

**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE FÍSICA**



**TESIS**

**“Calibración de Esfigmomanómetros en el Hospital Almanzor  
Aguinaga Asenjo”**

**Para optar el Título Profesional de Licenciada en Física**

**INVESTIGADORA:**

**Bach. Luz Mirle Sandoval Raymundo**

**ASESOR:**

**M.Sc. Augusto Saba Effio**

**LAMBAYEQUE, 2019**

---

**Dr. ALFONSO AUSBERTO MENDOZA GAMARRA**  
**PRESIDENTE**

---

**M.Sc. GUSTAVO VÍCTOR MONTALVO SOBERÓN**  
**SECRETARIO**

---

**Dr. LUIS ALBERTO CURO MAQUÉN**  
**VOCAL**

---

**M.Sc. AUGUSTO SABA EFFIO**  
**ASESOR**

# ACTA DE SUSTENTACIÓN



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DECANATO  
Ciudad Universitaria - Lambayeque



## ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 049-2019-D/FACFyM

(Sustentación Autorizada por Resolución N° 979-2019-D/FACFyM)

En la ciudad de Lambayeque, siendo las 11:00 am del día 15 de agosto del 2019 se reunieron en la sala de videoteca del Laboratorio de Física los miembros del Jurado designados mediante Resolución N° 1390-2018-D/FACFyM, los docentes:

Dr. Alfonso Ausberto Mendoza Gamarra	Presidente
M.Sc. Gustavo Víctor Montalvo Soberón	Secretario
Dr. Luis Alberto Curo Maquén	Vocal

Para recibir la tesis titulada:

Calibración de Esfigmomanómetros en el Hospital  
Almazor Aguinaga Asejo

desarrollada por la Bachiller en Física, **Sandoval Raymundo Luz Mirlé.**

Después de escuchar la exposición y las respuestas a las preguntas formuladas por los miembros del Jurado, se acordó aprobar el trabajo por unanimidad con el calificativo de BUENO.

En consecuencia, la Bachiller en referencia queda apta para recibir el Título Profesional de **Licenciada en Física**, de acuerdo a la Ley Universitaria, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque.

Observaciones:

Para constancia del hecho firman.

  
Dr. Alfonso Ausberto Mendoza Gamarra  
Presidente

  
M.Sc. Gustavo Víctor Montalvo Soberón  
Secretario

  
Dr. Luis Alberto Curo Maquén  
Vocal

## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Yo, **Bach. LUZ MIRLÉ SANDOVAL RAYMUNDO**, Investigadora principal y **M.Sc. AUGUSTO SABA EFFIO**, Asesor del Trabajo de Investigación: “**CALIBRACIÓN DE ESFIGMOMANÓMETROS EN EL HOSPITAL ALMANZOR AGUINAGA ASENJO**”; declaro bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrará lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar y que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 15 de agosto de 2019

---

**Bach. LUZ MIRLÉ SANDOVAL RAYMUNDO**  
**INVESTIGADORA**

---

**M.Sc. AUGUSTO SABA EFFIO**  
**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres Juana Raymundo y Félix Sandoval, por su apoyo incondicional, consejos, comprensión, amor 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 mi hija LUANA por su apoyo y ánimo brindado día a día para alcanzar nuevos retos profesionales trazados, quien es el pilar fundamental de mi vida.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, que me ilumino y me brindo su ayuda en todo momento para poder culminar mi carrera profesional.*

*Al Lic. Físico Juan Colchado Aguilar por su asesoramiento y estímulo durante la elaboración del trabajo de tesis.*

*Debo agradecer de manera especial y sincera al M.Sc. Augusto Saba Effio como asesor quien con su conocimiento, paciencia y tiempo, me brindó su orientación con profesionalismo, siendo parte fundamental para la elaboración de este trabajo y culminación con éxito del mismo.*

*También nos gustaría agradecer a todos los profesores que durante todo este tiempo de permanencia en la universidad han colaborado con un granito de arena en nuestra formación profesional.*

## ÍNDICE GENERAL

<b>ACTA DE SUSTENTACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>V</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>1. DEFINICIONES BÁSICAS .....</b>	<b>18</b>
1.1. PRESIÓN .....	18
1.1.1. Tipos de presión: .....	18
1.1.2. Unidades de presión .....	19
1.2. LA PRESIÓN ARTERIAL Y SU MEDICIÓN [8].....	20
1.2.1. Tipos de presión arterial .....	22
1.2.2. Métodos de medición de presión arterial [14] .....	23
1.2.2.1. Medición no invasiva de la presión sanguínea .....	23
1.2.3. Esfigmomanómetro .....	23
1.2.3.1. Mecánicos .....	24
1.2.3.2. Digitales .....	28
<b>2. TÉRMINOS METROLÓGICOS.....</b>	<b>29</b>
2.1. METROLOGÍA .....	29
2.2. MEDICIÓN .....	30
2.3. MENSURANDO .....	30
2.4. PATRÓN DE MEDICIÓN .....	30
2.5. TRAZABILIDAD METROLÓGICA .....	31
2.6. CALIBRACIÓN.....	32
2.7. PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN .....	32
2.8. EXACTITUD DE MEDICIÓN .....	32
2.9. PRECISIÓN DE MEDICIÓN .....	33
2.10. ERROR DE HISTÉRESIS .....	33

3. CALIBRACIÓN DE ESFIGMOMANÓMETROS ANEROIDES MANUALES .....	34
4. ERRORES DE CALIBRACIÓN .....	35
4.1. ERROR DE CERO .....	36
4.2. ERROR DE ANGULARIDAD .....	36
4.3. ERROR DE MULTIPLICACIÓN .....	37
<b>CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES .....</b>	<b>40</b>
DISEÑO METODOLÓGICO: .....	40
1. CONDICIONES DE ENSAYO .....	41
2. ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL ERROR DE INDICACIÓN DE PRESIÓN .....	41
2.1. ARREGLO EXPERIMENTAL .....	42
2.2. CÁLCULO DEL ERROR DE INDICACIÓN DEL MANÓMETRO DEL ESFIGMOMANÓMETRO .....	44
2.3. ENSAYO PARA DETERMINAR ERROR DE HISTÉRESIS DEL MANÓMETRO DEL ESFIGMOMANÓMETRO .....	45
2.4. ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIPO DE ERROR DE CALIBRACIÓN.....	46
3. TECNICAS, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES .....	46
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>48</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>54</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO I: TÉRMINOS Y CONCEPTOS ASOCIADOS A LA CALIBRACIÓN ....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO II: IDENTIFICACIÓN DE LOS ESFIGMOMANOMETROS UTILIZADOS Y MEDIDAS OBTENIDAS .....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXO III: GRÁFICAS DE ERRORES DE CALIBRACIÓN ENCONTRADOS ..</b>	<b>91</b>
<b>ANEXO IV: IMÁGENES DE CALIBRACIÓN.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO V: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN.....</b>	<b>115</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: PRESIÓN Y COMPONENTE PERPENDICULAR DE UNA FUERZA .	18
FIGURA N° 2: ESFIGMOMANÓMETRO DE MERCURIO.....	25
FIGURA N° 3: PARTES O COMPONENTES DE UN ESFIGMOMANÓMETRO DE MERCURIO .....	26
FIGURA N° 4: ESFIGMOMANÓMETRO ANEROIDE.....	27
FIGURA N° 5: PARTES DE UN ESFIGMOMANÓMETRO ANEROIDE.....	28
FIGURA N° 6: ILUSTRACIÓN DE ERROR DE HISTÉRESIS .....	33
FIGURA N° 7: ESFIGMOMANÓMETRO ANEROIDE GRADUADA.....	34
FIGURA N° 8: GRAFICA DE “ERROR DE CERO” .....	36
FIGURA N° 9: GRAFICA DE “ERROR DE ANGULARIDAD” .....	37
FIGURA N° 10: GRAFICA DE “ERROR DE MULTIPLICACIÓN” .....	38
FIGURA N° 11: ARREGLO TEÓRICO PARA LA CALIBRACIÓN. ....	42
FIGURA N° 12: SISTEMA DEL ARREGLO EXPERIMENTAL PARA LA CALIBRACIÓN .....	43
FIGURA N° 13: ARREGLO EXPERIMENTAL PARA LA CALIBRACIÓN .....	43

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1: Unidades de presión y sus factores.....	20
Tabla 2: Clasificación de la tabla de valores de la presión arterial .....	22
Tabla 3: Error de indicación del manómetro del esfigmomanómetro .....	49
Tabla 4: Condición, frecuencia y porcentaje de esfigmomanómetro de la muestra.....	50
Tabla 5: Condición de esfigmomanómetros por histéresis .....	50
Tabla 6: Condición, frecuencia de esfigmomanómetro por error de histéresis .....	51

## **RESUMEN**

Este trabajo de investigación consistió en un diagnóstico metrológico a esfigmomanómetros pertenecientes a los diversos servicios del hospital Almanzor Aguinaga Asenjo, utilizando un esfigmomanómetro de columna de mercurio, calibrado por el Instituto Nacional de Calibración (INACAL) como patrón. Además del estado de calibración, se determina el error de histéresis. Se determinó en la muestra analizada, que el 75% de los esfigmomanómetros sobrepasan el límite de error de medición permitido, por lo cual se concluye que están descalibrados. Igualmente se encontró que el 100% de la muestra presenta error de calibración tipo desplazamiento de cero. La población constituye los 500 esfigmomanómetros en el hospital Almanzor Aguinaga Asenjo dando una muestra de 20 esfigmomanómetros.

## **PALABRA CLAVES**

**CALIBRACION DE ESFIGMOMANOMETRO**

## **ABSTRACT**

This research work consisted of a metrological diagnosis of sphygmomanometers belonging to the various services of the Almanzor Aguinaga Asenjo hospital, using a mercury column sphygmomanometer, calibrated by the National Calibration Institute (INACAL) as a standard. In addition to the calibration status, the hysteresis error is determined. It was determined in the analyzed sample that 75% of the sphygmomanometers exceed the limit of measurement error allowed, so it is concluded that they are uncalibrated. It was also found that 100% of the sample has zero offset type calibration error. The population constitutes the 500 sphygmomanometers in the Almanzor Aguinaga Asenjo hospital giving a sample of 20 sphygmomanometers.

## **KEYWORD**

Sphygmomanometer Calibration

## INTRODUCCIÓN

Los equipos de medición usados en los centros de salud, precisan del aseguramiento de la calidad de su desempeño metrológico para el buen diagnóstico y tratamiento de los pacientes. La determinación objetiva de los signos vitales del paciente tal como su presión arterial es importante en la fase de exploración del paciente. La exactitud en la medición de esta magnitud es fundamental para ayudar en el diagnóstico acertado en todos los padecimientos relacionados a la presión arterial, así como para determinar el estado de hipertensión cuando este se presenta, lo cual es importante por el riesgo que conlleva ya que puede desencadenar en un ataque al corazón, derrame cerebral u otras complicaciones.

En los hospitales se utilizan rutinariamente los esfigmomanómetros, pero poco se ha tomado en cuenta su proceso de calibración. Los departamentos de Ingeniería de los Hospitales de Nivel III-IV de EsSalud que cuentan con servicios de Mantenimiento Biomédico, se preocupan del funcionamiento de estos aparatos pero no se han preocupado por establecer la referencia de presión con otros aparatos similares cuya base de medición tienen la medición a base de las variaciones de presión en el Mercurio considerado uno de los referentes más importantes para la medición de la presión, obedeciendo a un proceso de trazabilidad óptimo.

Si consideramos que la metrología es la ciencia de la medición y se puede considerar como una rama de la física, relacionada a todos los dominios de la ciencia ya sea en el progreso científico, el desarrollo tecnológico o el bienestar social. Su objetivo principal es garantizar la confiabilidad de las mediciones en cualquier campo de la ciencia y tecnología, para ello la metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones realizadas.

Según estudios anteriores [1], [2], la calibración de esfigmomanómetros con un manómetro de columna obtiene para cada punto de calibración una mejor exactitud. Los esfigmomanómetros necesitan de operaciones de mantenimiento periódico preventivo debido a que se van desajustando con el paso del tiempo y uso. Por regla general son instrumentos de medida sensibles a golpes y/o vibraciones. Los que mayor estabilidad presentan son los de mercurio siendo desde varias décadas el "patrón oro" (denominado también gold standard) sobre el que se han realizado las medidas de los estudios clínicos de presión arterial. [2].

De acuerdo a criterios técnicos los esfigmomanómetros por lo menos deben ser calibrados cada 12 meses para asegurarse que sus resultados tengan una precisión adecuada. En el Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo EsSalud-Chiclayo se utilizan esfigmomanómetros (tensiómetros) en todos los consultorios de Consulta externa y hospitalización y no se observa un sistema de calibración de estos instrumentos. Se desconoce si los mismos tienen la exactitud adecuada en sus medidas como para establecer un buen diagnóstico clínico. De allí que este trabajo consista en determinar el estado de calibración de aquellos instrumentos comparándolos con un patrón de medida.

Los objetivos iniciales del presente proyecto fueron: Determinar el estado de calibración de los esfigmomanómetros del Hospital Almanzor Aguinaga Asenjo, calcular el error de indicación del manómetro del esfigmomanómetro y su tipo de error también determinar el error de histéresis del manómetro del esfigmomanómetro.

En el capítulo I se tratan de fundamentos teóricos de la presión en un fluido, presión arterial y términos metrológicos. Tipos de esfigmomanómetros, tipos de errores de calibración, histéresis, etc.

En el capítulo II se describen los métodos y materiales usados. Asimismo, se explican detalladamente el procedimiento para la calibración, arreglo experimental, y la forma de determinación de error de histéresis.

En el capítulo III se exponen los resultados obtenidos, se presentan las conclusiones que se obtuvieron también se da a conocer algunas recomendaciones generales y anexos I, II, III y IV.

## ANTECEDENTES

A nivel internacional tenemos los siguientes estudios:

**Sánchez (2013)**, realizó la calibración de un esfigmomanómetro usando como patrón un manómetro de columna para mostrar que es posible dicha calibración, además de una mejora en su incertidumbre comparada con la calibración del esfigmomanómetro usando como patrón un manómetro de deformación elástica. Los datos se obtuvieron con 5 calibraciones para cada patrón de un esfigmomanómetro marca OMRON (Monitor de Presión arterial automático de brazo). De la comparación de los errores hallados se concluye que las diferencias son estadísticamente significativas; esto se debe a que la mínima división de escala del manómetro de deformación elástica patrón es muy gruesa ( $0,001 \text{ kgf/cm}^2$  equivalente a  $0.74 \text{ mmHg}$ ) en cambio el manómetro de columna tiene una mínima división de escala de  $0,2 \text{ mmHg}$ . Finalmente, se comparó los errores obtenidos con el manómetro de deformación elástica patrón y los errores obtenidos con el manómetro de columna haciendo uso del estadístico t de student. La incertidumbre de la calibración con el manómetro de columna es menor que la incertidumbre de la calibración con el manómetro de deformación elástica.

**Martínez y otros (2008)**, desarrollaron un estudio prospectivo y comparativo entre la medición de la presión arterial obtenida de manera manual con esfigmomanómetro aneroide y la obtenida mediante monitor automático. El desarrollo de la práctica se realizó sobre un grupo de 100 pacientes hospitalizados en el servicio de Neurocirugía y Otorrinolaringología del Consorcio Hospital General de Valencia durante el primer trimestre del año 2007, mediante mediciones secuenciales y efectuadas por el mismo observador con ambos aparatos bien calibrados.

Se observó mediante el método de correlación bivariada de Pearson que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las presiones tomadas por ambos aparatos determinando así la fiabilidad del aparato automático utilizado en esta sala para el registro de la tensión arterial.

A nivel nacional tenemos los siguientes tratados:

**De La Cruz GL(2013)**, realizo una investigación, trabajo desarrollado en el laboratorio de fuerza y presión de INDECOPI – Perú (Servicio Nacional de Metrología- SNM) con el objetivo de Establecer los requisitos metrológicos que deben cumplir los esfigmomanómetros mecánicos para que las mediciones de presión arterial con ellos sean confiables; desarrollo las siguientes pruebas: Inspección visual, Comprobación de indicación cero, Determinación de error máximo de indicación, Verificación de fuga de aire y Ensayo de histéresis (solamente para esfigmomanómetros aneroides). En condiciones de temperatura de 15 °C a 30 °C y de humedad relativa de 20 % a 80 %, los errores máximos permitidos para la indicación de la presión son  $\pm 0,4$  kPa (o  $\pm 3$  mmHg) en el caso de verificación inicial; y  $\pm 0,5$  kPa (o  $\pm 4$  mmHg) en el caso de verificación periódica o eventual. Las calibraciones de esfigmomanómetros de aneroide y de mercurio efectuadas por el SNM se realizaron a condiciones ambientales de  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $60\text{ \%} \pm 10\text{ \%}$  de humedad relativa.

Otro estudio nacional es:

**Ortiz (2005)**, presento en su proyecto de investigación la calibración y mantenimiento de equipo médico de diagnóstico; dejando así mejorar el conocimiento del personal técnico con el mecanismo para detectar el estado y funcionamiento del equipo ya que se encuentran en constante uso personal con el fin de mejorar su eficiencia de los esfigmomanómetros; entre los que se encuentra uno de un interés para este trabajo: procedimiento de calibración de esfigmomanómetros.



# **CAPÍTULO I:**

## **DISEÑO TEÓRICO**

# CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO

## 1. Definiciones básicas

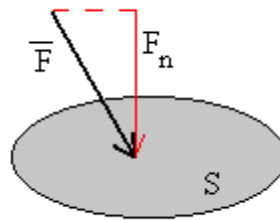
### 1.1. Presión

La definición básica de presión nos dice que es la fuerza ejercida por unidad de área en forma perpendicular. Esta definición se muestra en la ecuación (1) y es aplicable para la presión en sólidos (esfuerzo), líquidos (presión hidráulica) y gases (presión neumática) [6] y [7].

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Si la fuerza ejercida no es perpendicular a la superficie, se deberá encontrar la componente perpendicular a esta. Figura N°01.

$$P = \frac{F_n}{A} \quad (2)$$



**Figura N° 01.- Presión y componente perpendicular de una fuerza**

#### 1.1.1. Tipos de presión:

- **Presión atmosférica:** Presión que ejerce la atmósfera que rodea la tierra sobre todos los objetos que se hallan en contacto con ella. La presión atmosférica cambia con la altitud, a mayor altitud menor presión atmosférica.
- **Presión atmosférica normalizada:** Presión ejercida por la atmósfera bajo condiciones normalizadas, igual a 1013,25 hPa (760 mmHg). La cual

idealmente se presenta a una altitud de 0 m sobre el nivel del mar, temperatura ambiente de 20 °C, humedad de 65 % HR y densidad del aire de 1,2 kg/m<sup>3</sup>.

- **Presión barométrica:** Presión atmosférica local más una corrección por la altura con respecto al nivel del mar.
- **Presión relativa:** También conocida como presión positiva o manométrica. Presión que toma como referencia a la presión atmosférica local.
- **Presión hidrostática:** Es la que ejerce un líquido sobre un cuerpo que se encuentra en el seno del líquido; se debe al peso de la columna de ese líquido sobre el cuerpo. El cálculo de esta presión corresponde a una presión manométrica, ya que en realidad la que se ejerce es la suma de la presión atmosférica que actúa sobre la superficie del líquido más la presión hidrostática.

La ecuación de la hidrostática es la siguiente:

$$P = P_0 + h\rho g \quad (3)$$

Donde

P: Presión aplicada sobre el cuerpo.

$p_0$ : Presión atmosférica.

$\rho$ : Densidad del líquido.

$g$ : aceleración de la gravedad.

$h$ : Altura de columna de líquido sobre el cuerpo.

### 1.1.2. Unidades de presión

En el Sistema Internacional de unidades (SI) está normalizada con el nombre de pascal, de símbolo Pa de acuerdo con la 14ª Conferencia General de Pesas y

Medidas (CGPM) que tuvo lugar en París en 1971 [3] y [4]. Un Pascal es equivalente a la fuerza de 1 Newton sobre un área de  $1\text{m}^2$ .

$$1\text{Pa} = 1\text{ N/ m}^2.$$

Otras unidades de medida de la presión son los mm Hg, el Bar, la atmosfera, el  $\text{kg-f/cm}^2$ , entre otros. Las equivalencias entre estas unidades de medida se presentan en la siguiente tabla.

