSAYO DE ECGs

2.2.1 Condiciones de temperatura y humedad relativa. El laboratorio realiza los ensayos de electrocardiógrafos, bajo las siguientes condiciones ambientales:

Para el simulador de paciente METRON PS-440:

Temperatura ambiente:² 10 °C a 40 °C

Humedad Relativa:³ 25% HR a 95% HR

Para verificar estos valores, el laboratorio emplea un termohigrómetro que proporciona el registro de las variables de Temperatura y Humedad Relativa presentes en el lugar donde se realiza el ensayo.

Registro: Registro de la calibración/ensayo para electrocardiógrafos, (Tabla 2).

2.2.2 Preparación del patrón de trabajo METRON PS-440. El simulador de paciente METRON PS-440, se activan después de encenderse por lo que su estado de operación es inmediato.

2.2.3 Preparación del equipo bajo prueba.

² NTC-IEC-60601-1. Numeral 10.2.1

³ NTC-IEC-60601-2.25. Numeral 10.2.1.b

- Ubicar el equipo bajo prueba en un área segura, alejado de los pacientes.
- Conectar el equipo bajo prueba a la red de alimentación referenciada a tierra.

2.3 PROCEDIMIENTO

Para La calibración/ensayo de electrocardiógrafos con el simulador de paciente METRON PS-440, se debe tener en cuenta lo siguiente:

Fecha y hora en que se realiza el ensayo.
 Información de la entidad hospitalaria solicitante.
 Datos que identifican el equipo bajo prueba
 Las condiciones ambientales inicial y final en que se realiza el ensayo.
 Observaciones pertinentes que se presenten durante el ensayo.

Responsables de la calibración/ensayo y revisión de datos del mismo.

Parámetro a simular, Ejemplo: Formas de onda⁴ (Deflexión vertical y deflexión horizontal), amplitud de la onda seno, etc.

Puntos a probar: los puntos a probar se toman según los siguientes criterios:

Los equipos digitales funcionan con conversores A/D, los cuales tienen un comportamiento lineal apreciable en la manera como se ven los datos. Debido a esto, tomando los puntos cercanos a cero, medio rango y cercano al rango completo y sabiendo que estos errores están fuera o dentro de tolerancia, se puede saber si el rango completo del equipo cumple con las especificaciones.⁵

3. REGISTRO DE LOS RESULTADOS

Las pruebas realizadas a un electrocardiógrafo son las siguientes:

- **Comparación de señales.** Comparación de una señal de amplitud de 1 mV generada con el equipo patrón y el equipo bajo prueba.
- **Formas de onda.** Generación de las formas de onda cuadrada, pulso, triangular y onda seno.
- **Amplitud de la onda seno.** Generación de la onda seno con amplitud de 0,5 mV, 1,0 mV, 1,5 mV y 2,0 mV.
- **Frecuencia cardiaca.** Generación de frecuencias cardiacas entre los valores de 30 BPM hasta 300 BPM.

El siguiente registro es el resultado de la Calibración/Ensayo de un electrocardiógrafo:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA LABORATORIO DE METROLOGÍA - VARIABLES ELÉCTRICAS	
Estimación de la incertidumbre de ensayo – Electrocardiógrafo	
Código: LME-FOR-089	Página 1 de 1

Fecha de ensayo: 2007-09-27	Hora: 14:30
Datos del solicitante	
Representante de la empresa: Dr. Carlos Eduardo Nieto	
Empresa: Laboratorio de Metrología de Variables Eléctricas - UTP	

Datos del equipo electromédico			
Equipo: Electrocardiógrafo	Marca: NIHON KOHDEN	Modelo: ECG - 9620T	
Número de Serie: 00122	Tipo: CF	Clase: II	Procedimiento: LME-PDE-019
CARACTERÍSTICAS SEGÚN EL MANUAL DEL EQUIPO			

Tipo de prueba: Comparación de señales		Frecuencia cardiaca: 60 BPM		
Onda: Pulso				
Amplitud	Señal generada por el equipo:	Lectura registrada (mV)	PASA	FALLA
1 mV	Analizador	1	X	
	ECG	1		

