



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

**CÁLCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA CON  
LA ECUACIÓN BÁSICA PSICROMÉTRICA DE  
ACUERDO CON LA NORMA TÉCNICA  
COLOMBIANA NTC-4505 PARA LA  
CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS Y  
DEMÁS DISPOSITIVOS QUE MIDEN HUMEDAD  
RELATIVA, EN EL LABORATORIO DEL  
INSTITUTO DE METROLOGÍA BIOMÉDICA.**

Autor:

Carlos Mario Henao González

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Tecnología Biomédica  
Carmen de Viboral, Colombia

2020



Cálculo de la Humedad Relativa con la ecuación básica psicrométrica de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC-4505 para la calibración de termohigrómetros y demás dispositivos que miden humedad relativa, en el laboratorio del Instituto de Metrología Biomédica

**Carlos Mario Henao Gonzalez**

Informe de práctica presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Tecnólogo Biomédico**

Asesores:

Zulma Londoño Naranjo, Bioingeniera, Especialista en evaluación y gerencia de proyectos  
Olga Cecilia Tobón, Ingeniera Electrónica, jefe del Instituto de Metrología Biomédica

Línea de Investigación:  
Metrología Biomédica

Universidad de Antioquia  
Facultad de ingeniería, Tecnología Biomédica  
Carmen de Viboral, Colombia  
2020.

# CALCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA SEGÚN NTC - 4505

## ÍNDICE GENERAL

1	RESUMEN .....	3
2	INTRODUCCIÓN .....	4
3	OBJETIVOS .....	6
3.1	OBJETIVO GENERAL .....	6
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
3.2.1	Conocer el procedimiento de calibración que se lleva a cabo en el Instituto, apoyados en la NTC-4505, norma colombiana para realizar calibración de humedad relativa mediante psicrómetro.....	6
3.2.2	Evidenciar oportunidades de mejora en el procedimiento de calibración de humedad relativa en el IMB, con el fin de incorporar nuevos elementos, tales como: obtención de la humedad relativa por medio de la ecuación básica psicrométrica y actualización de las incertidumbres reportadas. ....	6
3.2.3	Crear una plantilla en Excel que permita hacer más intuitivo el procedimiento de calibración y que cumpla con los requisitos necesarios para ser ingresada en el sistema de gestión de la calidad del IMB.	6
4	MARCO TEÓRICO.....	7
5	METODOLOGÍA .....	14
5.1	Procedimiento de Calibración de Humedad Relativa con tabla psicrométrica en el IMB.....	14
5.2	Oportunidades de mejora planteadas para la calibración de HR .....	16
5.2.1	Condiciones ambientales: Presión atmosférica en tabla psicrométrica:.....	16
5.2.2	Tiempo de calibración .....	16
5.2.3	Manipulación de los datos primarios.....	17
5.3	Implementación ecuación psicrométrica .....	17
5.3.1	Presión atmosférica en tabla psicrométrica.....	18
5.3.2	Tiempo de calibración .....	18
5.3.3	Manipulación de los datos primarios.....	18
6	RESULTADOS.....	19
6.1	Análisis .....	19
6.1.1	Tiempo de transcripción y revisión .....	19
6.2	Mejoras en la precisión de los datos.....	20
6.3	Mejora en los tiempos de calibración.....	22
6.4	Mejoras en la manipulación de los datos primarios .....	22
6.5	Actualización de la plantilla.....	23
6.5.1	Reporte de Datos .....	23
6.5.2	Incertidumbre .....	24
6.5.3	Estimación de Humedad Relativa.....	25
7	CONCLUSIONES .....	26
8	ANEXO A: TABLA PSICROMÉTRICA.....	28
9	ANEXO B OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS .....	29
9.1	Pruebas de seguridad eléctrica .....	29
9.2	Apoyo a la validación de refrigeradores y cadenas de frío.....	30
9.3	Apoyo a las calibraciones y servicios externos .....	32
	REFERENCIAS .....	32

### Índice de Ilustraciones

<b>Ilustración 1:</b> Psicrómetro aspirado con sus partes .....	8
<b>Ilustración 2:</b> Presión de vapor aire húmedo y seco.....	11
<b>Ilustración 3:</b> Transcripción, Revisión vs Día de trabajo .....	20
<b>Ilustración 4:</b> Precisión Tabla vs Precisión ecuación para la obtención de HR, según NTC-4500.....	21
<b>Ilustración 5:</b> Actualización Datos Primarios Reportados .....	24
<b>Ilustración 6:</b> Tabla Psicrométrica .....	28
<b>Ilustración 7:</b> Resultados Gráficos Pruebas Ejecutadas .....	31
<b>Ilustración 8:</b> Distribución y Cantidad de Sensores Recomendados.....	31