	Atmosfera	$\text{Kg/cm}^2$	mmHg	Bar	Pa
Atmosfera	1	1,033	760	1,0131	$1,01 \cdot 10^5$
$\text{Kg/cm}^2$	0,9678	1	735,6	0,98	98,100
mmHg	0,0013	0,0013	1	0,00133	133
Bar	0,987	1,02	750	1	$10^5$
Pa	$0,98710^{-5}$	$0,102 \cdot 10^{-4}$	0,0075	$10^{-5}$	1

**Tabla 1: unidades de presión y sus factores**

## 1.2. La presión arterial y su medición [8]

Se refiere a la presión (fuerza por unidad de superficie) que ejerce la sangre contra la pared de las arterias. Esta presión es imprescindible para que circule la sangre por los vasos sanguíneos y aporte el oxígeno y los nutrientes a todos los órganos del cuerpo para que puedan funcionar. La medición de la presión arterial es un método de diagnóstico simple que proporciona un índice de diagnóstico importante, en especial de la función circulatoria.

El corazón puede impulsar hacia las grandes arterias un volumen de sangre mayor que el que las pequeñas arteriolas y capilares pueden absorber, originando una presión retrógrada sobre las arterias. Cualquier trastorno que dilate o contraiga los vasos sanguíneos, o afecte a su elasticidad, o cualquier enfermedad cardíaca que interfiera con la función de bombeo del corazón, afecta a la presión sanguínea.

A consecuencia de este aumento de la presión el corazón debe trabajar más para mantener esa mayor presión y con el tiempo puede agrandarse y dañarse. El cuerpo puede tolerar una mayor presión arterial durante meses y hasta años, con el paso del tiempo se van dañando los vasos sanguíneos de los riñones, los ojos y el cerebro por lo que el paciente puede sufrir un grave daño cardíaco, renal, cerebral o visual.

La presión arterial sistémica es uno de los factores de riesgo más importantes en el desarrollo de padecimientos cardiovasculares y cerebrovasculares. La incidencia de infarto agudo al miocardio, daño cerebral, insuficiencia cardíaca e insuficiencia renal se incrementa con una presión sanguínea elevada.

Debido a que un porcentaje elevado de pacientes con hipertensión arterial sistémica son asintomáticos, la única forma de diagnosticar la enfermedad es con la medición de la presión arterial. Por lo anterior, es vital contar con un sistema confiable de medición de la presión arterial.

La medición de la presión arterial es un procedimiento sencillo y barato; útil para el diagnóstico y seguimiento de los pacientes hipertensos. Su empleo ha incrementado el conocimiento epidemiológico de la hipertensión permitiendo desarrollar estrategias médicas para combatir sus efectos devastadores.

En el ambiente hospitalario se emplea para el seguimiento del estado general de los pacientes internados y su coincidencia o desviación con respecto a los valores normales es un índice muy directo acerca del estado de salud de éstos. En las personas sanas la presión arterial normal se suele mantener dentro de un margen determinado. El complejo mecanismo nervioso que equilibra y coordina la actividad del corazón y de las fibras musculares de las arterias, controlado por los centros nerviosos cerebroespinal y simpático, permite una amplia variación local de la tasa de flujo sanguíneo sin alterar la presión arterial sistémica.

La principal importancia de la presión arterial radica en que su presencia nos indica un futuro riesgo de enfermedad vascular, el cual es, en principio, controlable con el descenso o normalización de la presión.

Dado que la presión puede causar que ciertos órganos se deterioren con el transcurso del tiempo, los pacientes que no controlan la presión arterial alta se enfrentan con una

vida reducida. La presión arterial alta contribuye a un 75% de todos los accidentes cerebrovasculares y ataques cardíacos.

### 1.2.1. Tipos de presión arterial

- Presión sanguínea diastólica (valor) (OIML R-16 [9]): Valor mínimo de la presión sanguínea arterial como resultado de la relajación del sistema ventricular.

*Nota:* Debido a los efectos hidrostáticos, este valor deberá ser medido con el brazalete a la altura del corazón.

- Presión sanguínea sistólica (valor) (OIML R-16 [9]): Máximo valor de la presión arterial sanguínea como resultado de la contracción del sistema ventricular.

*Nota:* Debido a los efectos hidrostáticos, este valor deberá ser medido con el brazalete a la altura del corazón.

### **PRESION ARTERIAL**

CLASIFICACION DE P/A	SISTOLICA (mmHg)	Diastólica (mmHg)
Normal	< 120	< 80
Pre hipertensión	120 – 139	80 - 89
Hipertensión grado 1	140 – 159	90 - 99
Hipertensión grado 2	> = 160	> = 100

**Tabla 2: Clasificación de la tabla de valores de la presión arterial.**

### 1.2.2. Métodos de medición de presión arterial [14]

- **Invasiva:** A través de canalizar una arteria. Con este método se mide directamente la presión en la arteria y de manera continua. Este método nos da un resultado de la medición de la presión más confiable pero es de alto riesgo para el paciente.
- **No invasiva:** Con este método se mide de manera indirecta la presión arterial. No se conecta el instrumento de medición directamente a la arteria.

#### 1.2.2.1. Medición no invasiva de la presión sanguínea

- **Método auscultatorio:** Técnica mediante la cual se escuchan sonidos (conocidos como sonidos Korotkoff) de una arteria ocluida conforme a la presión de oclusión se libera lentamente, coincidiendo con la aparición de sonidos con la presión sistólica y la desaparición de los mismos con la presión diastólica.
- **Método oscilométrico:** Método por el cual se coloca un brazalete alrededor de una extremidad y se aumenta la presión en el brazalete hasta que el flujo sanguíneo en la arteria se interrumpa y luego se reduce, lentamente, la presión en el brazalete. La presión es monitoreada continuamente.

### 1.2.3. Esfigmomanómetro

Instrumento médico empleado para la medición indirecta o no invasiva de la presión arterial, proporcionando, por lo general, la medición en milímetros de mercurio (mmHg o torr) La palabra proviene etimológicamente del griego [*sphygmós*] que significa pulso y de la palabra manómetro (que proviene del griego y se compone de [*manós*], «raro, escaso, poco denso», y [*métron*], «medida»). También es conocido popularmente como tensiómetro o *baumanómetro*, aunque su nombre correcto es *manómetro*. Se compone de un

sistema de brazalete inflable, un manómetro y un estetoscopio para auscultar de forma clara el intervalo de los sonidos de Korotkoff (sistólico y diastólico). La toma de la presión arterial es una de las técnicas que más se realiza a lo largo de la vida de una persona, e igualmente resulta ser una de las técnicas de atención primaria o especializada más habitualmente empleadas, aportando al personal médico un dato imprescindible para saber cómo una persona se encuentra en relación a su supervivencia (generalmente asociado a su función circulatoria),<sup>4</sup> cumpliendo una misión fundamental en la medicina preventiva. También es el instrumento de elección para realizar la prueba de torniquete.

El esfigmomanómetro proporciona una medida indirecta de la presión arterial. La medida directa se realiza en algunos casos clínicos por métodos de cateterismo arterial (o canulación). Además del método intraarterial o directo, las formas de medición de la tensión arterial se pueden clasificar en: cambio de color capilar, a través del pulso, auscultatorio, oscilométrico y por efecto doppler con ultrasonido [9].

Los hay de dos tipos:

#### **1.2.3.1. Mecánicos**

Esfigmomanómetro de **mercurio y aneroide** para la medición de presión arterial sanguínea no invasiva a través de un brazalete inflable.

**Esfigmomanómetro de mercurio.** Consiste en una cubeta que contiene mercurio conectada a un tubo vertical de cristal con un extremo abierto por donde sube el mercurio al inflar el manguito.

Características principales

- Manómetro manual, cuyo manguito se conecta a una columna de mercurio.
- Utiliza el método auscultatorio para determinar la PAS /PAD mediante la identificación de los ruidos de Korotkoff.



- Es considerado el estándar de la medición indirecta no invasiva de la presión arterial ya que el principio de funcionamiento es bien conocido y ha sido validado contra la medición intra arterial de la presión arterial [6].

- Ventajas: es preciso y de fácil mantención. Un estudio transversal realizado en Reino Unido demostró que solo 5% de los esfigmomanómetros de mercurio daban lecturas erróneas en más de 4mmHg, comparadas con un 12% de los digitales y un 22% de los aneroides [8].

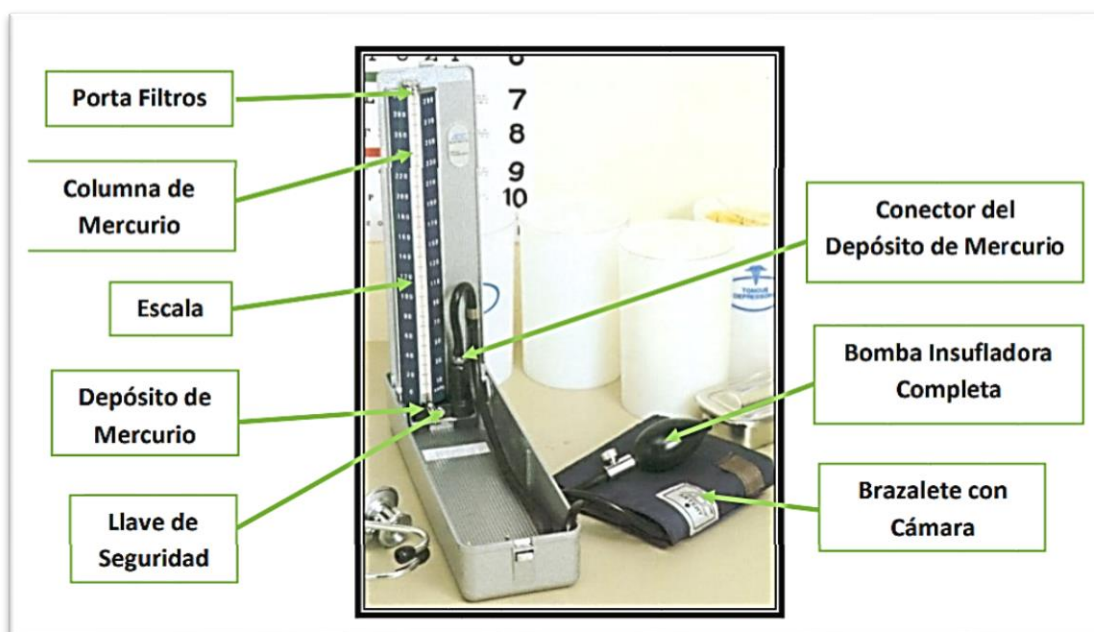
- Desventaja: la principal es que el mercurio es neurotóxico y se considera un contaminante ambiental. Otras desventajas es que es susceptible al sesgo de dígito terminal y a los errores debidos al observador como impedimentos visuales o auditivos y el uso de una técnica no adecuada.

- Calibración: debe ser anual.

La figura siguiente ilustra un esfigmomanómetro de mercurio



**Fig. N°02. Esfigmomanómetro de mercurio**



**Fig. N°03. Partes o componentes de un esfigmomanómetro de mercurio.**

***Esfigmomanómetro anerode:*** Este dispositivo tiene las mismas características del mercurial pero en lugar de un manómetro de mercurio utiliza un mecanismo anerode, lo que lo hace más ligero y transportable. Debido a que los manómetros aneroides son dispositivos con un mecanismo a base de resortes, requieren de una constante revisión de calibración y mantenimiento ya que con el uso y desgaste del mecanismo puede dar como resultado una lectura incorrecta. Así mismo, durante su operación, debe tenerse especial cuidado en no golpearlo, pues se descalibran fácilmente.

El principio básico de su sistema de medición, es igual al de mercurio, además, utiliza el mismo tipo de brazalete, pera insufladora y tubo de conexión. La tecnología de medición de la presión sanguínea con un esfigmomanómetro de mercurio se derivó en forma directa de observaciones biológicas. Las actividades de ingeniería y física desarrollaron un sistema de “tubo elástico enrollado” que al incrementarse la presión interna de “desdobla”. El nivel de estiramiento es proporcional a la presión. Este desdoblamiento o estiramiento, moviendo un eje de un engrane, puede hacer girar un indicador que

sobre una escala indica la presión. Este sistema sustituye a la columna de mercurio y esto proporciona la técnica inicial de los esfigmomanómetros aneroides usados actualmente para medición electrónica. Sin embargo, en la práctica, la inmensa mayoría de estos instrumentos son del tipo de diafragma. Desde hace unos 100 años se utilizan los esfigmomanómetros tanto de mercurio como aneroides, y cuando funcionan bien ambos dan resultados precisos.

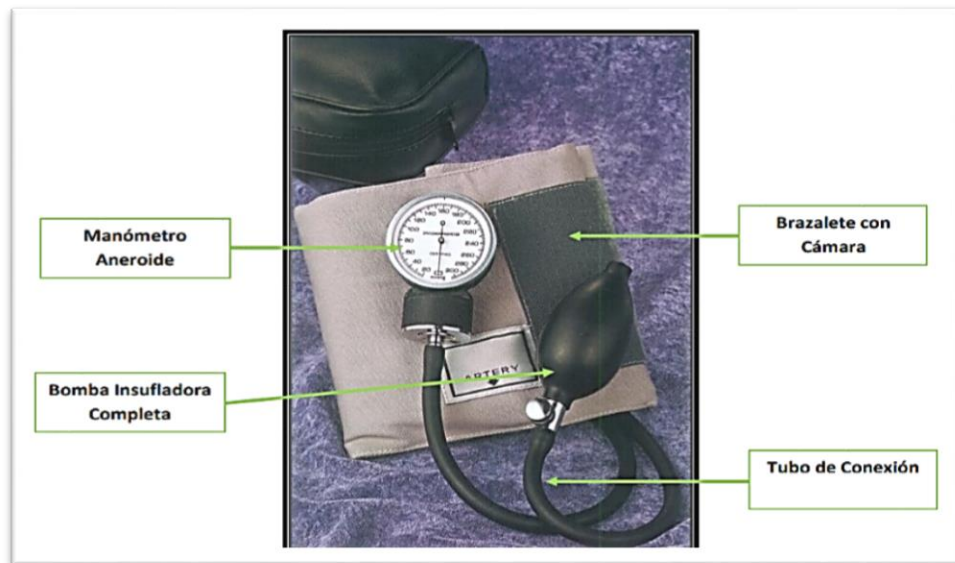
### **Otras características**

- Utiliza el método auscultatorio (ruidos de Korotkoff)
- Ventaja: alternativa no mercurial.
- Desventajas: se descalibran con facilidad, muy susceptibles al daño, en especial aquellos que son transportables. Distintos estudios han demostrado porcentajes de fallas entre 22 % y 33% [6].
- El grado de precisión varía entre distintos fabricantes.
- Al igual que los mercuriales son susceptibles de sesgo de dígito terminal y a los errores del observador junto a una técnica inadecuada.
- Calibración: semestral, por el servicio técnico.

La figura siguiente ilustra un esfigmomanómetro aneroide



**Fig. N° 04. Esfigmomanómetro aneroide.**



**Fig. N°05. Partes de un esfigmomanómetro aneróide.**

#### **1.2.3.2. Digitales**

Los esfigmomanómetros digitales pueden ser de brazalete aplicable a la muñeca, al brazo o incluso a un dedo. Cuanto más distal es el punto de medida de la tensión arterial, mayor es la influencia de la vasoconstricción periférica sobre los resultados de la medición. El funcionamiento básico de este dispositivo es similar: posee su brazalete y su manómetro; a veces incorpora un compresor eléctrico para inflar el brazalete. Contienen también una pequeña computadora que dispone de memoria y reloj. El brazalete dispone además en su interior de sensores capaces de detectar los sonidos de Korotkoff, permitiendo conocer el intervalo de presión diastólica y sistólica. Por regla general, suelen medir la presión arterial media. Generalmente, este tipo de aparatos contiene un sistema auscultatorio y otro oscilométrico. El sistema auscultatorio se fundamenta en un micrófono ubicado en el brazalete y que interpreta los ruidos de Korotkoff, mientras que los dispositivos oscilométricos analizan la transmisión de vibración de la pared arterial. El sistema oscilométrico no permite detectar los pulsos alternans y los pulsus paradoxus. La mayoría de los vendedores emplea

el procedimiento oscilométrico, desplazando al auscultatorio, existiendo algunos otros que emplean las dos técnicas de medición indistintamente y aprovechan las ventajas de cada una.

Los tensiómetros automáticos permiten a los pacientes hipertensos controlar a diario y de una forma sencilla su tensión y pulso sin salir de casa. La operación básica consiste en aplicarse el brazalete y, pulsando un botón, se activan los procesos de medida durante un par de minutos. Las memorias de estos instrumentos permiten grabar automáticamente las medidas, permitiendo hacer un seguimiento y evolución de la tensión arterial. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que no pueden sustituir a las visitas al médico. Entre las desventajas que tienen estos instrumentos de medida automática se encuentra su menor precisión, en comparación con los esfigmomanómetros aneroides y los de columna de mercurio. Suelen requerir de reajuste cada nueve o doce meses. En casos de presión arterial muy baja (paciente en situación de choque) algunos equipos automáticos pueden dar lecturas erróneas. Entre sus ventajas, se encuentra además puede ser usado en los ambientes ruidosos de medicina de urgencia donde no puede efectuarse una auscultación fiable. De la misma forma, resultan aconsejables en entornos donde hay elevada demanda asistencial tales como clínicas, centros sanitarios, hospitales, etc. Los esfigmomanómetros electrónicos o automáticos, no requieren de un estetoscopio adicional [11].

## **2. Términos metrológicos**

Los siguientes términos nos serán útiles para el mejor entendimiento del presente trabajo. Estos han sido extraídos del "International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology" [11].

### **2.1. Metrología**

Ciencia de las mediciones y sus aplicaciones.

La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medición y su campo de aplicación.

## **2.2. Medición**

Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.

Las mediciones no son de aplicación a las propiedades cualitativas.

La medición supone una comparación de magnitudes, e incluye el conteo de entidades.

Una medición supone una descripción de la magnitud compatible con el uso previsto de un resultado de medición, un procedimiento de medición y un sistema de medición calibrado operando conforme a un procedimiento de medición especificado, incluyendo las condiciones de medición.

## **2.3. Mensurando**

Magnitud que se desea medir.

La especificación de un mensurando requiere el conocimiento de la naturaleza de la magnitud y la descripción del estado del fenómeno, cuerpo o sustancia que tiene a dicha magnitud como una propiedad, incluyendo las componentes relevantes y las entidades químicas involucradas.

## **2.4. Patrón de medición**

Un patrón de medición es una representación física de una medición. Una unidad se realiza con referencia a un patrón físico arbitrario o un fenómeno natural que incluyen constantes físicas y atómicas. Se utiliza frecuentemente como referencia para obtener valores medidos e incertidumbres de medición asociadas para otras magnitudes de la

misma naturaleza, estableciendo así la trazabilidad metrológica, mediante la calibración de otros patrones. Por su función, se clasifican en las siguientes categorías.

#### **Patrones Internacionales:**

Se definen por acuerdos internacionales. Representan ciertas unidades de medida con la mayor exactitud que permite la tecnología de producción y medición.

#### **Patrones Primarios:**

Los patrones primarios representan unidades fundamentales y algunas de las unidades mecánicas y eléctricas derivadas, se calibran independientemente por medio de mediciones absolutas en cada uno de los laboratorios nacionales.

#### **Patrones Secundarios:**

Los patrones secundarios son los patrones básicos de referencia que se usan en los laboratorios industriales de medición. Estos patrones se conservan en la industria particular interesada y se verifican localmente con otros patrones de referencia en el área. La responsabilidad del mantenimiento y calibración de los patrones secundarios depende del laboratorio industrial.

#### **Patrones de Trabajo:**

Los patrones de trabajo son las herramientas principales en un laboratorio de mediciones. Se utilizan para verificar y calibrar la exactitud y comportamiento de las mediciones efectuadas en las diversas áreas de aplicación.

### **2.5. Trazabilidad metrológica**

Propiedad de un resultado de medición por la cual dicho resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medición.

En esta definición, la "referencia" puede ser la definición de una unidad de medida, mediante su realización práctica, o un procedimiento de medición que incluya la unidad de medida cuando se trate de una magnitud no ordinal, o un patrón.

La trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración establecida.

La especificación de la referencia debe incluir la fecha en la cual se utilizó dicha referencia, junto con cualquier otra información metrológica relevante sobre la referencia, tal como la fecha en que se haya realizado la primera calibración en la jerarquía.

## **2.6. Calibración**

Operación que, bajo condiciones especificadas, establece en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medición asociadas obtenidas a partir de los patrones de medición, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medición a partir de una indicación.