ANÁLISIS DE RESULTADOS

REGISTRO DEL ENSAYO

Tipo de prueba: Comparación de señales		Frecuencia cardiaca: 60 BPM		
Onda: Pulso				
Amplitud	Señal generada por el equipo:	Lectura registrada (mV)	PASA	FALLA
1 mV	Analizador	1	X	
	ECG	1		

Tipo de prueba: Formas de onda		Amplitud: 1 mV			
Onda: Cuadrada					
Lectura del analizador Ar (Hz)		Lectura del equipo Ai (Hz)			
2,0	2	2	2	2	2
0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Δi (Hz)	Ar (Hz)	Error (Hz)	Tolerancia (Hz)	k	Ue (Hz)
2,0	2,0	0,0	---	1,96	0,092
0,1250	0,1250	0,0000	---	1,96	0,092

Tipo de prueba: Formas de onda		Amplitud: 1 mV			
Onda: Pulso					
Lectura del analizador Ar (BPM)		Lectura del equipo Ai (BPM)			
30	30	30	30	30	30
60	60	60	60	60	60
Δi (BPM)	Ar (BPM)	Error (BPM)	Tolerancia (BPM)	k	Ue (BPM)
30,0	30,0	0,0	---	1,96	0,66
60,0	60,0	0,0	---	1,96	0,66

Tipo de prueba: Formas de onda		Amplitud: 1 mV			
Onda: Seno					
Lectura del analizador Ar (Hz)		Lectura del equipo Ai (Hz)			
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
5	5	5	5	5	5
10	10	10	10	10	10
40	42	42	42	42	42
50	*****	*****	*****	*****	*****
60	*****	*****	*****	*****	*****
100	*****	*****	*****	*****	*****

Δi (Hz)	Ar (Hz)	Error (Hz)	Tolerancia (Hz)	k	Ue (Hz)
5,0	5,0	0,0	---	1,96	0,14
10,0	10,0	0,0	---	1,96	0,24
40,0	42,0	-2,0	---	1,96	0,24
*****	*****	*****	*****	*****	*****
*****	*****	*****	*****	*****	*****
*****	*****	*****	*****	*****	*****

Tipo de prueba: Formas de onda		Amplitud: 1 mV			
Onda: Triangular					
Lectura del analizador Ar (Hz)		Lectura del equipo Ai (Hz)			
2,0	2	2	2	2	2
2,5	2,5	2,5	2,5	2,8	2,5
Δi (Hz)	Ar (Hz)	Error (Hz)	Tolerancia (Hz)	k	Ue (Hz)
2,0	2,0	0,0	---	1,96	0,09
2,50	2,55	-0,05	---	2,11	0,14

Tipo de prueba: Amplitud de la onda seno		Frecuencia cardiaca: 80 BPM			
Lectura del analizador Ar (mV)		Lectura del equipo Ai (mV)			
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
1,0	1	1	1	1	1
1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Δi (mV)	Ar (mV)	Error (mV)	Tolerancia (mV)	k	Ue (mV)
0,50	0,50	0,00	---	1,96	0,081
1,0	1,0	0,0	---	1,96	0,081
1,50	1,60	-0,10	---	1,96	0,081
2,0	2,1	-0,1	---	1,96	0,081

⁴ EAL-G30. Calibration of oscilloscopes .Numeral 6.1

⁵ SIC. Laboratorio de corriente continua, Numeral 5.3

Tipo de prueba: Frecuencia cardiaca						
Lectura del analizador Ar (BPM)		Lectura del equipo Ai (BPM)				
30	30	29	30	30	30	30
40	40	41	39	40	40	40
60	58	60	60	60	59	60
80	81	81	81	81	81	81
100	100	100	100	100	100	100
120	120	120	120	120	120	120
140	146	136	140	140	140	140
160	162	162	162	162	162	162
180	182	182	182	182	182	182
200	200	200	200	200	200	200
220	222	231	231	222	222	231
240	240	240	240	240	240	240
260	261	261	261	261	261	261
280	286	286	286	286	286	286
300	300	300	300	300	300	300
Ái (BPM)	Ar (BPM)	Error (BPM)	Tolerancia (BPM)	k	Ue (BPM)	
30,0	25,2	4,8	---	1,65	7,8	
40,0	40,0	0,0	---	2,02	0,91	
60,0	59,5	0,5	---	2,04	1,2	
80,0	81,0	-1,0	---	1,96	1,07	
100,0	100,0	0,0	---	1,96	1,07	
120,0	120,0	0,0	---	1,96	1,07	
140,0	140,3	-0,3	---	2,45	3,5	
160,0	162,0	-2,0	---	1,96	1,07	
180,0	182,0	-2,0	---	1,96	1,07	
200,0	200,0	0,0	---	1,96	1,07	
220,0	226,5	-6,5	---	1,65	3,4	
240,0	240,0	0,0	---	1,96	1,07	
260,0	261,0	-1,0	---	1,96	1,07	
280,0	286,0	-6,0	---	1,96	1,07	
300,0	300,0	0,0	---	1,96	1,07	