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Valores máximos de incertidumbre para la humedad relativa obtenida.....	7
<b>Tabla 2:</b> Factor de corrección por temperatura de bulbo seco Tomado de: (ICONTEC, 1998, pág. 40) .....	12
<b>Tabla 3:</b> Incertidumbre estándar por calibración de equipo patrón .....	13
<b>Tabla 4:</b> Costo del tiempo invertido a la transcripción y Revisión de certificados de HR al año.....	22
<b>Tabla 5:</b> Consideraciones para La Obtención de Incertidumbre.....	24
<b>Tabla 6:</b> Procedimiento para Puesta en Marcha de la Ecuación Psicrométrica .....	25
<b>Tabla 7:</b> Norma y Pruebas aplicadas a los Desfibriladores.....	29
<b>Tabla 8:</b> Relación de Equipos Tratados con Consecutivos de Prueba realizada .....	30

### Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1</b> .....	8
<b>Ecuación 2</b> .....	9
<b>Ecuación 3</b> .....	9
<b>Ecuación 4</b> .....	12

**CÁLCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA CON LA ECUACIÓN BÁSICA PSICROMÉTRICA DE ACUERDO CON LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-4505 PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS Y DEMÁS DISPOSITIVOS QUE MIDEN HUMEDAD RELATIVA, EN EL LABORATORIO DEL INSTITUTO DE METROLOGÍA**

**1 RESUMEN**

El objetivo principal de esta investigación es comprender cómo se lleva a cabo el proceso de calibración de humedad relativa en el Instituto de Metrología Biomédica con el fin de mejorar el proceso en cuanto a los tiempos de calibración, precisión de las medidas y disminución de los datos primarios. El enfoque que se utilizó es investigativo y experimental. La muestra del estudio fueron todos los equipos que miden humedad relativa y son calibrados por el instituto, tales como: Higrómetros, TAG's (receptores de radiofrecuencia), entre otros. Los instrumentos que se utilizaron fueron revisiones en las normas nacionales e internacionales que aplica el instituto, búsquedas de temas afines en las bases de datos de la Universidad de Antioquia y el método analítico que se usará para evaluar los beneficios sobre los cambios y modificaciones realizadas al procedimiento de calibración. Como resultado se observa claramente que la influencia de presión atmosférica influye de manera directa en el aumento del error en el cálculo de la incertidumbre, al igual que se pudo evidenciar la disminución en los tiempos de calibración y emisión de certificados. La investigación permite concluir que en la metrología siempre se encuentran oportunidades de mejora, por preciso, validado o completo que se tenga un procedimiento de calibración, siempre es susceptible de mejorar y de reportar menor incertidumbre a los clientes.

## 2 INTRODUCCIÓN

El Instituto de Metrología Biomédica, de ahora en adelante IMB es una unidad estratégica del Hospital Universitario San Vicente Fundación de ahora en adelante HUSVF, en sus 13 años de experiencia se ha caracterizado por prestar servicios de metrología biomédica al hospital y a instituciones externas del sector salud. Actualmente se realiza calibraciones a varios dispositivos biomédicos que se encuentran dentro del alcance del IMB, dicho alcance cuenta con 5 magnitudes acreditadas y más de 10 magnitudes no acreditadas. Una magnitud no acreditada que allí se calibra es la Humedad Relativa (HR), gran cantidad de dispositivos que miden Humedad Relativa son calibrados al mes con el fin de dar cumplimiento a lo establecido en (Ministerio de Salud y Protección Social, 2014, pág. 28), el cual dictamina que se tenga un control sobre las condiciones de Humedad Relativa y temperatura, lo que a su vez implica que hayan dispositivos destinados a la medición y control en dicha magnitud, además asegurar la trazabilidad del dispositivo y su funcionamiento correcto a lo largo del tiempo.

En el procedimiento actual para calibración de Humedad Relativa es susceptible de ser mejorado y actualizado a versiones más recientes de la norma en la que está basado (NTC-4505), al igual que mejorar el plan de muestreo establecido para esta magnitud, por cuanto a los contenidos relacionados con la interpretación y el cálculo, a partir de los valores obtenidos del psicrómetro, que son engorrosos y no permiten ser manipulados fácilmente como ítems de un ensayo de calibración, retrasando en algunos casos la interpretación, transcripción y revisión de los certificados. Se requiere entonces de un método que permita la integración de los datos obtenidos del psicrómetro y una hoja de cálculo que realice la estimación de humedad relativa de forma automatizada y sin incluir errores adicionales en la interpretación del métrólogo en el proceso de medición.