Conviene no confundir la calibración con el ajuste de un sistema de medición, a menudo llamado incorrectamente "auto calibración", ni con una verificación de la calibración.

## **2.7. Procedimiento de medición**

Descripción detallada de una medición conforme a uno o más principios de medición y a un método de medición dado, basado en un modelo de medición y que incluye los cálculos necesarios para obtener un resultado de medición.

## **2.8. Exactitud de medición**

Grado de concordancia entre el valor medido y un valor verdadero de un mensurando. El concepto “exactitud de medición” no es una magnitud y no se expresa numéricamente. Se dice que una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medición.



## 2.9. Precisión de medición

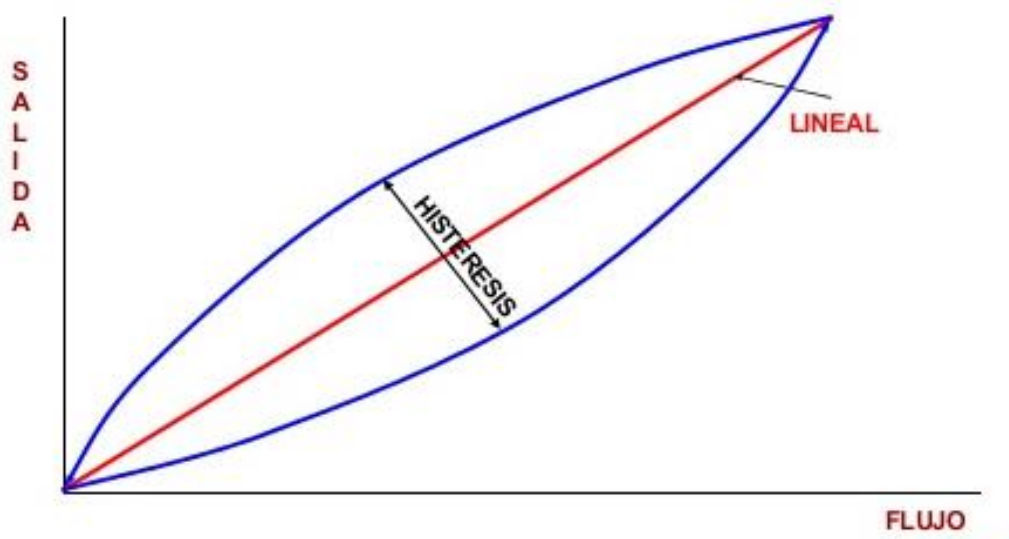
grado de concordancia entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones específicas.

Las “condiciones específicas” pueden ser, por ejemplo, condiciones de repetibilidad, condiciones de precisión intermedia, o de condiciones de reproducibilidad.

La precisión se utiliza para definir la repetibilidad de medición, algunas veces, “precisión de medición” se utiliza, erróneamente, en lugar de “exactitud de medición”.

## 2.10. Error de Histéresis

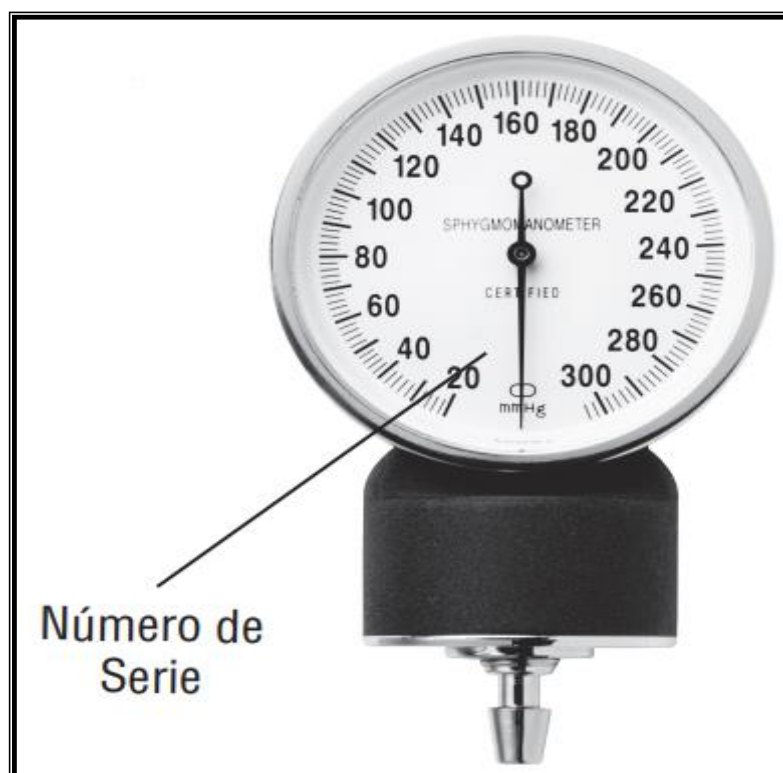
Un error de histéresis en una calibración ocurre cuando la respuesta del instrumento en puntos o valores determinados es diferente al incrementar la señal de entrada que al decrementar la señal de salida. La única manera de detectar este tipo de error es hacer una prueba up-down en la calibración, es decir tomar nota de valores determinados ante un incremento de señal de entrada y compararlos con los mismos valores pero decrementando la señal de entrada del instrumento patrón. La grafica siguiente ilustra este tipo de error.



**Fig. N° 06. Ilustración de error de histéresis.**

### 3. Calibración de esfigmomanómetros aneroides manuales

*Escala:* La escala está diseñada y arreglada de tal manera que los valores medidos puedan ser reconocidos con facilidad y claridad. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual. Primera marca de la escala: La graduación debe comenzar con la primera marca de escala en 0 kPa (0 mmHg). Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual. La figura N°07: Escala de esfigmomanómetros aneroides, según Recomendación OIML R16-1.



**Figura N° 07 .Esfigmomanómetro aneroide graduada**

Intervalo de escala

El intervalo de la escala debe ser:

- 0.2 kPa para escalas graduadas en kPa, o
- 2 mmHg para escalas graduadas en mmHg.

Cada quinta marca de escala está indicada por una longitud mayor a las demás y en cada décima marca de escala la misma va numerada. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

**Espaciamiento y grosor de las marcas de escala:** La distancia entre marcas de escala adyacentes no son menores a 1.0 mmHg. El grosor de las marcas de escala no debe exceder un 20% del espaciamiento menor entre marcas de escala. Todas las marcas de escala son del mismo grosor. Las pruebas deben ser llevadas a cabo de acuerdo con la Recomendación OIML R 16-1.

### **Marca de escala en cero**

Si se muestra una zona de tolerancia en cero, no debe exceder los  $\pm 0.4$  kPa ( $\pm 3$ mmHg) y debe estar claramente marcada. Una marca de escala en cero debe estar indicada<sup>7</sup>.

Las graduaciones con zonas de tolerancia son opcionales. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

### **Cero**

El movimiento del elemento sensor elástico, incluyendo el apuntador, no debe estar obstruido entre 0.8 kPa (6 mmHg) bajo cero. Ni el dial ni el apuntador deben ser ajustables por el usuario. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual<sup>7</sup>.

### **Apuntador**

El apuntador debe cubrir entre 1/3 y 2/3 de la longitud de la marca de escala más corta de la escala. En el lugar de indicación no debe ser más gruesa que la marca de escala. La distancia entre el apuntador y el dial, no debe exceder los 2mm. Las pruebas deben ser llevadas a cabo por inspección visual.

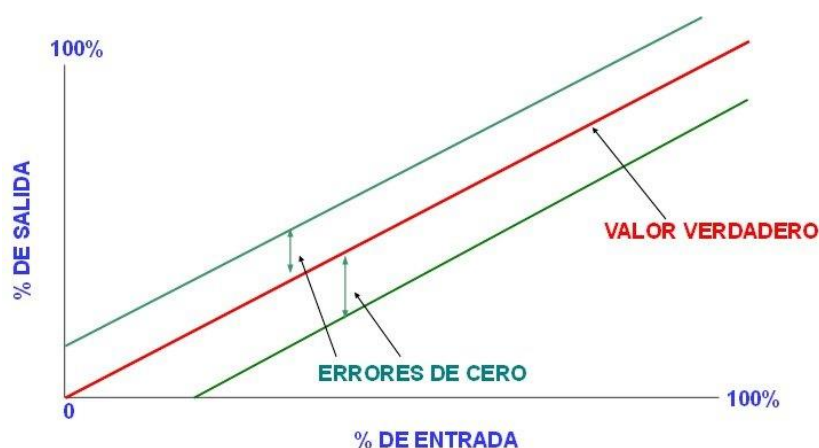
## **4- Errores de calibración**

Esta clase de errores son de tipo sistemático. Se deben a imperfecciones en la construcción o ajuste de los instrumentos de medición y del movimiento de sus partes individuales. Pueden clasificarse en los tres tipos siguientes:

#### 4.1. Error de cero

Es el error más típico que afecta a la mayoría de los aparatos. Sucede cuando la aguja del manómetro esta desplazada una cantidad constante la misma cantidad a través de todo su alcance. Esta clase de error puede ocurrir más arriba o debajo de la línea de referencia o valor verdadero.

El error de cero puede corregirse haciendo girar el tornillo de ajuste en la aguja hasta que el manómetro indique con precisión la misma cantidad al instrumento patrón. Este tipo de error no puede tratarse estadísticamente. Un instrumento de medida con error de este tipo presenta una gráfica comparativa con su patrón como en la figura N°08 siguiente.

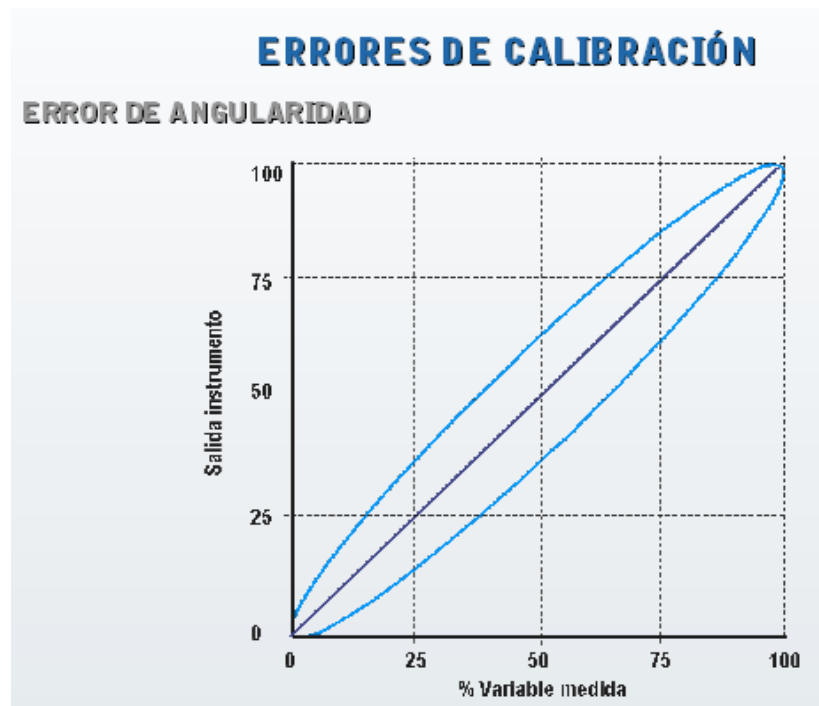


**Fig. N° 08 - Grafica de “error de cero”**

El error de cero es cuando la respuesta a una medición respecto al valor verdadero tiene el aspecto de cualquiera de las líneas verdes, entonces el equipo de medición tiene un error de tipo cero.

#### 4.2. Error de angularidad

También conocido como error de linealidad. Se refiere a la proximidad de una línea curva con una recta de referencia, es decir entre más asentado sea el arco en la línea, mayor será su distancia de la línea de referencia y mayor será el error de linealidad, Nuevamente el error puede ser encima o debajo de la línea de referencia. El error de linealidad es mostrado en la figura N° 09.

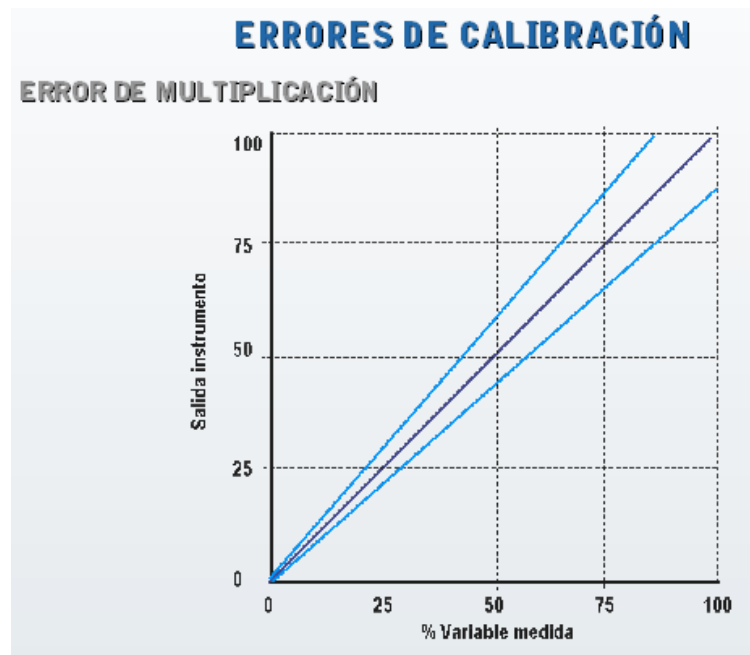


**Fig. N° 09 grafica de “error de angularidad”**

En error de angularidad, si la respuesta a una medición respecto al valor verdadero tiene el aspecto de cualquiera de las líneas azules, entonces el equipo de medición tiene un error de angularidad. El caso puede darse por encima o debajo del promedio.

#### **4.3. Error de multiplicación**

Llamado también error de Span. En este tipo de error todas las lecturas o señales de salida del instrumento aumentan o disminuyen progresivamente con respecto a la línea patrón. Figura N°10. La desviación puede ser negativa o positiva.



**Fig. N° 10 - Grafica de “error de multiplicación”**

En el error de multiplicación si la respuesta a una medición respecto al valor verdadero tiene el aspecto de cualquiera de las líneas azules, entonces el equipo de medición tiene un error de multiplicación.

# **CAPÍTULO II**

## **MÉTODOS Y MATERIALES**

## CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES

### DISEÑO METODOLÓGICO:

Diseño de investigación descriptivo y transversal (observacional, individual que mide una o más características).

### POBLACION / MUESTRA

#### Población

La población (Población diana) está compuesta por todos los esfigmomanómetros usados y potenciales de servicio en el Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo.

Población objetivo estará conformada por los esfigmomanómetros en servicio en el Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo aproximadamente 500 esfigmomanómetros en uso.

#### Muestra

La muestra es de tipo probalístico, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las consideraciones propias del investigador.

Queremos saber si la media del margen de error en la calibración de un esfigmomanómetro no varía más allá de 0.01 kPa.

Se asume que la desviación estándar es de 0.2 kPa, si elegimos el error de tipo I de 0,05 y el poder estadístico de 0.80. El valor de z de dos colas para alfa de 0.05 es  $\pm 1.96$ . El valor inferior de una cola de z relacionado con beta es aproximadamente de -0.84 (el valor crítico que separa el 20 % inferior de la distribución de Z del 80 % superior). Luego el tamaño de la muestra será:

$$n = \left[ \frac{(Z_{\alpha} - Z_{\beta})\sigma}{\mu_1 - \mu_2} \right]^2$$

$$n = \left[ \frac{(1.96 - 0.84)(0.2)}{0.05} \right]^2$$

$n = 20,07$  esfigmomanómetros  $\sim 20$  esfigmomanómetros



### ***Diseño de contrastación de hipótesis:***

Se compara las medidas obtenidas en el esfigmomanómetro a calibrar, con el patrón de medida. Los primeros son tipo aneroide y el patrón fue tensiómetro de mercurio.

#### **1. condiciones de ensayo**

Los criterios para considerar un esfigmomanómetro en una situación de calibrado deben realizarse con las siguientes condiciones atmosféricas y con los criterios que a continuación se detallan:

##### **➤ Condiciones ambientales**

Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente de 15 °C a 25 °C, Humedad relativa del aire de 20 % a 80 % tal como lo manda la norma metrológica.

##### **➤ Error máximo permitido**

El error máximo permitido de la indicación del manómetro del esfigmomanómetro en cualquier punto del alcance de la escala es  $\pm 0,5$  kPa (4 mmHg) [5].

##### **➤ Error máximo de histéresis**

El error de histéresis debe estar dentro del rango de 0 kPa a 0,5 kPa (0 mmHg a 0,6 mmHg).

#### **2. Ensayo para la determinación del error de indicación de presión**

Se utilizaron los siguientes equipos de medición:

**Cámara inflable** de presión (haciendo las veces de una fuente de presión), con capacidad de 500 ml  $\pm 5$  %; cuya función fue amortiguar el aumento de presión el cual sustituye a un recipiente de presión.

Instrumento de medición de presión **patrón**, calibrado con una incertidumbre menor a 0,1 kPa (0,6 mmHg).

**Pera generadora de presión** o bomba manual con una válvula de deflación, Conectores y tubos.

## 2.1.Arreglo experimental

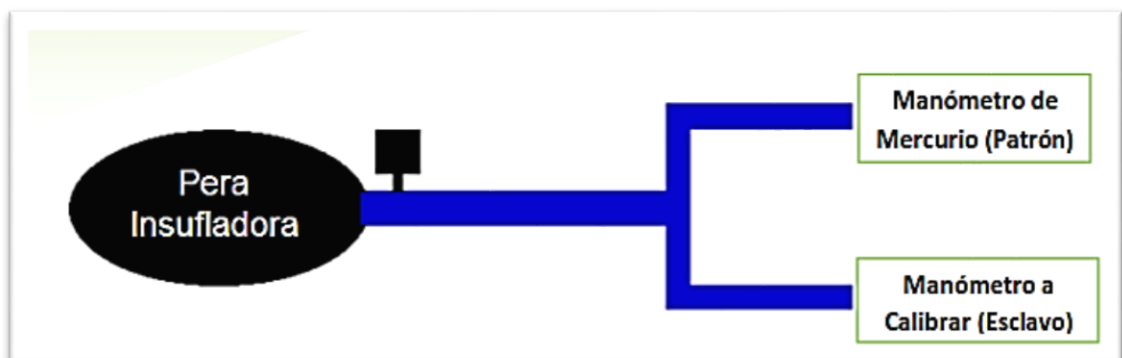
### Verificación Manual

Se realiza interconectando a una Pera Insufladora con salida en forma de (Y), 2 esfigmomanómetros en serie, el manómetro Patrón de un extremo y el manómetro Esclavo de otro extremo (figura N° 11). Se harán lecturas y mediciones simultáneas en múltiples niveles de la escala con el propósito de hacer una comparación.

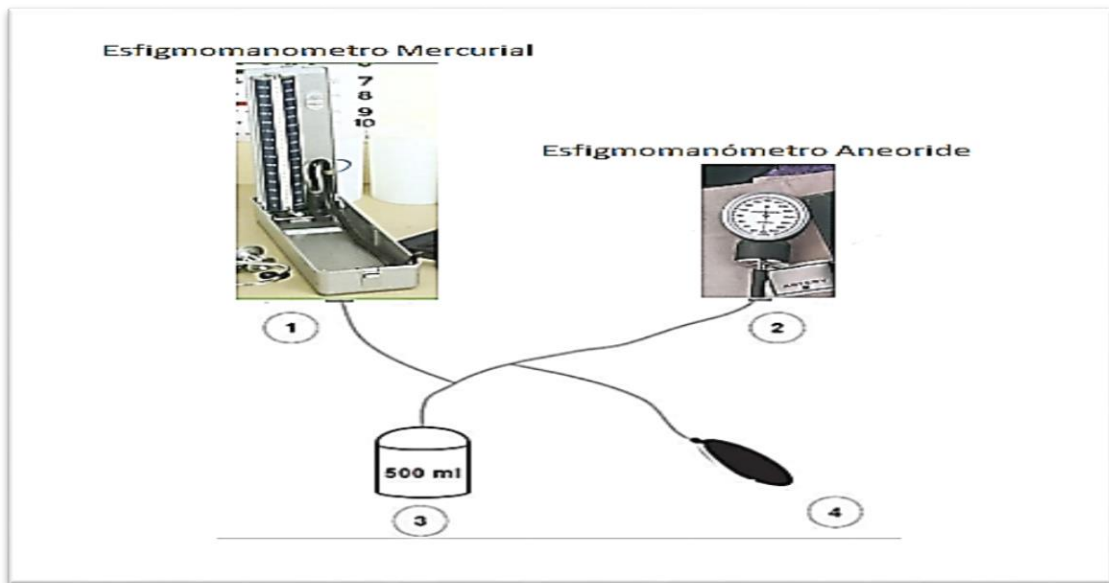
Se armó el arreglo experimental mostrado en la figura N° 12.