Elaborado por: _____
Auxiliar de Calibración/EnsayoRevisado por: _____
Jefe de Calibración/Ensayo**Tabla 2. Registro del proceso de calibración/ensayos para electrocardiógrafos.**

Nota: El calculo de incertidumbre se realiza con base en el artículo publicado en esta misma revista denominado “Estimación de la incertidumbre en la calibración de equipos electromédicos” (Revista Scientia et Technica, UTP - Pereira, No. 34).

4. CONCLUSIONES

El anterior procedimiento está diseñado para realizar calibración/ensayo a equipos de electrocardiografía; se incluyó el correspondiente procedimiento general aplicado a un electrocardiógrafo marca NIHON KOHDEN modelo ECG 9620T del hospital San jorge de la ciudad de Pereira.

El Laboratorio de Metrología – Variables Eléctricas en su área electromédica, cuenta ya con la documentación necesaria para cumplir con el sistema de calidad de acuerdo a la norma internacional NTC-ISO-IEC 17025, por lo que se espera obtener la acreditación del laboratorio de metrología electromédica ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) en lo relacionado a los procedimientos e instructivos para la calibración/ensayo de equipo electromédico, con lo que será posible certificar la calidad de las entidades prestadoras de salud asegurando que los equipos de medición y diagnóstico de tipo electromédico, utilizados para tal fin cumplen con la seguridad y exactitud correspondiente a los valores especificados por el fabricante.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Universidad de Virginia. Los Transtornos Cardiovasculares. Disponible en http://www.healthsystem.virginia.edu/UVAHealth/peds_cardiac_sp/ekgecg.cfm
- [2] LLAMOSAS RINCÓN, Luis Enrique. Diseño de canales para la detección de biopotenciales. Pereira. Ediciones UTP, 2005. 215 p.
- [3] Directorio Electrónico de Guatemala. Anatomía cardiaca y funcionamiento del corazón. Disponible en http://www.deguate.com/infocentros/educacion/recursos/salud/anatomia_cardiaca.htm
- [4] Electrocardiografía Normal. Disponible en http://www.med.uchile.cl/apuntes/archivos/2006/medicina/1_ECG_Curso_Cardiologia06.pdf
- [5] MACHADO, Jose Alberto; ISERSON Kenneth. Electrocardiografía Básica. Disponible en <http://www.reeme.org/materials/Electrocardiograf%C3%ADa%20B%C3%A1sica.pdf>
- [6] PS – 440. User Manual. Página 4-5, 4-7, 4-8, 4-11.
- [7] RAMOS, Juan; PALLAS-ARENY Ramón. Amplificadores de ECG: De la norma al diseño. Disponible en http://www.herrera.unt.edu.ar/bioingenieria/sabi/cd_2001/Resumen/031R_Ramos.pdf

Normas técnicas utilizadas en este trabajo:

- [1] NTC-ISO-IEC 17025-2005. Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración
- [2] NTC-2194 Vocabulario de términos básicos y generales en metrología.
- [3] GTC 51, Guía para la expresión de Incertidumbre en Mediciones. 2000: Bogotá D.C.
- [4] NTC-IEC-60601-2-25, Equipo Electromédico. Parte 2: Requisitos particulares de seguridad de electrocardiógrafos.
- [5] NTC-IEC-60601-2-27, Equipo Electromédico. Parte 2: Requisitos particulares de seguridad de equipos de supervisión electrocardiográfica.
- [6] EA 4/02, Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.