Este documento explora el procedimiento de calibración de Humedad Relativa, en el Instituto de Metrología Biomédica del Hospital san Vicente Fundación, con el objetivo de encontrar y establecer mejoras en la plantilla para calibrar dicha magnitud.

La investigación abarca únicamente los documentos dedicadas a la calibración de Humedad Relativa en el IMB, además de las respectivas consultas a la normativa colombiana ICONTEC y sus equivalentes en normas internacionales como ASTM. Pese a que esta investigación ofrece recomendaciones a cerca del componente técnico de la calibración, el objetivo principal no es cambiar la forma en que esta actividad se realiza.

La metodología empleada para desarrollar este trabajo consta de tres momentos, el primero de adaptación y aprendizaje acerca de cómo se realizan las calibraciones de Humedad Relativa en el IMB, el segundo que implica buscar las oportunidades de mejoras en este procedimiento y por último se da solución a las mejoras disponibles encontradas. Cabe destacar que el IMB realiza la calibración de Humedad Relativa con un psicrómetro, dispositivo fabricado específicamente para conocer la densidad del aire de forma indirecta; consta de dos termómetros idénticos que miden la temperatura ambiente y la temperatura de evaporación del agua.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Calcular la Humedad Relativa con la ecuación básica psicrométrica de acuerdo con la norma técnica colombiana NTC-4505 para la calibración de termohigrómetros y demás dispositivos que miden humedad relativa, en el laboratorio del Instituto de Metrología Biomédica.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

**3.2.1** Conocer el procedimiento de calibración que se lleva a cabo en el Instituto, apoyados en la NTC-4505, norma colombiana para realizar calibración de humedad relativa mediante psicrómetro.

**3.2.2** Evidenciar oportunidades de mejora en el procedimiento de calibración de humedad relativa en el IMB, con el fin de incorporar nuevos elementos, tales como: obtención de la humedad relativa por medio de la ecuación básica psicrométrica y actualización de las incertidumbres reportadas.

**3.2.3** Crear una plantilla en Excel que permita hacer más intuitivo el procedimiento de calibración y que cumpla con los requisitos necesarios para ser ingresada en el sistema de gestión de la calidad del IMB.



#### 4 MARCO TEÓRICO

El principio de operación de un psicrómetro aspirado se basa en la medición de dos termómetros que pueden ser o no de idéntica resolución, de estos termómetros dependerá el valor mínimo de incertidumbre reportada por el laboratorio de acuerdo con la Tabla 1, extraída de (ICONTEC, 1998, pág. 11):

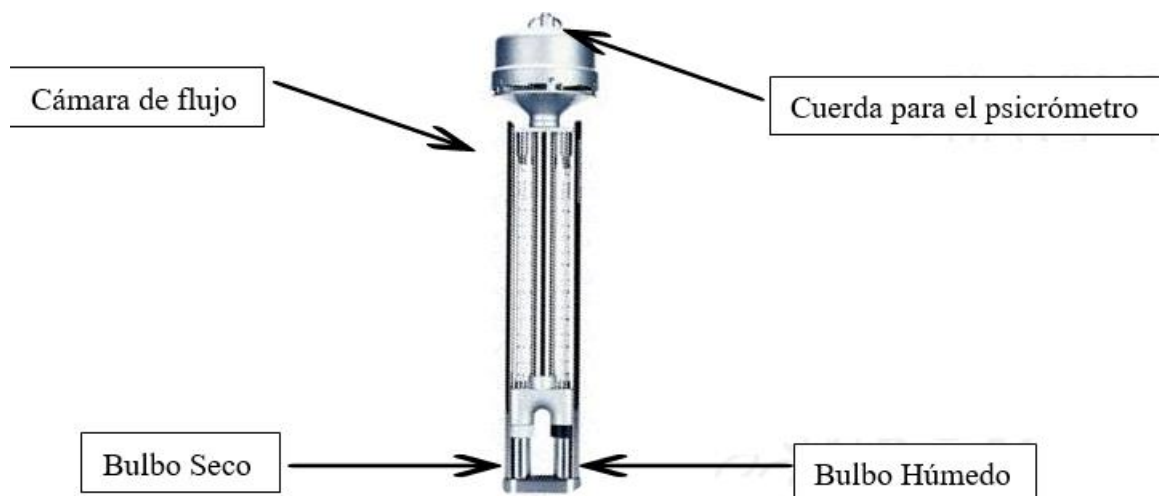
Incertidumbre en humedad relativa obtenida, %, hr	Incertidumbre en disminución de temperatura, °C	Incertidumbre en temperatura de bulbo seco, °C
± 4	± 0,3	± 0,2
± 3	± 0,2	± 0,2
± 2	± 0,1	± 0,6
± 5	± 0,3	± 0,6
± 4	± 0,2	± 0,6
± 3	± 0,1	± 0,6