El ensayo consistió en tomar datos en dos series de valores seleccionados; cada serie consiste en un ascenso y un descenso. Al alcanzar el valor máximo en cada ascenso se esperó un tiempo de 5 minutos para empezar con el descenso.

Se fijó los valores de presión en el instrumento de medición patrón y registrar el valor de indicación del manómetro del esfigmomanómetro en el registro de medición (Anexo II).



**Figura N° 11: Arreglo teórico para la calibración.**



**Figura N° 12.- sistema del arreglo experimental para la calibración.**

1. Esfigmomanómetro patrón, 2. Manómetro del esfigmomanómetro a calibrar, 3. Brazalete o recipiente de metal, 4. Generador de presión (pera).



**Figura N° 13.- Arreglo experimental para la calibración**

## 2.2.Cálculo del error de indicación del manómetro del esfigmomanómetro

Para el cálculo del error de indicación del manómetro del esfigmomanómetro, primero debemos tener en cuenta las unidades del instrumento patrón y si no está en las unidades del manómetro del esfigmomanómetro (kPa o mmHg) debemos convertir los valores de indicación del instrumento patrón fijados.

Se halló los promedios de las indicaciones del manómetro del esfigmomanómetro tanto de ascenso como descenso:

$$\bar{I}_{x\uparrow} = I_{x\uparrow 1} + I_{x\uparrow 2} \quad (4)$$

$$\bar{I}_{x\downarrow} = I_{x\downarrow 1} + I_{x\downarrow 2} \quad (5)$$

Donde:

$\bar{I}_{x\uparrow}$ : Promedio de indicaciones de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro.

$\bar{I}_{x\downarrow}$ : Promedio de indicaciones de descenso del manómetro del esfigmomanómetro.

$I_{x\uparrow 1}$ : Indicación de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro de la primera serie.

$I_{x\downarrow 1}$ : Indicación de descenso del manómetro del esfigmomanómetro de la primera serie.

$I_{x\uparrow 2}$ : Indicación de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro de la segunda serie.

$I_{x\downarrow 2}$ : Indicación de descenso del manómetro del esfigmomanómetro de la segunda serie.

Luego, hallamos los errores de indicación del manómetro del esfigmomanómetro con la siguiente ecuación:

$$E_{\uparrow} = \bar{I}_{x\uparrow} - I_{pc} \quad (6)$$

$$E_{\downarrow} = \bar{I}_{x\downarrow} - I_{pc} \quad (7)$$

Donde:

$\bar{I}_{x\uparrow}$ : Promedio de indicaciones de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro

$\bar{I}_{x\downarrow}$ : Promedio de indicaciones de descenso del manómetro del esfigmomanómetro

$I_{pc}$ : Indicación corregida del instrumento de medición patrón, en las unidades del manómetro del esfigmomanómetro

$E_{\uparrow}$ : Error de Indicación de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro.

$E_{\downarrow}$ : Error de Indicación de descenso del manómetro del esfigmomanómetro.

Finalmente, hallamos el máximo error.

### **2.3. Ensayo para determinar error de histéresis del manómetro del esfigmomanómetro**

El error de histéresis del manómetro del esfigmomanómetro es determinado con las siguientes ecuaciones:

$$H_1 = I_{x\uparrow 1} - I_{x\downarrow 1} \quad (8)$$

$$H_2 = I_{x\uparrow 2} - I_{x\downarrow 2} \quad (9)$$

Donde:

$H_1$ : Histéresis de la primera serie

$H_2$ : Histéresis de la segunda serie

$I_{x\uparrow 1}$ : Indicación de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro de la primera serie

$I_{x\downarrow 1}$ : Indicación de descenso del manómetro del esfigmomanómetro de la primera serie

$I_{x\uparrow 2}$ : Indicación de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro de la segunda serie

$I_{x\downarrow 2}$ : Indicación de descenso del manómetro del esfigmomanómetro de la segunda serie

Luego, hallamos el máximo error de histéresis.

## **2.4. Ensayo para determinar el tipo de error de calibración.**

Se elaboraron gráficas comparativas entre las medidas del patrón y el esclavo. La forma de las gráficas 9,10 y 11, nos indicaran el tipo de error de calibración que están presentando.

## **3. TECNICAS, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y MATERIALES**

### **3.1. Técnicas de recolección de datos:**

Observación de los valores obtenidos en los manómetros de los esfigmomanómetros y los datos emitidos en el barómetro patrón.

### **3.2. Instrumentos, Materiales y Equipos de medición:**

- Instrumento de medición de presión patrón.
- Manómetro del esfigmomanómetro.
- Uso del brazalete o recipiente de metal rígido con una capacidad de  $500 \text{ ml} \pm 5$ ; éste recipiente es necesario para la amortiguación del aumento de presión el cual sustituye a la cámara inflable del esfigmomanómetro.
- Instrumento de medición de presión patrón, calibrado con una incertidumbre menor a  $0,1 \text{ kPa}$  ( $0,8 \text{ mmHg}$ ).
- Generador de presión, por ejemplo una pera (bomba manual) con una válvula de deflación.
- Conectores y tubos.
- Cronometro (Dispositivo para medir el tiempo).

# **CAPÍTULO III**

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

## CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificó la procedencia y otras características de las muestras (tabla N° 05 del anexo II) eligiéndose 2 esfigmomanómetro del servicio de neurocirugía, 3 de cardiología 2 traumatología, 2 de tomografía, 2 de diálisis peritoneal, 2 de gastrología, 1 de neumología, 2 de geriatría, 1 de pediatría, 1 de ceprit, 1 rayos X, 1 neurología, 1 de enfermería todos de tipo aneroide y mayormente de la marca **ADECUF** (Americana).

En el anexo III se muestra la 20 gráficas comparativas entre las medidas de los esfigmomanómetros esclavos con respecto al patrón. Se observa que 18 de los esfigmomanómetros tienen descalibración tipo “error cero”.

Se observa que solo 02 están calibrados, (N°9 y N°13) o sea, miden con exactitud y precisión.

### 1. Cálculo el error de indicación del esfigmomanómetro.

Teniendo en cuenta las condiciones para el ensayo de la determinación del error de indicación de presión, el error máximo permitido de la indicación del manómetro del esfigmomanómetro en cualquier punto del alcance de la escala es  $\pm 0,4$  kPa (3 mmHg) establecido por INACAL, que es calculado teniendo en cuenta la indicación de descenso e indicación de ascenso del esfigmomanómetro de la primera y segunda serie. Se halló los errores de indicación del manómetro con la siguiente ecuación

$$E_{\uparrow} = \bar{I}_{x\uparrow} - I_{pc}$$

$$E_{\downarrow} = \bar{I}_{x\downarrow} - I_{pc}$$

Donde:

$\bar{I}_{x\uparrow}$ : Promedio de indicaciones de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro

$\bar{I}_{x\downarrow}$ : Promedio de indicaciones de descenso del manómetro del esfigmomanómetro

$I_{pc}$ : Indicación corregida del instrumento de medición patrón, en las unidades del manómetro del esfigmomanómetro

$E_{\uparrow}$ : Error de Indicación de ascenso del manómetro del esfigmomanómetro.



$E_{\downarrow}$ : Error de Indicación de descenso del manómetro del esfigmomanómetro.

**Tabla 3: Error de indicación del manómetro del esfigmomanómetro**

Esfigmomanómetro	$E_{\uparrow}$	$E_{\downarrow}$	Error máximo	Condición
1	14,0	12,0	13,0	No adecuado
2	9,8	10,0	9,9	No adecuado
3	4,0	5,0	4,5	No adecuado
4	3,8	3,8	3,8	No adecuado
5	4,0	4,0	4,0	No adecuado
6	3,3	4,0	3,7	No adecuado
7	4,0	4,0	4,0	No adecuado
8	4,0	4,0	4,0	No adecuado
9	0,0	0,0	0,0	Adecuado
10	4,0	4,0	4,0	No adecuado
11	4,0	4,0	4,0	No adecuado
12	2,0	2,0	2,0	Adecuado
13	0,0	0,0	0,0	Adecuado
14	4,0	4,0	4,0	No adecuado
15	4,0	4,0	4,0	No adecuado
16	12,0	12,0	12,0	No adecuado
17	10,0	10,0	10,0	No adecuado
18	8,0	8,0	8,0	No adecuado
19	2,7	4,0	2,7	Adecuado
20	0,7	2,0	0,7	Adecuado

De la Tabla N° 03, se establece que de los 20 instrumentos sometidos a medición, cinco mostraron condiciones de error para tomarlos como adecuados y quince deben ser sometidos a un mantenimiento correctivo, porque de acuerdo a las medidas obtenidas se les considera Inadecuados.

**Tabla 04. Condición, frecuencia y porcentaje de esfigmomanómetro de la muestra.**

Condición	Frecuencia	Porcentaje
Adecuado	5	25.0 %
No adecuado	15	75.0 %
Total	20	100.0

**Determinar el error de histéresis**

La histéresis es la diferencia en las lecturas de presión medidas en la secuencia de descompresión respecto a los realizados a compresión. Siendo las medidas de compresión el conjunto de medición de presiones que se miden desde 0 hasta 300 mmHg, son los valores que se utilizan en la calibración del esfigmomanómetro. El error de histéresis a lo largo del rango de presión debe estar entre el rango de 0 KPa a 0.5 KPa (0 mmHg a 4 mmHg).

En la Tabla N° 05 nos señala la evidencia que el error de histéresis de los esfigmomanómetros es adecuado en los 20 instrumentos investigados.

**Tabla N°5: Condición de esfigmomanómetros por error de histéresis.**

Esfigmomanómetro	H1	H2	Error Máximo	Condición
1	2	2	2	Adecuado
2	0,5	0	0,25	Adecuado
3	1	1	1	Adecuado
4	0,5	0,5	0,5	Adecuado
5	0	0	0	Adecuado
6	2	0	1	Adecuado
7	0	0	0	Adecuado
8	0	0	0	Adecuado
9	0	0	0	Adecuado
10	0	0	0	Adecuado
11	0	0	0	Adecuado
12	0	0	0	Adecuado
13	0	0	0	Adecuado
14	0	0	0	Adecuado
15	0	0	0	Adecuado
16	0	0	0	Adecuado
17	0	0	0	Adecuado
18	0	0	0	Adecuado
19	2	2	2	Adecuado
20	2	2	2	Adecuado

**Tabla 6: condición, frecuencia de esfigmomanómetro por error de histéresis**

Condición	frecuencia
Adecuados	20
No adecuados	0
total	20

Según la tabla N°6, ningún esfigmomanómetro de la muestra presenta error de histéresis.

## CONCLUSIONES

- Se determinó el estado de calibración de una muestra de esfigmomanómetros de los diferentes servicios del hospital Nacional Almanzor Aguinaga, EsSalud-Chiclayo encontrándose que el 25% de estos se encuentran de acuerdo al patrón de medida, es decir, están calibrados, y por lo tanto aptos para su uso, el 75% no están calibrados, es decir arrojan medidas con un error superior al permitido.
- El 75 % de esfigmomanómetros de la muestra, presenta errores de calibración de tipo ***error de cero***, es decir, sus medidas están desplazadas uniformemente respecto al valor tomado como verdadero (Anexo III).
- El 100 % de la muestra analizada, no presenta errores de histéresis de acuerdo a la Tabla N° 05.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que el departamento de Ingeniería del Hospital Almanzor Aguinaga Asenjo realice un programa de garantía de calidad para los esfigmomanómetros del hospital debido a que el 75 % están descalibrados algunos de los cuales difieren considerablemente en sus lecturas con respecto al patrón ,realizado por el trabajo de investigación no están con medidas correctas.
- Extender el presente trabajo a otros centros de salud para determinar el estado de sus tensiómetros y de muchos otros instrumentos de medida que estos emplean para de esta forma implementar progresivamente un programa de metrología hospitalaria.
- Dar charlas de metrología al personal técnico de enfermería para el uso de los esfigmomanómetros tipo aneroide cuando deben calibrarse adecuadamente para que puedan tomar medidas correctas.

## **BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA**

1. Ripoles y otros (2014), ¿Son confiables los esfigmomanómetros de mercurio? En proyecto de investigación que tuvo como lugar de desarrolló en el centro de salud urbano Córdoba. Argentina.
2. Sánchez AR (2013) calibración de esfigmomanómetros mecánicos por comparación con un manómetro de columna. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional del Callao.
3. Martínez RS, Rosselló HM, Valle MR, Gámez GM, Cervera RJ (2008) presión arterial: ¿esfigmomanómetro manual o digital? Revista electrónica cuatrimestral de enfermería. Núm.: 13 Junio. Valencia-España.
4. Meza CL, Llamosa RL, Izquierdo N (2007) Diseño de procedimientos para la calibración de indicadores de presión arterial no invasiva. Scientia et Technica Año XIII, No 37, Diciembre. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
5. De La Cruz García Leonardo (2013) Calibración y verificación de esfigmomanómetros. Realizado en el laboratorio de fuerza presión. En el instituto nacional de defensa de la competencia y de la protección de la propiedad intelectual. Servicio nacional de metrología. INDECOPI. Lima-PERU.
6. Ortiz M ,Said Aarón (2005),calibración y mantenimiento de equipo médico de diagnóstico, trabajo de graduación presentado a la junta directiva de la facultad de ingeniería mecánica UNIVERSIDAD de san Carlos de Guatemala.
7. Corzo M, Ana Cristina (2005), diagnóstico metrológico a instrumentos de medición de la presión arterial (esfigmomanómetros) utilizados en el hospital Roosevelt, mediante la utilización del protocolo de verificación recomendación OIML R 16-1.proyecto de investigación. Facultad de ingeniería.; escuela de ingeniería química. Noviembre- UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
8. Jáuregui (2013).”Esfigmómetros calibrados y de calibración desconocida usados en instituciones de salud: comparación e valores de presión arterial para apreciar la confiabilidad de las mediciones en pacientes” UNIVERSIDAD abierta interamericana, facultad de medicina y ciencias de la salud. Sedé regional Rosario. Argentina.

9. Pita FS Y Pértigas DS (2004), INVESTIGACION: análisis de concordancia para variable numérica, unidad de epidemiología clínica y bioestadística. Complejo hospitalario universitario Juan Canalejo. ESPAÑA.
10. Curí MP, Lara EA, Ortiz SG, De La Cabada TE, Castro AP, Vital CO y García TH (2007), manual de calibración y mantenimiento de esfigmomanómetros. Subsecretaría de prevención y promoción de la salud centro nacional de vigilancia epidemiológica y control de enfermedades. Programa de salud del adulto y del anciano. Estados unidos-mexicanos.
11. En el 2005 el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) elabora una guía de cómo proceder en la verificación de esfigmomanómetros mecánicas no invasivos. San Isidro, lima-Perú.
12. Cerrillo GA y Serrano DJ (2015), “PROTOTIPO DE ESFIGMOMANOMETROS DIGITAL CONTROLADO CON DISPOSITIVOS ANDROID”, escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica-unidad profesional Adolfo López mateos-INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL.MEXICO.
13. COLIMA, método de verificación para esfigmomanómetros mercuriales y aneroides. Late para todos-manual .Servicio de salud del estado de colima. MEXICO.
14. Intemational Organization of Legal Metrology (2002), *Noninvasive mechanical sphygmomanometers*. Obtenido de <http://www.oiml.org> (OIMLR 16-1).Paris - FRANCIA.



**ANEXOS**

# **ANEXO I: TÉRMINOS Y CONCEPTOS ASOCIADOS A LA CALIBRACIÓN**

### ***Patrón***

Muestra de magnitud de una característica en relación certificada con el patrón internacional, acreditada para calibrar MIC, según las competencias de la clase de precisión a la cual pertenece.

### ***Trazabilidad***

Cadena ininterrumpida de calibraciones registradas, que aseguran la conexión entre un MIC y el patrón de la unidad de reconocimiento internacional para la característica a medir.

### ***Calibrar***

Registrar y procesar y contrastar la información de salida de un MIC, en varios puntos a lo largo de su escala, con el valor de confianza de un patrón (o combinaciones de patrones) que tiene(n) la trazabilidad certificada, con el fin de evaluar su incertidumbre.

### ***Incertidumbre***

Banda estrecha, con posición simétrica respecto al valor de salida de un MIC, dentro de la cual la probabilidad (p) de encontrar el valor verdadero de la magnitud medida, es superior al valor límite, que corresponde a la clase de cobertura propuesta.

Para  $k = 2$   $p > 95 \%$

### ***Resultado de la calibración***

Representación gráfica de la relación matemática existente entre los valores indicados por el instrumento o el sistema sometido a la calibración y el valor certificado del patrón de referencia, implicado como mesurando.

### ***Ajuste de un instrumento***

Acción de mejora que consiste en modificar mediante componentes físicos o mediante programas el resultado de salida de un instrumento, con el fin de compensar la curva de calibración. Así se eliminan los errores sistemáticos.

## **Términos y conceptos asociados a un instrumento**

### ***Estabilidad***

Capacidad de un instrumento de medida de conservar sus características metrológicas en el tiempo.

### ***Mantenibilidad***

Expresa la probabilidad de que, bajo las condiciones establecidas de uso y mantenimiento, el equipo conserve su capacidad para realizar las funciones requeridas.

## **Conceptos asociados a un proceso de medición**

### ***Repetibilidad***

Término que define el intervalo de incertidumbre de los resultados de la medición repetitiva de un mismo mesurando, bajo las mismas condiciones.

### ***Reproductibilidad***

Término que define el intervalo de incertidumbre de los resultados de la medición repetitiva de un mismo mesurando, bajo condiciones cambiantes.



## **Expresión del resultado**

Cuando la cifra que sigue inmediatamente a la última cifra a conservar es inferior a 5, la última cifra no cambia

Cuando la cifra que sigue inmediatamente a la última cifra a conservar es igual a 5 y está seguida por al menos una cifra diferente de cero, la última cifra a conservar se aumenta en una unidad; pero si no está seguida por ninguna otra cifra o si solamente está seguida por ceros, la última cifra a conservar no cambia si es par, y aumenta en una unidad si es impar.

Cuando la cifra que sigue inmediatamente a la última cifra a conservar es superior a 5, la última cifra aumenta en uno.

El redondeo no debe realizarse en varias etapas, sino solamente una vez.

*Ejemplo:* Pasar de cinco decimales a tres

7.90746	-->	7.907
7.90850	-->	7.908
7.90950	-->	7.910
7.99962	-->	8.000

#### Determinación de los Rangos y Magnitudes a Calibrar

El valor de las magnitudes a calibrar son determinadas por el laboratorio de calibración teniendo en cuenta el rango de trabajo del equipo bajo prueba dado por el usuario. El laboratorio puede trabajar en los rangos para la magnitud de presión arterial entre -370 mmHg y 370 mmHg y tiene como política tomar mediciones un punto por debajo del Valor mínimo de trabajo y un punto por encima del Valor máximo de trabajo.

#### 2.4 Verificación de las Condiciones Ambientales

Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa deben ser las apropiadas para que el equipo patrón proporcione medidas certeras; los rangos para estas condiciones bajo las cuales trabaja el Laboratorio de Metrología– Variables Eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira, son:

Humedad Relativa: De 30% a 75%

Temperatura: De 15 °C a 35 °C

#### 2.5 Diseño del Formato para el Registro de los Datos

Cualquier laboratorio de calibración debe tener diseñado un formato para recolectar los resultados de las calibraciones, dicho formato debe cumplir con los requisitos de la Norma Técnica Colombiana NTC ISO IEC 17025 . El formato de registro que maneja el laboratorio,

contiene la hora y fecha de calibración, los datos de la empresa que solicita la calibración, descripción del equipo que se va a calibrar (nombre, marca, modelo, número de serie), condiciones de temperatura y humedad relativa en que se lleva a cabo la calibración, los datos de calibración (Lecturas del equipo patrón y las lecturas del equipo bajo prueba).

2.6 Calibración: La etapa final del proceso de calibración para un tensiómetro comprende las siguientes tareas:

#### 2.6.1 Información del Registro de Calibración

En el registro de calibración, se debe consignar lo siguiente:

- \* Fecha y hora de la calibración
- \* Información del cliente
- \* Datos del equipo bajo prueba
- \* Condiciones ambientales iniciales y finales bajos las cuales se hizo la calibración
- \* Observaciones que puedan presentarse mientras se realiza la calibración
- \* Responsables tanto de la calibración como de su revisión
- \* Valor de las magnitudes y rangos a calibrar

#### 2.6.2 Montaje de Calibración

El equipo patrón debe conectarse con el tensiómetro como lo indican las instrucciones dadas por el fabricante.

Los laboratorios de calibración deben tener en sus archivos, el instructivo que explique la forma de realizar esta conexión. En la Figura 6 se muestra la forma en que el laboratorio hace el montaje para la calibración de tensiómetros.

#### 2.6.3 Registro de los Datos

Los datos obtenidos de la calibración de un tensiómetro deben consignarse en el formato correspondiente. El Laboratorio realiza tres calibraciones para cada valor de magnitud en el rango calibrado.



Montaje de Calibración para  
Tensiometro Anaeróbico



Montaje de Calibración para  
Tensiometro de Columna de Mercurio

**Fig.Nº06 Montaje de Calibración para diferentes tipos de Tensiómetros**

#### 2.6.4 Certificado de Calibración

Cuando se termina la calibración del equipo bajo prueba, se realiza el certificado de calibración cumpliendo con los requisitos del numeral 5.10 de la Norma Técnica Colombiana NTC ISO IEC 17025 [1], [5], [6], [7], [8].

En la Figura 7 se muestra uno de los certificados de calibración expedidos por el Laboratorio de Metrología – Variables Eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira

#### 2.6.5 Estampilla

Al finalizar la calibración, el laboratorio expide una estampilla con el número del certificado, la fecha y la firma del director del laboratorio. En la Figura 8 se muestra la estampilla expedida por el laboratorio para dicha calibración.



**Fig.Nº08: Certificado de Calibración Expedido por el Laboratorio de Metrología – Variables Eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira.**

**ANEXO II: IDENTIFICACIÓN DE LOS  
ESFIGMOMANOMETROS  
UTILIZADOS Y MEDIDAS  
OBTENIDAS**



## REGISTRÓ PARA VERIFICACION INICIAL

Nº	Marca	Unidad de medida	Modelo	Nº Serie	Procedencia	Alcance	División de escala	Tipo
1	B &C (Germany)	mmHg	Analógico	0483	Gastrología	300	2mmHg	Aneroide
2	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	14582847	Neumología	300	2mmHg	Aneroide
3	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	0123	Geriatría	300	2mmHg	Aneroide
4	INDEX (Germany)	mmHg	Analógico	531050	Pediatría	300	2mmHg	Aneroide
5	B &C (Germany)	mmHg	Analógico	13405474	Tomografía	300	2mmHg	Aneroide
6	B &C (Germany)	mmHg	Analógico	0123	Tomografía	300	2mmHg	Aneroide
7	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	15602645	Rayos X	300	2mmHg	Aneroide
8	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	12290074	Ceprit	300	2mmHg	Aneroide
9	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	15603455	Gastrología	300	2mmHg	Aneroide
10	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	14568032	Neurología	300	2mmHg	Aneroide
11	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	15603613	Enfermería	300	2mmHg	Aneroide
12	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	15602280	Cardiología	300	2mmHg	Aneroide
13	RIESTER (Germany)	mmHg	Analógico	09103049	Diálisis peritoneal	300	2mmHg	Aneroide

14	ADCUFF (Americana)	mmHg	Analógico	14554218	Diálisis peritoneal	300	2mmHg	Aneroide
15	RIESTER (Germany)	mmHg	Analógico	161120783	Neurocirugía	300	2mmHg	Aneroide
16	RIESTER (Germany)	mmHg	Analógico	091182346	Neurocirugía	300	2mmHg	Aneroide
17	RIESTER (Germany)	mmHg	Analógico	161120835	Cardiología	300	2mmHg	Aneroide
18	RIESTER (Germany)	mmHg	Analógico	170723822	Cardiología	300	2mmHg	Aneroide
19	RIESTER (Germany)	mmHg	Analógico	161120788	Traumatología	300	2mmHg	Aneroide
20	RIESTER (Germany)	mmHg	Analógico	161120814	Traumatología	300	2mmHg	Aneroide

Patrón utilizado	FUERZA Y PRESION
Certificado de calibración	Laboratorio de Fuerza y Presión
Incertidumbre	$K=2$ ; $p > 95\%$

Fuente (propio del investigador)

Tabla N°05. Procedencia y otras características de los esfigmomanómetros que forman la muestra.

ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÁXIMO ERROR DE INDICACION Y PARA LA DETERMINACION DEL ERROR DE  
HISTERÉISIS

Esfigmomanómetro 1				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A  VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	186	188	186	188
200	186	188	186	188
200	186	188	186	188
200	186	188	186	188

Esfigmomanómetro 2				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A  VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	208	210	210	210
200	210	210	210	210
200	210	210	210	210
200	210	210	210	210

Tabla N° 06 : Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).

Esfigmomanómetro 3				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	196	196	196	196
200	196	196	196	196
200	196	194	196	194
200	196	194	196	194

Esfigmomanómetro 4				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	202	204	204	202
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación)

Esfigmomanómetro 5				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Esfigmomanómetro 6				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	202	204	204	204
200	202	204	204	204
200	202	204	204	204
200	202	204	204	204

Tabla N° 06 : Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).

Esfigmomanómetro 7				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	204	204	204	204
00	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Esfigmomanómetro 8				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).

Esfigmomanómetro 9				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A  VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	200	200	200	200
200	200	200	200	200
200	200	200	200	200
200	200	200	200	200

Esfigmomanómetro 10				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A  VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).

Esfigmomanómetro 11				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Esfigmomanómetro 12				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	202	202	202	202
200	202	202	202	202
200	202	202	202	202
200	202	202	202	202

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).



Esfigmomanómetro 13				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	200	200	200	200
200	200	200	200	200
200	200	200	200	200
200	200	200	200	200

Esfigmomanómetro 14				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).

Esfigmomanómetro 15				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204
200	204	204	204	204

Esfigmomanómetro 16				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	188	188	188	188
200	188	188	188	188
200	188	188	188	188
200	188	188	188	188

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).

Esfigmomanómetro 17				
INDICACION  DEL  PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A  VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSESO	ESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	190	190	190	190
200	190	190	190	190
200	190	190	190	190
200	190	190	190	190

Esfigmomanómetro 18				
INDICACION  DEL  PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A  VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	192	192	192	192
200	192	192	192	192
200	192	192	192	192
200	192	192	192	192

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación (continuación).

Esfigmomanómetro 19				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	202	204	202	204
200	202	204	202	204
200	202	204	202	204
200	202	204	202	204

Esfigmomanómetro 20				
INDICACION DEL PATRON	INDICACION DE INSTRUMENTO A VERIFICAR			
	SERIE 1		SERIE 2	
	ASCENSO	DESCENSO	ASCENSO	DESCENSO
(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)	(mmHg)
200	200	198	200	198
200	200	198	200	198
200	200	198	200	198
200	200	198	200	198

Tabla N° 06: Datos obtenidos para la determinación del error de indicación.

# ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE FUGA DE AIRE DEL SISTEMA NEUMATICO

Esfigmomanómetro 1	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	40
60	50
70	60
80	70
90	80
100	90

Esfigmomanómetro 2	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104

Esfigmomanómetro 3	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	48
60	58
70	68
80	78
90	88
100	98

Tabla N° 07: Determinación de fuga de aire del sistema neumático (continuación).

Esfigmomanómetro 4	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	52
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104

Esfigmomanómetro 5	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104

Esfigmomanómetro 6	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	56
60	66
70	76
80	86
90	96
100	106

Tabla N° 07: Determinación de fuga de aire del sistema neumático (continuación).

Esfigmomanómetro 7	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104

Esfigmomanómetro 8	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	56
60	66
70	76
80	86
90	96
100	106

Esfigmomanómetro 9	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	50
60	60
70	70
80	80
90	90
100	100

Tabla N° 07: Determinación de fuga de aire del sistema neumático (continuación).

Esfigmomanómetro 10	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104

Esfigmomanómetro 11	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	56
60	66
70	76
80	86
90	96
100	106

Esfigmomanómetro 12	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104

Tabla N° 07: Determinación de fuga de aire del sistema neumático (continuación).



Esfigmomanómetro 13	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	50
60	60
70	70
80	80
90	90
100	100

Esfigmomanómetro 14	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104

Esfigmomanómetro 15	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	52
60	62
70	72
80	82
90	92
100	102

Tabla N° 07: Determinación de fuga de aire del sistema neumático (continuación).

Esfigmomanómetro 16	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	38
60	48
70	58
80	68
90	78
100	88

Esfigmomanómetro 17	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	40
60	50
70	60
80	70
90	80
100	90

Esfigmomanómetro 18	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	40
60	50
70	60
80	70
90	80
100	90

Tabla N° 07: Determinación de fuga de aire del sistema neumático (continuación).

Esfigmomanómetro 19	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	52
60	62
70	72
80	82
90	92
100	102

Esfigmomanómetro 20	
INDICACION INICIAL	INDICACION DESPUES DE 0 MINUTOS
Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
50	48
60	58
70	68
80	78
90	88
100	98

Tabla N° 07: Determinación de fuga de aire del sistema neumático.

## ERRORES DE CALIBRACION ENCONTRADOS

Esfigmomanómetro 1		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	60
2	70	60
3	70	60
4	80	70
5	80	70
6	80	70
7	90	80
8	90	80
9	90	80
10	110	100
11	110	100
12	110	100
13	120	110
14	120	110
15	120	110

Esfigmomanómetro 2		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	124
14	120	124
15	120	124

Esfigmomanómetro 3		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	58
2	70	60
3	70	60
4	80	68
5	80	68
6	80	68
7	90	78
8	90	78
9	90	78
10	110	100
11	110	100
12	110	100
13	120	110
14	120	110
15	120	110

Tabla Nº 08: Errores de calibración encontrados (continuación).

Esfigmomanómetro 4		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	124
14	120	124
15	120	124

Esfigmomanómetro 5		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	124
14	120	124
15	120	124

Esfigmomanómetro 6		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	126
14	120	126
15	120	126

Tabla N° 08: Errores de calibración encontrados (continuación).

Esfigmomanómetro 7		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	126
14	120	126
15	120	126

Esfigmomanómetro 8		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	124
14	120	124
15	120	124

Esfigmomanómetro 9		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	70
2	70	70
3	70	70
4	80	80
5	80	80
6	80	80
7	90	90
8	90	90
9	90	90
10	110	110
11	110	110
12	110	110
13	120	120
14	120	120
15	120	120

Tabla Nº 08: Errores de calibración encontrados (continuación).

Esfigmomanómetro 10		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	124
14	120	124
15	120	124

Esfigmomanómetro 11		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	76
2	70	76
3	70	76
4	80	86
5	80	86
6	80	86
7	90	96
8	90	96
9	90	96
10	110	116
11	110	116
12	110	116
13	120	126
14	120	126
15	120	126

Esfigmomanómetro 12		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	74
2	70	74
3	70	74
4	80	84
5	80	84
6	80	84
7	90	94
8	90	94
9	90	94
10	110	114
11	110	114
12	110	114
13	120	124
14	120	124
15	120	124

Tabla N° 08: Errores de calibración encontrados (continuación).

Esfigmomanómetro 13		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	68
2	70	68
3	70	68
4	80	78
5	80	78
6	80	78
7	90	88
8	90	88
9	90	88
10	110	108
11	110	108
12	110	108
13	120	120
14	120	120
15	120	120

Esfigmomanómetro 14		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	72
2	70	72
3	70	72
4	80	82
5	80	82
6	80	82
7	90	92
8	90	92
9	90	92
10	110	112
11	110	112
12	110	112
13	120	122
14	120	122
15	120	122

Esfigmomanómetro 15		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	72
2	70	72
3	70	72
4	80	82
5	80	82
6	80	82
7	90	92
8	90	92
9	90	92
10	110	112
11	110	112
12	110	112
13	120	122
14	120	122
15	120	122

Tabla Nº 08: Errores de calibración encontrados (continuación).



Esfigmomanómetro 16		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	58
2	70	58
3	70	58
4	80	68
5	80	68
6	80	68
7	90	78
8	90	78
9	90	78
10	110	98
11	110	98
12	110	98
13	120	108
14	120	108
15	120	108

Esfigmomanómetro 17		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	60
2	70	60
3	70	60
4	80	70
5	80	70
6	80	70
7	90	80
8	90	80
9	90	80
10	110	100
11	110	100
12	110	100
13	120	110
14	120	110
15	120	110

Esfigmomanómetro 18		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	60
2	70	60
3	70	60
4	80	70
5	80	70
6	80	70
7	90	80
8	90	80
9	90	80
10	110	100
11	110	100
12	110	100
13	120	110
14	120	110
15	120	110

Tabla N° 08: Errores de calibración encontrados (continuación).

Esfigmomanómetro 19		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
	70	70
2	70	70
3	70	70
4	80	82
5	80	82
6	80	82
7	90	90
8	90	90
9	90	90
10	110	112
11	110	112
12	110	112
13	120	122
14	120	122
15	120	122

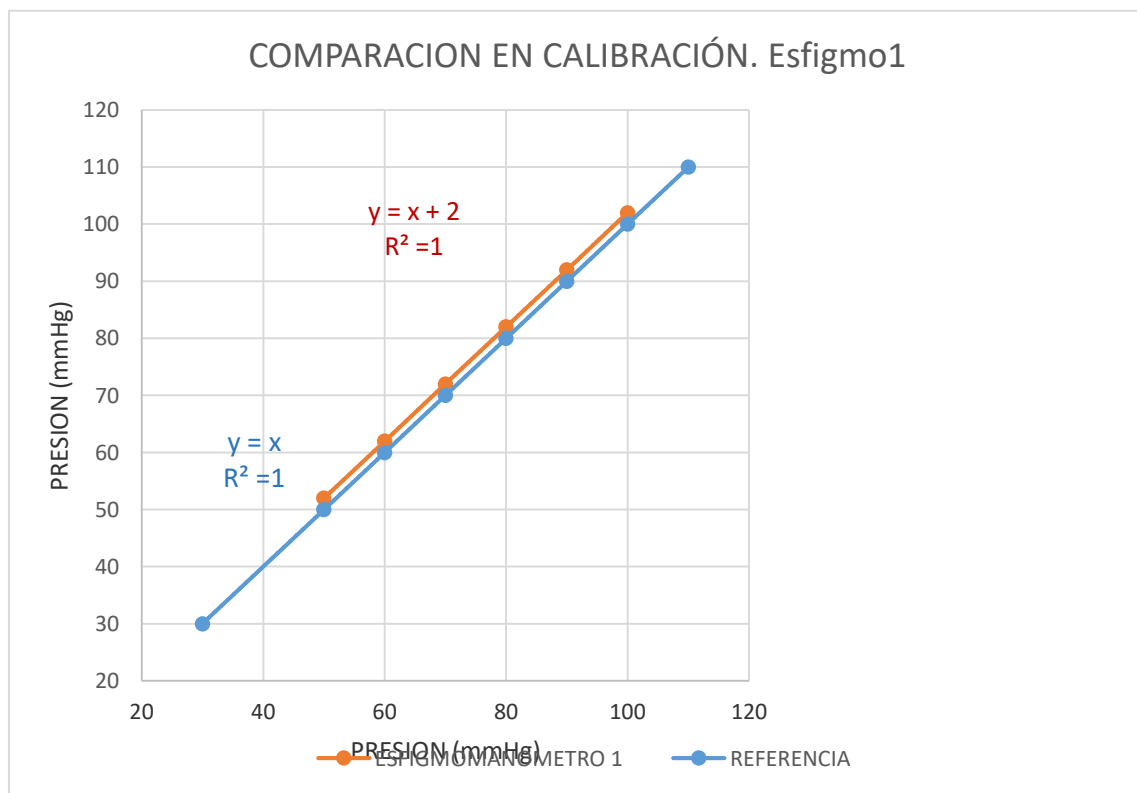
Esfigmomanómetro 20		
Nº	Patrón (mmHg)	Referencia (mmHg)
1	70	68
2	70	68
3	70	68
4	80	78
5	80	78
6	80	78
7	90	88
8	90	88
9	90	88
10	110	108
11	110	108
12	110	108
13	120	118
14	120	118
15	120	118

Tabla N° 08: Errores de calibración encontrados.

**ANEXO III: GRÁFICAS DE  
ERRORES DE CALIBRACIÓN  
ENCONTRADOS**

## GRÁFICAS DE TIPO DE ERROR CERO DE CALIBRACIÓN ENCONTRADOS

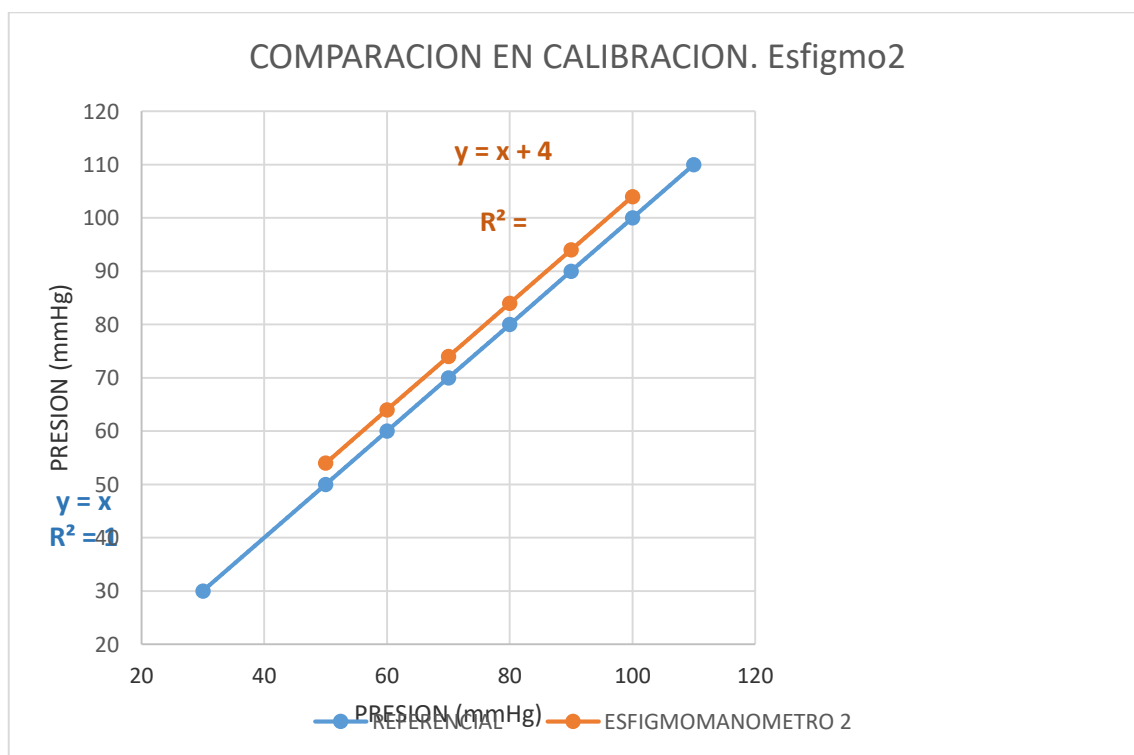
PATRÓN (mmHg)	ESFIG1 (aneroide) (mmHg)
30	
50	52
60	62
70	72
80	82
90	92
100	102
110	112



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfica de error cero

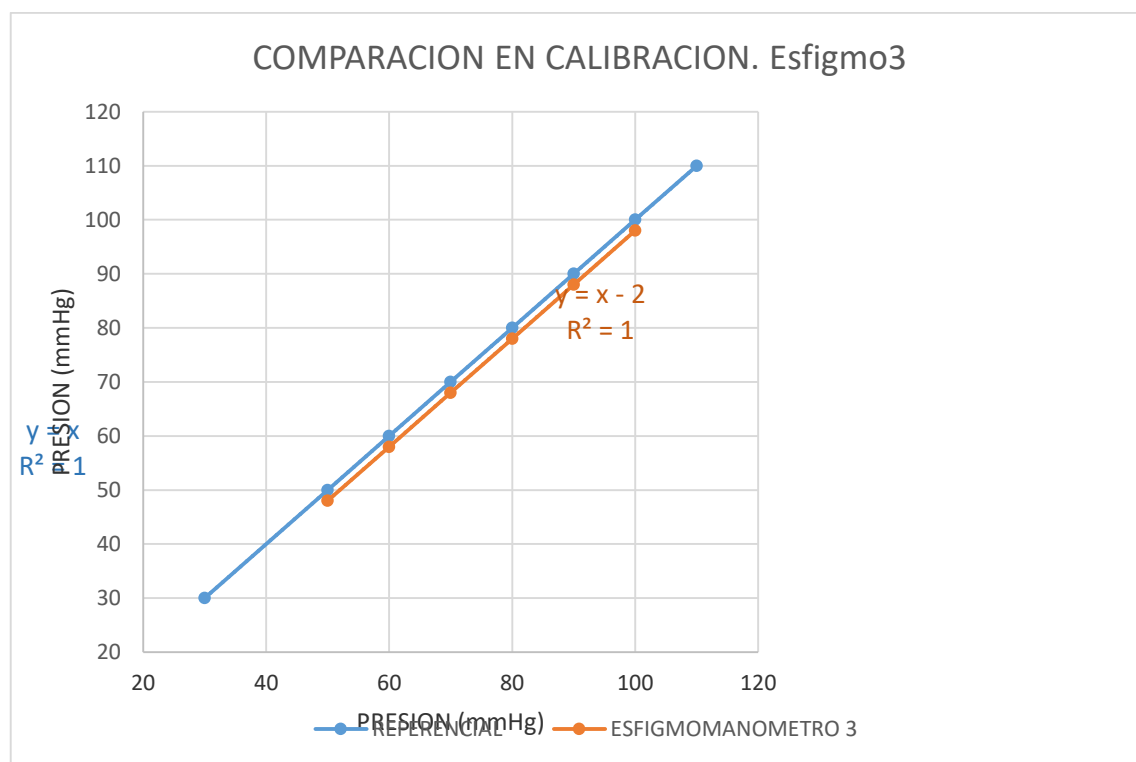
PATRON (mmHg)	ESFIG2 (aneroide) (mmHg)
30	
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104
110	114



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

## Datos y gráfica de error cero

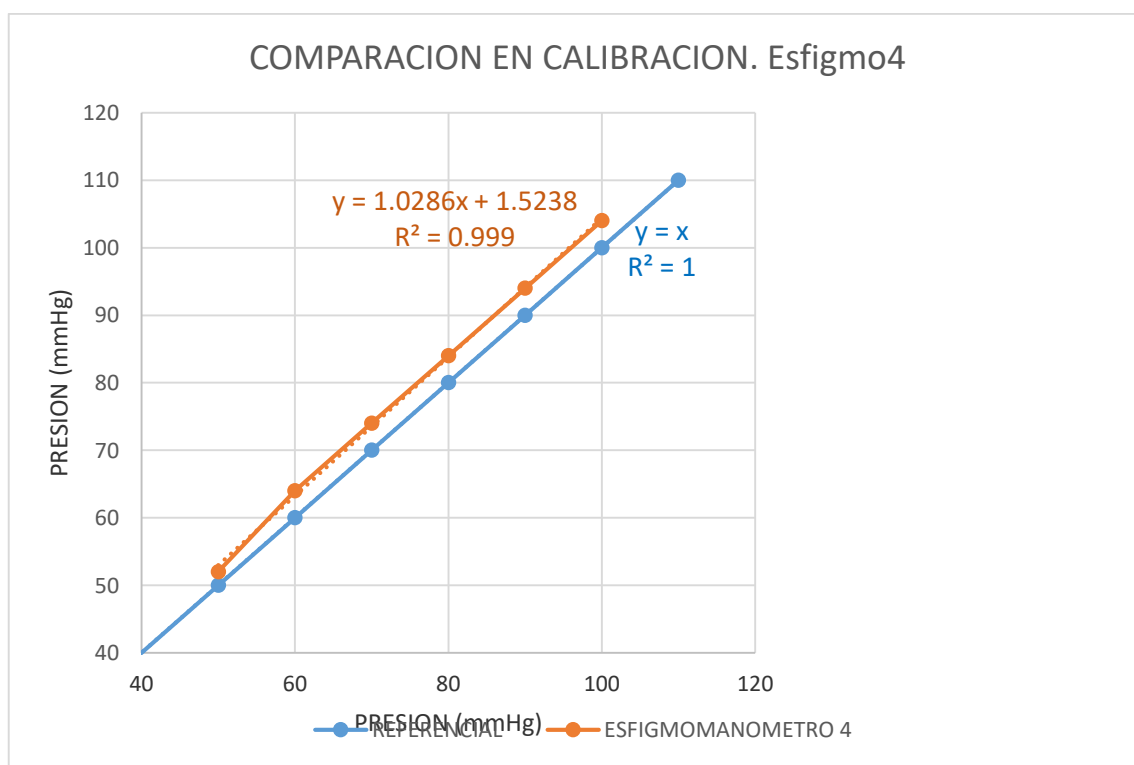
PATRÓN (mmHg)	ESFIG3 (aneroide) (mmHg)
30	
50	48
60	58
70	68
80	78
90	88
100	98
110	118



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfica de error cero

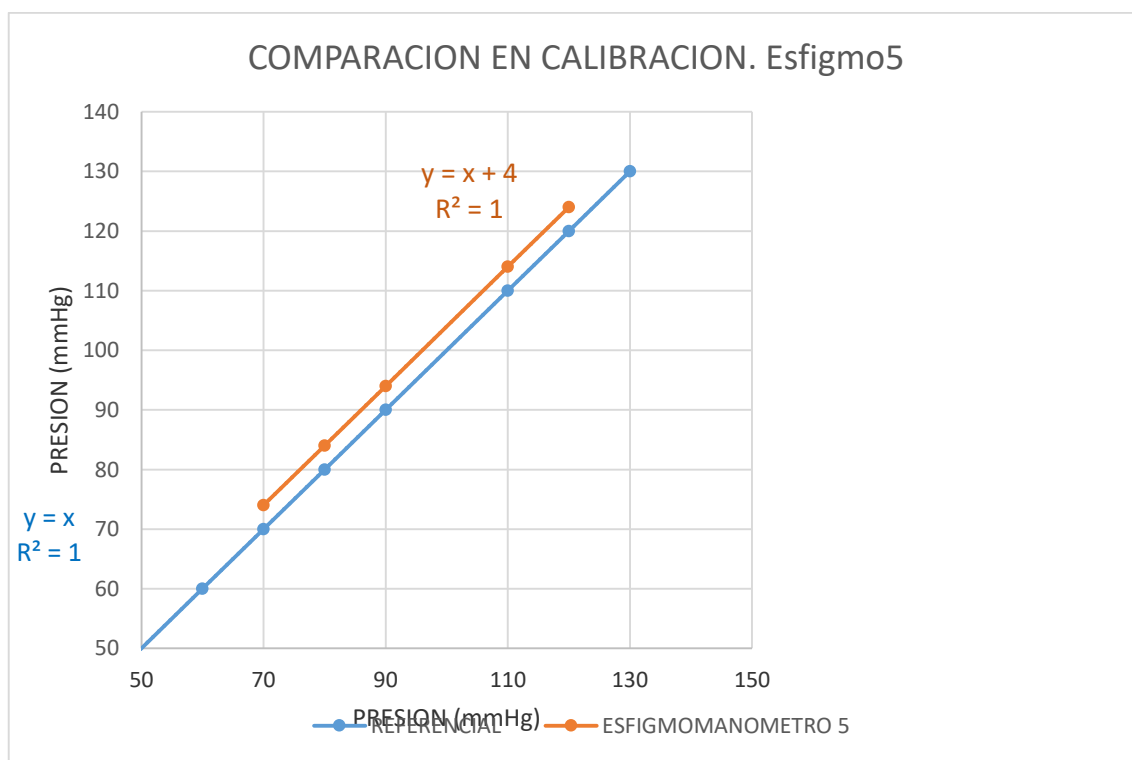
PATRÓN (mmHg)	ESFIG4 (aneroide) (mmHg)
10	
50	52
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104
110	114



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

## Datos y gráfica de error cero

PATRÓN (mmHg)	ESFIG5 (aneroide) (mmHg)
10	
40	44
60	64
70	74
80	84
90	94
110	114
120	124
130	134

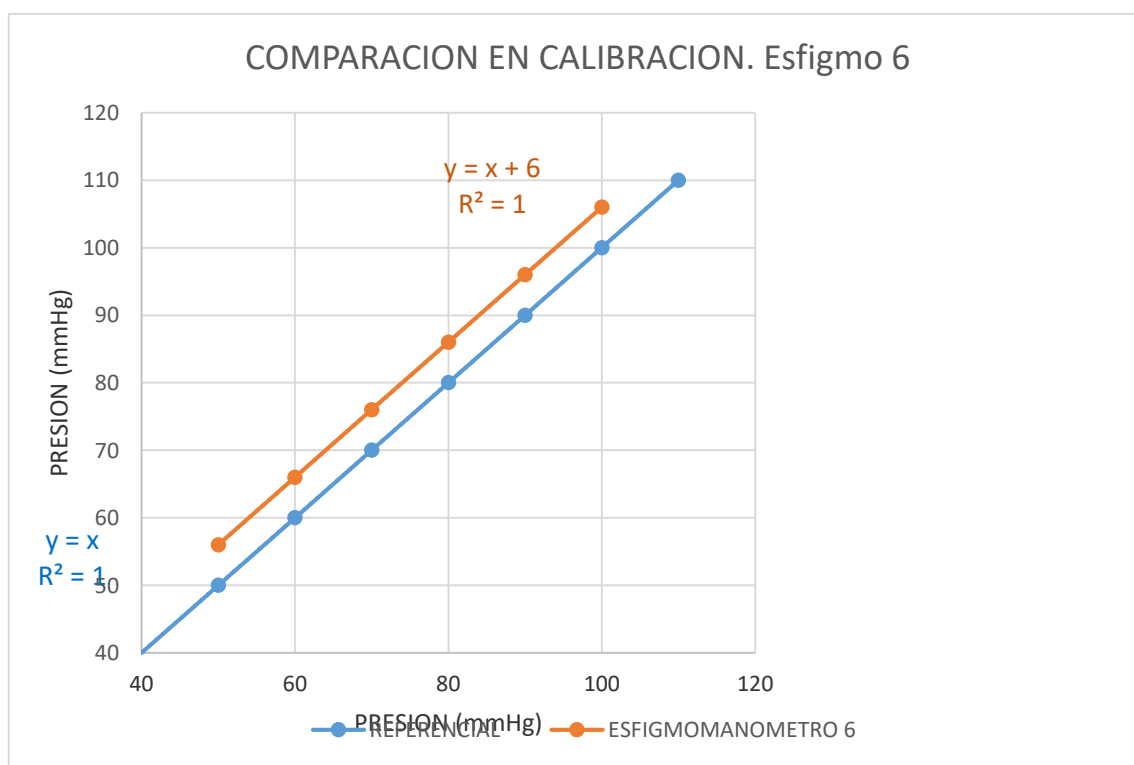


Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).



### Datos y gráfico de error cero

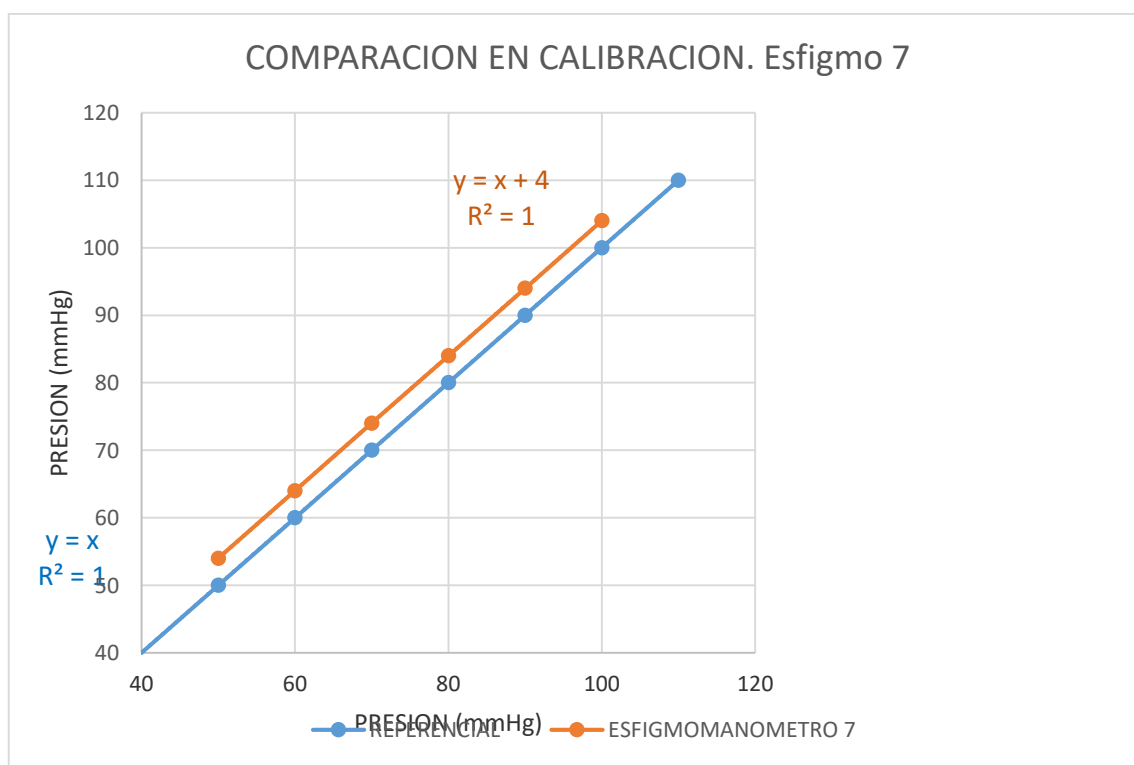
PATRÓN (mmHg)	ESFIG6 (aneroide) (mmHg)
10	
50	56
60	66
70	76
80	86
90	96
100	106
110	116



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

# Datos y gráfico de error cero

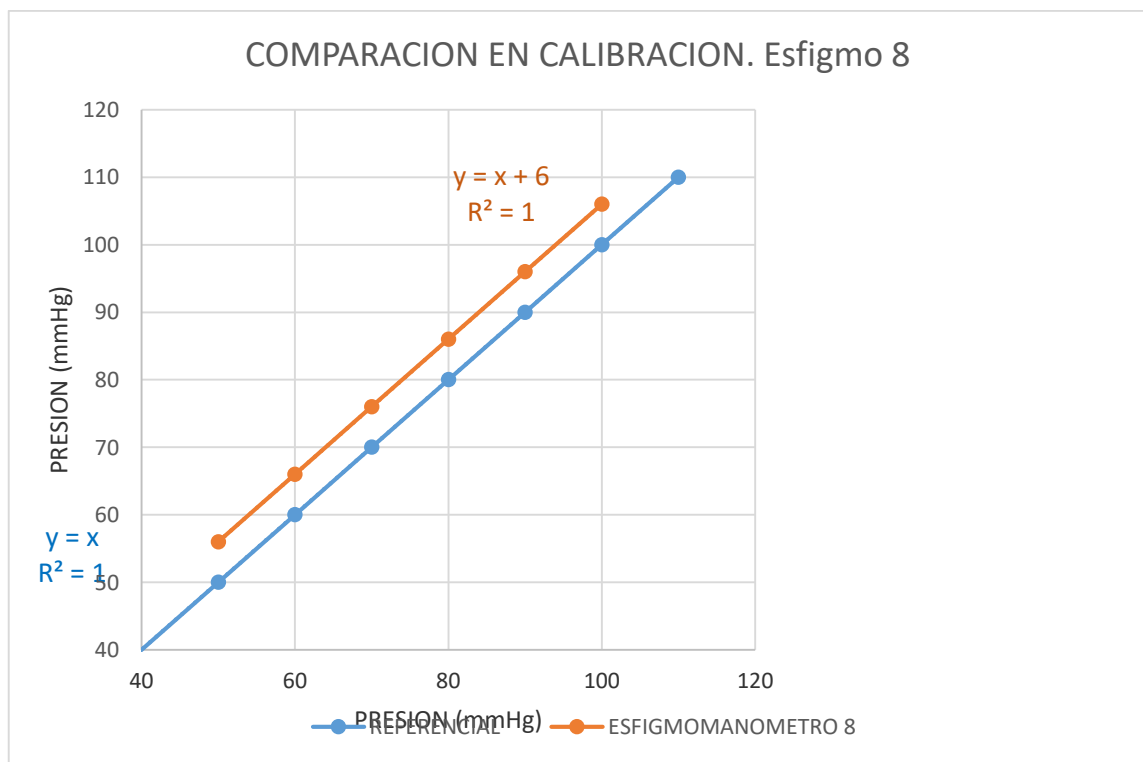
PATRÓN (mmHg)	ESFIG7 (aneroide) (mmHg)
10	
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104
110	114



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

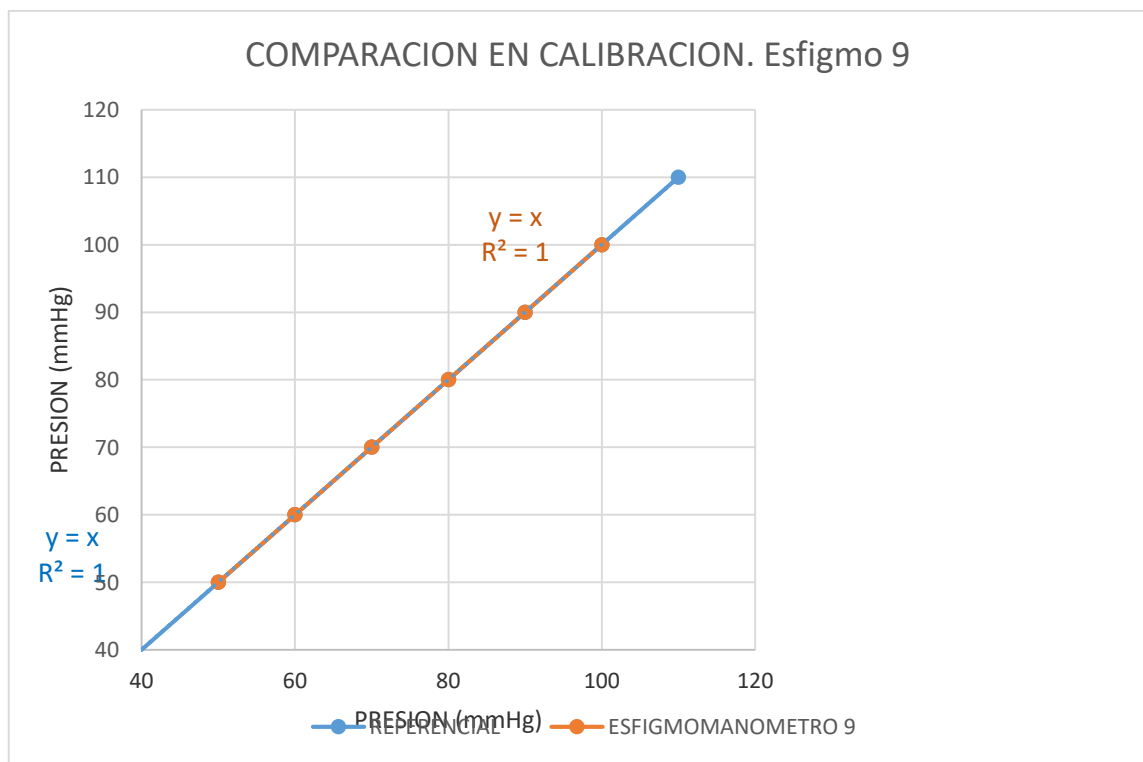
PATRÓN (mmHg)	ESFIG8 (aneroide) (mmHg)
10	
50	56
60	66
70	76
80	86
90	96
100	106
110	116



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

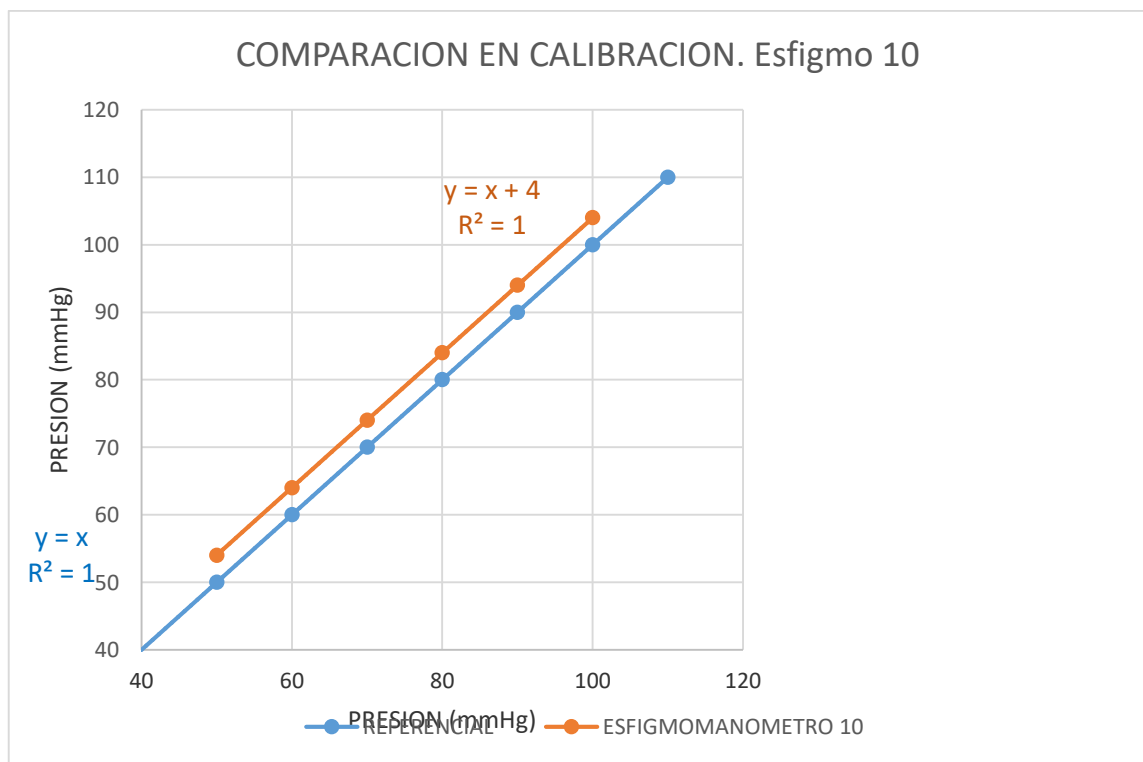
PATRÓN (mmHg)	ESFIG9 (aneroide) (mmHg)
10	
50	50
60	60
70	70
80	80
90	90
100	100
110	110



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

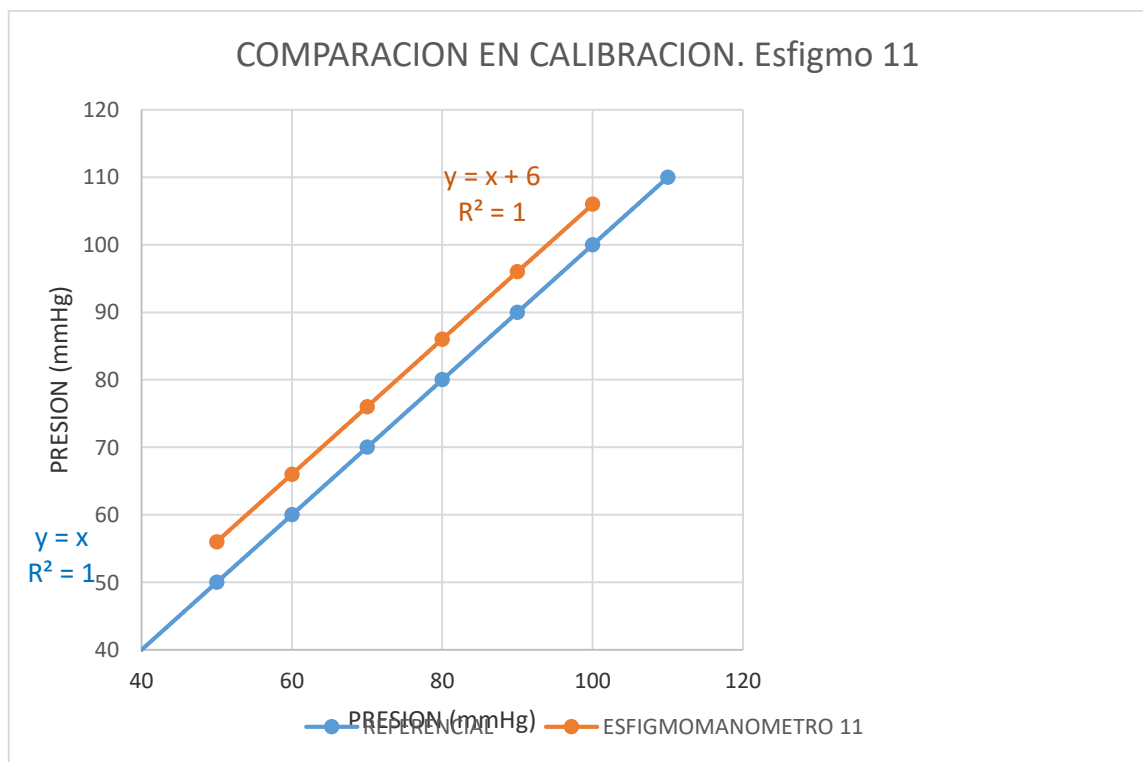
PATRÓN (mmHg)	ESFG10 (aneroide) (mmHg)
10	
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104
110	114



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

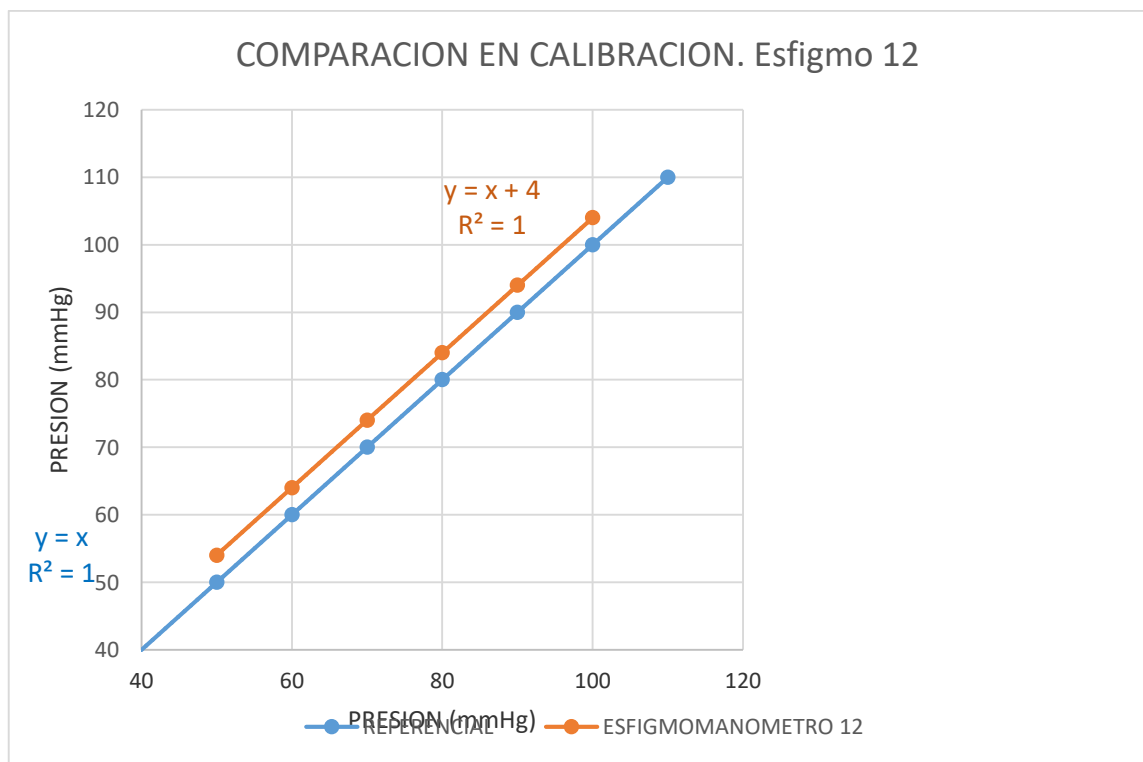
PATRÓN (mmHg)	ESFG11 (aneroide) (mmHg)
10	
50	56
60	66
70	76
80	86
90	96
100	106
110	116



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

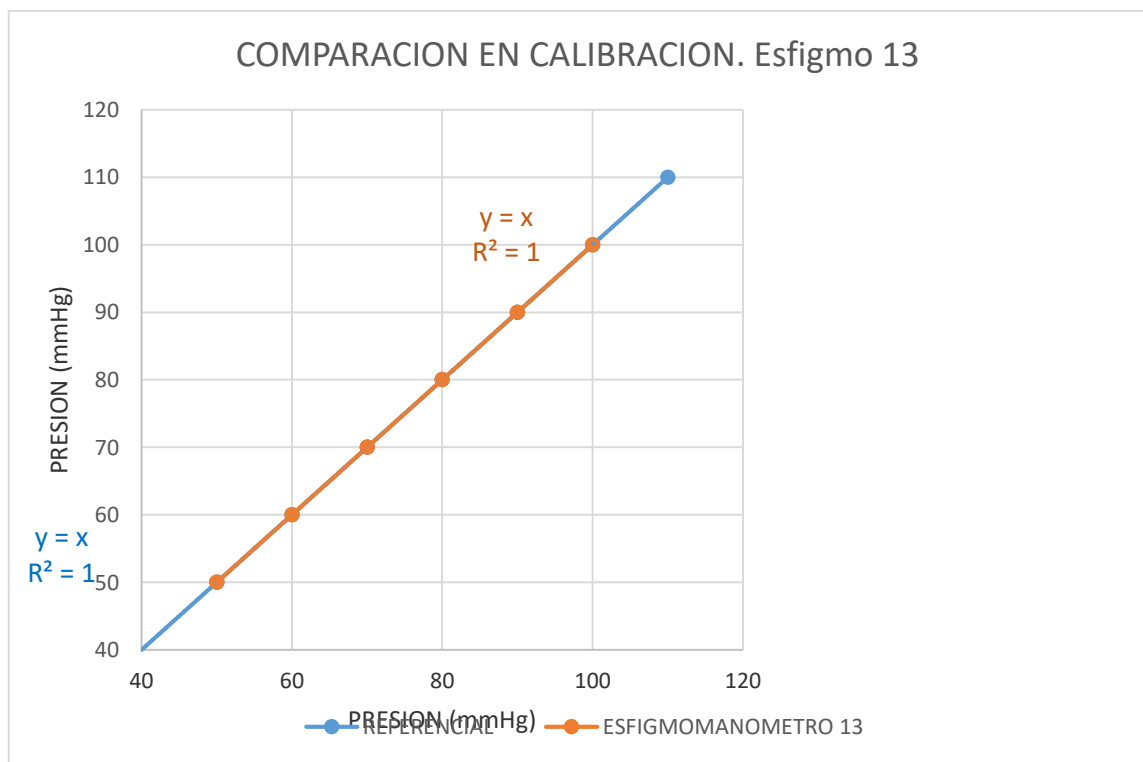
PATRÓN (mmHg)	ESFG12 (aneroide) (mmHg)
10	
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104
110	114



Gráfica N° 12.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

PATRÓN (mmHg)	ESFG13 (aneroide) (mmHg)
10	
50	50
60	60
70	70
80	80
90	90
100	100
110	110

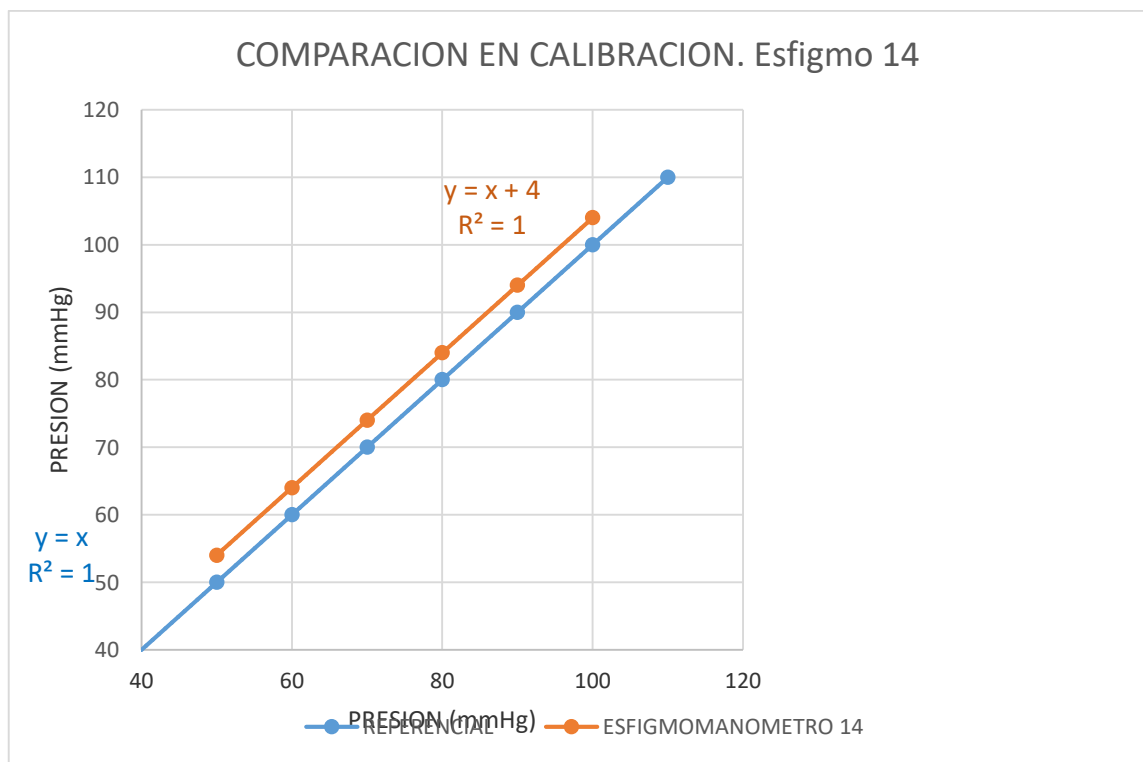


Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).



### Datos y gráfico de error cero

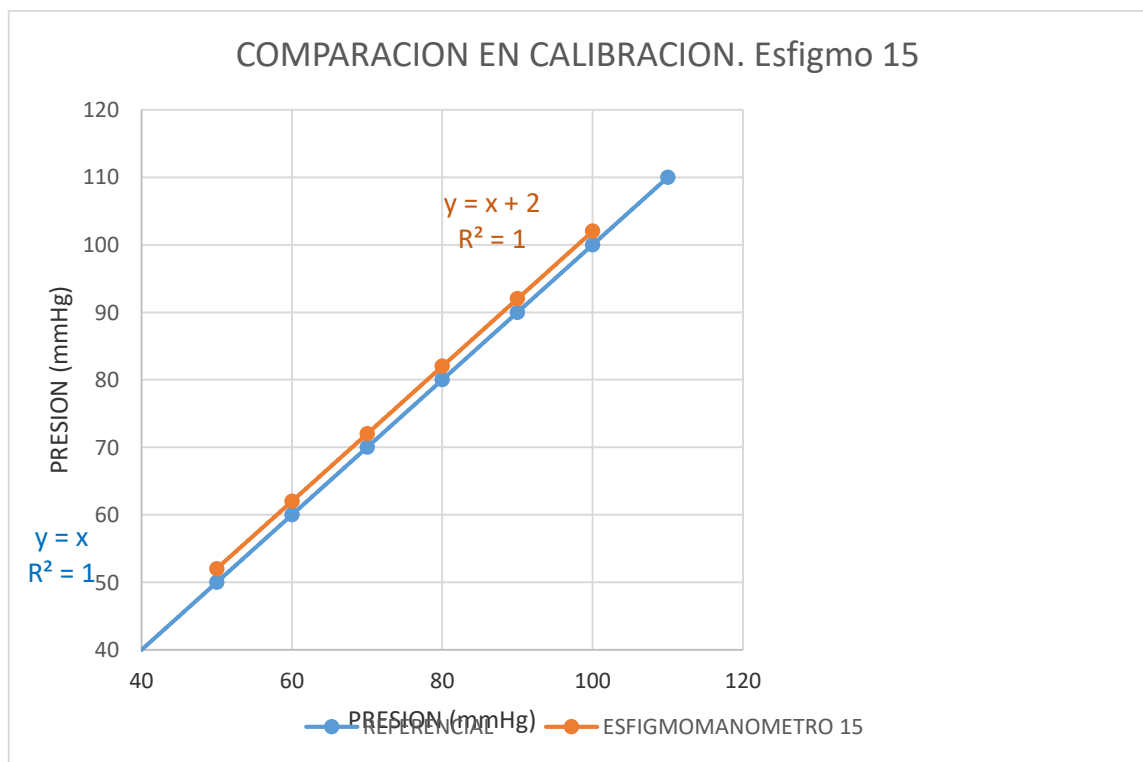
PATRÓN (mmHg)	ESFG14 (aneroide) (mmHg)
10	
50	54
60	64
70	74
80	84
90	94
100	104
110	



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

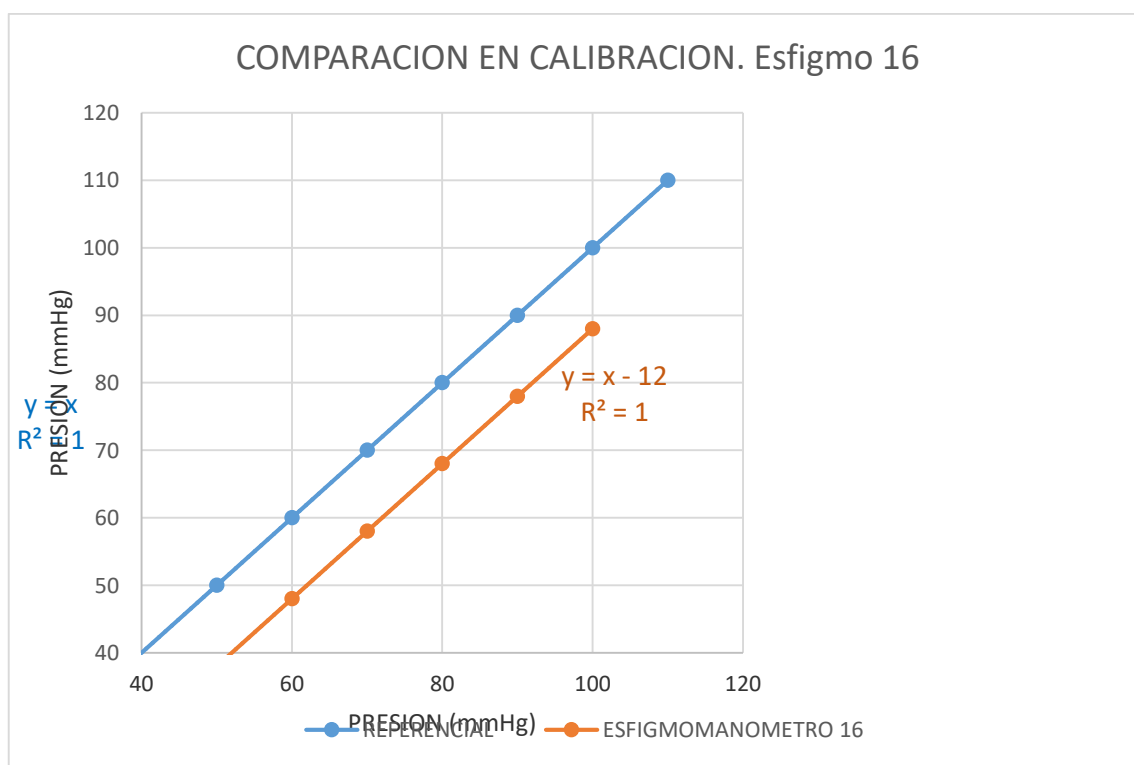
PATRÓN (mmHg)	ESFG15 (aneroide) (mmHg)
10	
50	52
60	62
70	72
80	82
90	92
100	102
110	



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

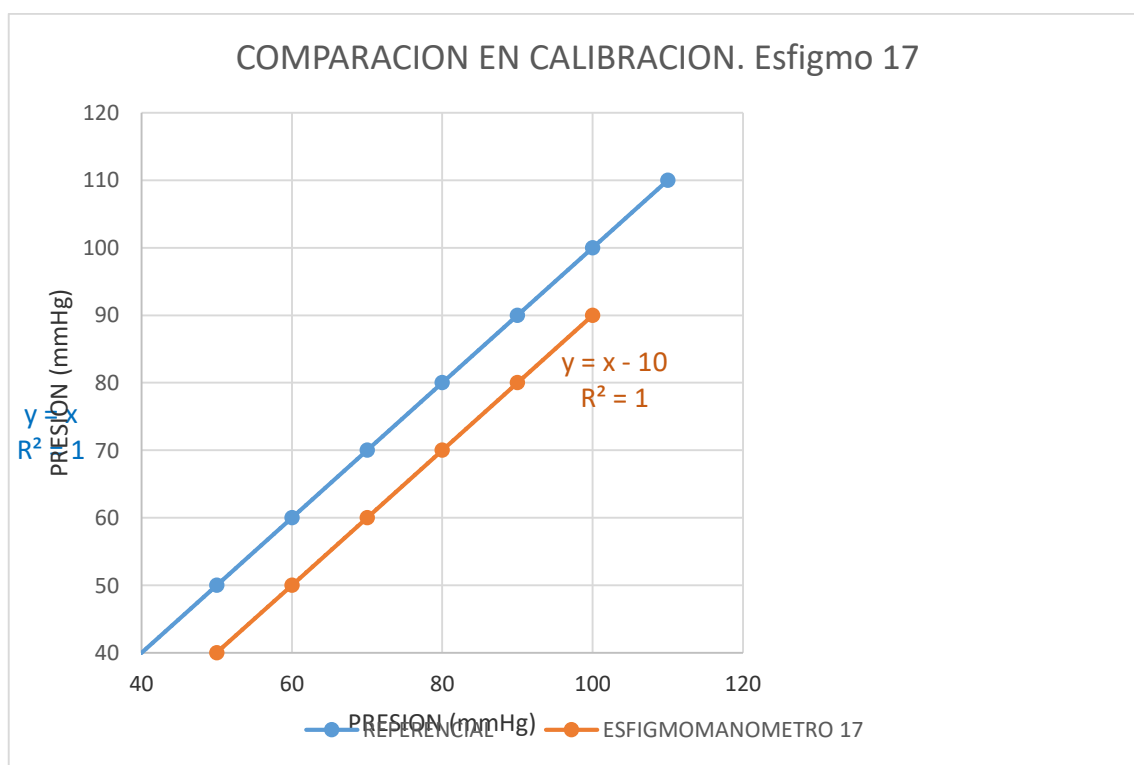
PATRÓN (mmHg)	ESFG16 (aneroide) (mmHg)
10	
50	38
60	48
70	58
80	68
90	78
100	88
110	



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

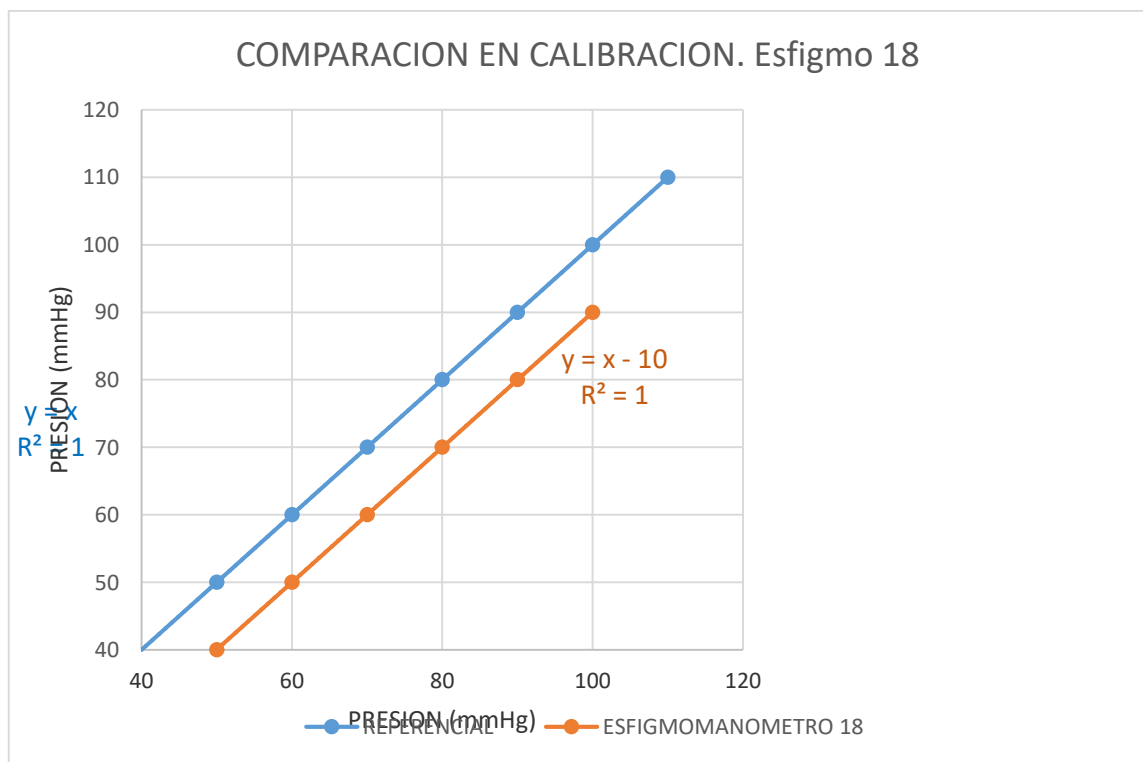
PATRÓN (mmHg)	ESFG17 (aneroide) (mmHg)
10	
50	40
60	50
70	60
80	70
90	80
100	90
110	



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

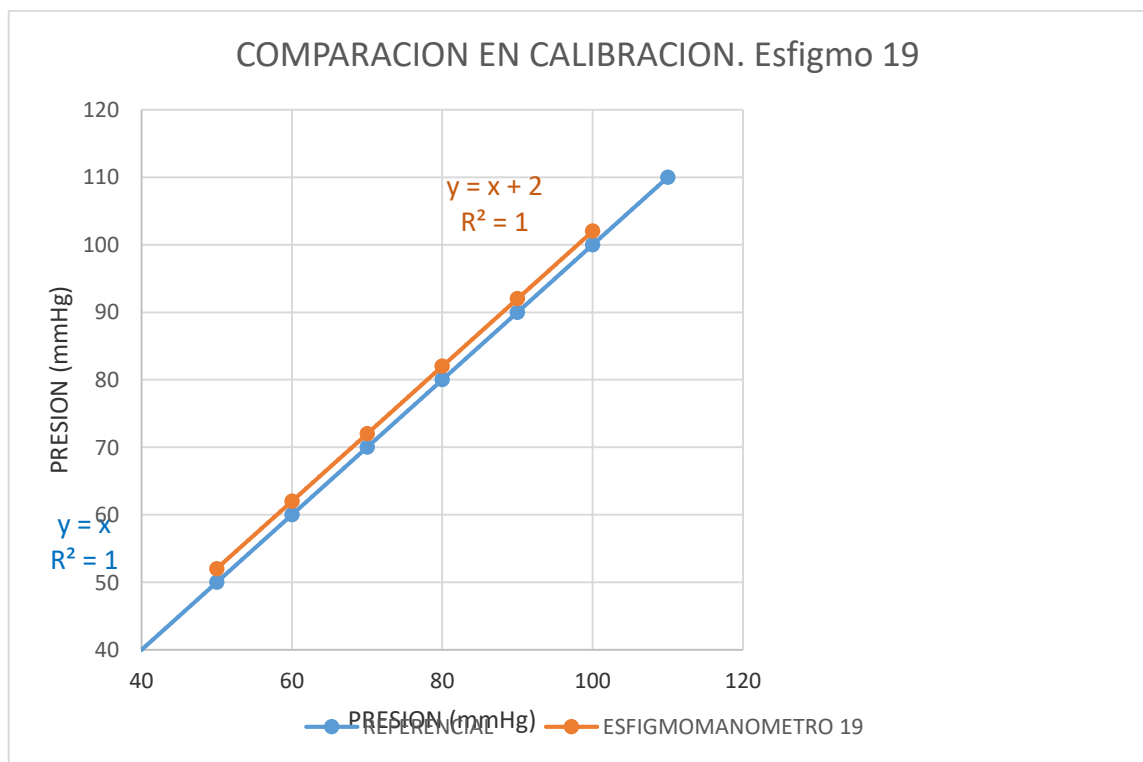
PATRÓN (mmHg)	ESFG18 (aneroide) (mmHg)
10	
50	40
60	50
70	60
80	70
90	80
100	90
110	



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

### Datos y gráfico de error cero

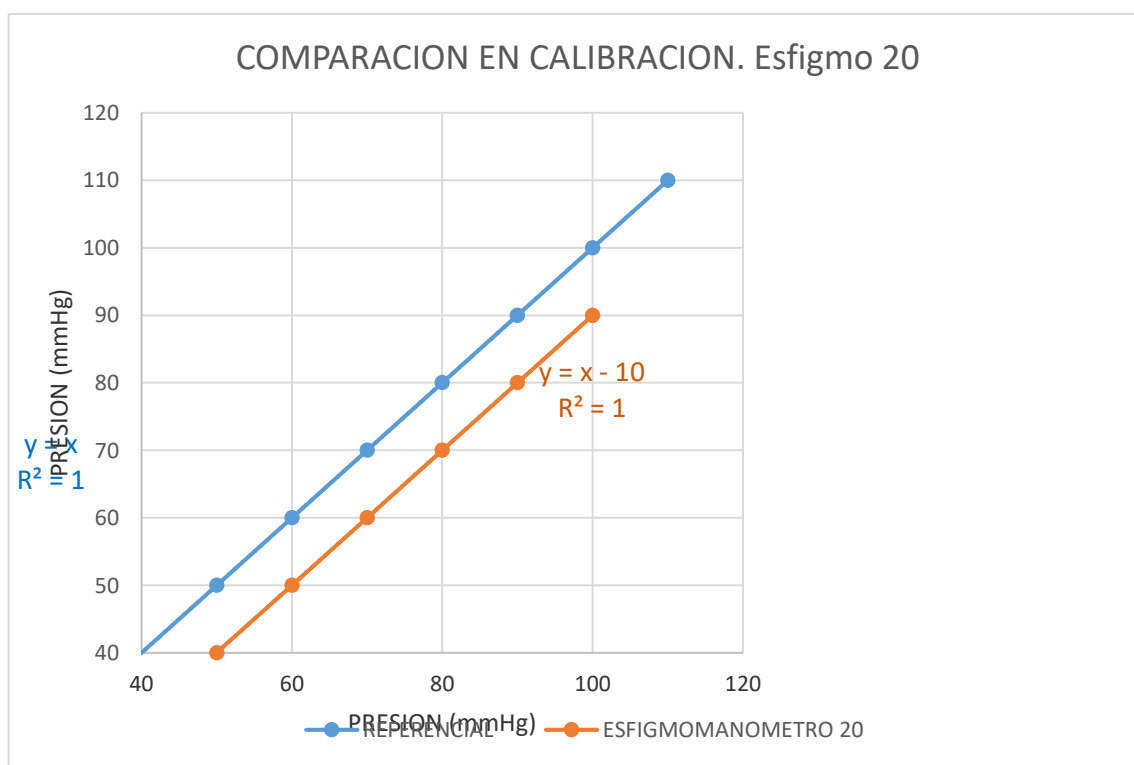
PATRÓN (mmHg)	ESFG19 (aneroide) (mmHg)
10	
50	52
60	62
70	72
80	82
90	92
100	102
110	



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración (continuación).

# Datos y gráfico de error cero

PATRÓN (mmHg)	ESFG20 (aneroide) (mmHg)
10	
50	40
60	50
70	60
80	70
90	80
100	90
110	



Gráfica N° 01.- Referida a los tipos de error de calibración.

## **ANEXO IV: IMÁGENES DE CALIBRACIÓN**



## IMÁGENES



Figura N° 01: Observamos el esfigmomanómetro de mercurio (patrón) con el esfigmomanómetro de aneroide con un mismo brazalete los dos; nuestro modelo de calibración.



Figura N° 02: El esfigmomanómetro de mercurio conectado al esfigmomanómetro aneroide para ser calibrado.



Figura N° 03: Realizando las primeras medidas de calibración

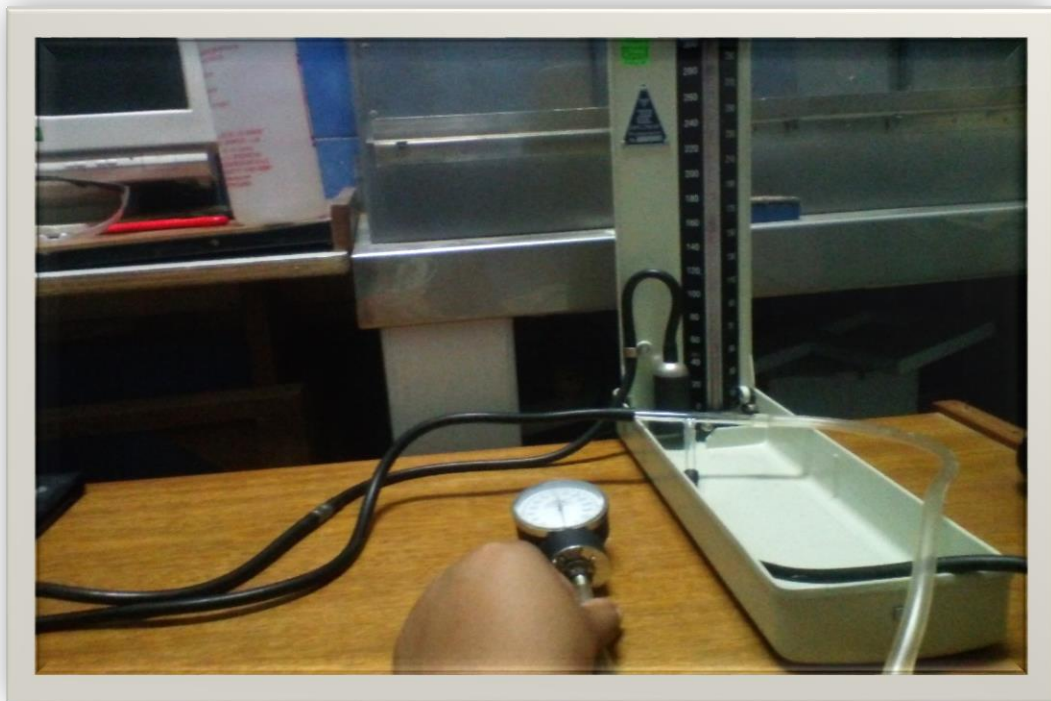


Figura N° 04: El esfigmomanómetro de mercurio a la misma altura que el de aneroide y sus conexiones.

# **ANEXO V: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

# Certificado de Calibración

**LFP - 069 - 2019**

**Laboratorio de Fuerza y Presión**

Página 1 de 4

Expediente	1031491	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)
Instrumento de Medición	<b>INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE PRESIÓN DE COLUMNA LÍQUIDA</b>	La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).
Intervalo de Indicaciones	0 mmHg a 300 mmHg ( 0 Pa a 39 997 Pa )	
Resolución	2 mmHg	
Clase de Exactitud	NO INDICA	
Marca	RIESTER	
Modelo	NO INDICA	
Número de Serie	930172093	
Procedencia	ALEMANIA	
Fecha de Calibración	2019-02-12	Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.  
Certificados sin firma y sello carecen de validez.

Fecha	Area de Mecánica	Laboratorio de Fuerza y Presión
	 BILLY GUISPE CUSIPUMA	 LEONARDO DE LA CRUZ GARCÍA
2019-02-12	Dirección de Metrología	Dirección de Metrología

Fuente: investigador



**INACAL**

Instituto Nacional  
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Fuerza y Presión

## Certificado de Calibración

### LFP – 069 – 2019

Página 2 de 4

#### Método de Calibración

Determinación de los errores de indicación e histéresis por el método de comparación directa entre los valores de indicación del instrumento bajo calibración y los valores dados por una balanza de presión patrón.

#### Lugar de Calibración

Laboratorio de Fuerza y Presión  
Calle De la Prosa N° 150 - San Borja, Lima

#### Condiciones Ambientales

	INICIO	FINAL
Temperatura	21,1 °C	21,2 °C
Humedad Relativa	58,4 %	55,1 %
Presión Atmosférica	992,9 mbar	991,9 mbar

#### Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrón de Referencia del Centro Nacional de Metrología de México ( CENAM )	Balanza de Presión LFP 01 003 Clase 0,003 %	INACAL/DM-LFP-212-2016 DE 2016-05-16
Patrón de Referencia del Centro Nacional de Metrología de México ( CENAM )	Balanza de Presión LFP 01 003 Clase 0,003 %	INACAL/DM-LFP-213-2016 DE 2016-05-20

#### Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde INACAL-DM.  
Utilizar el pascal o sus múltiplos y submúltiplos como unidad de medida de presión dentro del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

Fuente propia del investigador



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad  
Metrología

**Laboratorio de Fuerza y Presión**

# Certificado de Calibración

## LFP – 069 – 2019

Página 3 de 4

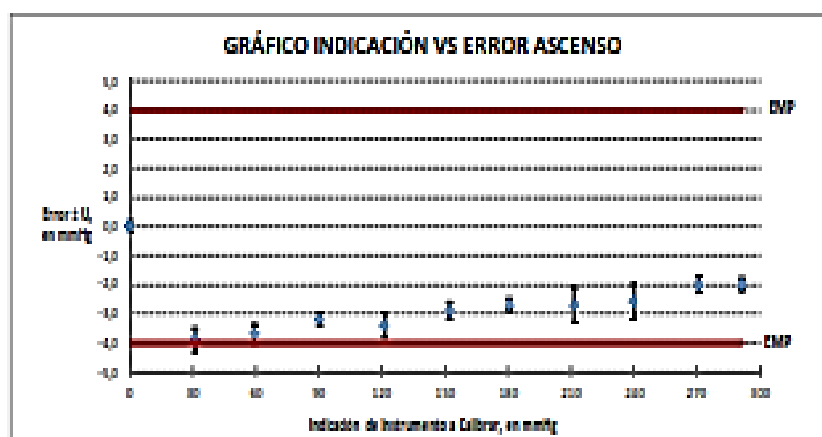
### Resultados de Medición

Indicación Instrumento Patrón		Indicación Instrumento a Calibrar		Error			Incertidumbre	Error Máximo Presión (°) ± (mmHg)
				de Indicación		de Histeresis		
		Ascenso ( mmHg )	Descenso ( mmHg )	Ascenso ( mmHg )	Descenso ( mmHg )			
( Pa )	( mmHg )	( mmHg )	( mmHg )	( mmHg )	( mmHg )	( mmHg )	( mmHg )	
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	4,0
4 148	31,1	27,2	27,8	-3,9	-3,5	0,4	0,4	4,0
7 088	50,5	50,8	50,0	-3,7	-3,5	0,2	0,3	4,0
12 012	90,4	87,2	87,2	-3,2	-3,2	0,0	0,2	4,0
161 105	121,4	118,0	118,4	-3,4	-3,0	0,4	0,4	4,0
207 828	152,3	148,4	148,6	-3,9	-3,7	0,2	0,3	4,0
241 093	180,7	178,0	178,0	-2,7	-2,7	0,0	0,2	4,0
281 216	211,7	208,0	208,6	-3,7	-3,1	0,6	0,6	4,0
311 937	240,0	237,4	238,0	-2,6	-2,0	0,6	0,6	4,0
361 210	271,0	268,0	268,2	-3,0	-3,8	0,2	0,3	4,0
391 877	294,8	298,8	298,6	-2,0	-2,0	0,0	0,2	4,0

MÁXIMO ERROR ABSOLUTO DE INDICACIÓN:	3,9 mmHg
MÁXIMO ERROR ABSOLUTO DE HISTERESIS:	0,6 mmHg

Instrumento de medición pertenece a un vulgomanómetro.

(\*) Según la Norma Metrológica Peruana NMP 017: 2013.



Fuente propia del investigador



**INACAL**  
Instituto Nacional  
de Calidad

Metrología

**Laboratorio de Fuerza y Presión**

# Certificado de Calibración

## LFP – 069 – 2019

Página 4 de 4

### **Incertidumbre**

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

### **Recalibración**

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

### **DIRECCION DE METROLOGIA**

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23500 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPI mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metroológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad basado en las Normas Guía ISO 34 e ISO/IEC 17025 con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

### **SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM**

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las intercomparaciones realizadas por el SIM.

Fuente propia del investigador.