**Tabla 1:** Valores máximos de incertidumbre para la humedad relativa obtenida.

El termómetro húmedo está rodeado de un material absorbente que por lo general es una tela de fibras naturales, construidas y adaptadas al psicrómetro de acuerdo con (ASTM, 2015, pág. 3) numeral 7.2.1 y 7.2.3. Al momento de poner en funcionamiento el psicrómetro se debe humedecer el bulbo cubierto de algodón para garantizar que se alimente el termómetro por capilaridad.

Cuando inicia la circulación del aire en la sección de flujo del psicrómetro (flujo que no debe superar los 10 m/s ni ser inferior a 3 m/s y que se debe mantener por mínimo 2 minutos (ICONTEC, 1998, págs. 12, 13) numeral 14.4.1 y 17.3) el termómetro del bulbo húmedo comienza a enfriarse como producto de la evaporación del agua contenida en el recubrimiento del bulbo húmedo, lo que a su vez representa la energía que el agua en estado líquido gana para

pasar a la fase de vapor de agua, en la Imagen 1, se presenta el psicrómetro aspirado usado en el IMB con las partes principales referenciadas.



**Ilustración 1:** Psicrómetro aspirado con sus partes  
Tomado de: <https://www.thiesclima.com/en/Products/Humidity-Psychrometer/>

El cálculo de humedad relativa por el método psicrométrico se puede realizar mediante la siguiente relación  $\frac{\text{presión vapor de agua a la temperatura de punto de rocío (Pa)}}{\text{presión vapor de agua saturado (Pa)}}$  y se calcula

como se muestra en la **Ecuación 1**:

$$\%HR = \frac{e(t_h) - A \cdot P(t_s - t_h)}{e(t_s)}$$

**Ecuación 1**

Donde:

$e(t_h)$  = presión parcial de vapor de agua (Pa).  $t_s$  = temperatura del bulbo seco.

$e(t_s)$  = presión vapor de agua saturado (Pa).  $t_h$  = temperatura del bulbo húmedo.

$A$  = constante psicrométrica.

$P$  = presión atmosférica (Pa).

## CALCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA SEGÚN NTC - 4505

La constante psicrométrica A, tal y como se muestra en (ASTM, 2015, pág. 11), depende del valor de temperatura del bulbo húmedo; el valor de A puede oscilar entre  $6,5 \times 10^{-4} K^{-1}$  y  $6,9 \times 10^{-4} K^{-1}$  cualquier valor de A en este intervalo puede ser usado, y la diferencia entre usar un valor límite u otro, es de máximo 1,1 %HR tal y como se puede ver en (ICONTEC, 1998, pág. 10). Para efectos de mayor exactitud, en el IMB el valor de A, para ajustar el proceso a una mejor precisión se calculará de la siguiente manera:

$$(6,60 \times 10^{-4})(1 + 0,00115 \times t_h)$$

***Ecuación 2***

cabe destacar que la ecuación 2, solo tiene validez para psicrómetros de aspiración, cuya velocidad del flujo se encuentre entre los  $3m/s$  y  $5m/s$ .

Finalmente, el último componente para calcular la humedad relativa son las presiones de vapor, de bulbo húmedo y seco, desarrolladas por (Wexler, 1976), donde se considera que la presión del vapor saturado de la fase pura sobre la superficie plana de agua pura para temperaturas entre  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es diferente a medida que se aumenta o se disminuye la presión barométrica y la temperatura ambiente. La siguiente ecuación es la forma más cercana a un valor real de presión de vapor, desarrollada por (Wexler, 1976, pág. 778):

$$\ln p = \sum_{i=0}^6 g_i T_{68}^{i-2} + g_7 \ln T_{68}$$

***Ecuación 3***

Coeficientes de presión de vapor

$$g_0 = -0.29912729 \times 10^4$$

$$g_4 = 0.17838301 \times 10^{-4}$$

$$g_1 = -0.60170128 \times 10^4$$

$$g_5 = -0.84150417 \times 10^{-9}$$

$$g_2 = 0.1887643854 \times 10^2$$

$$g_6 = 0.44412543 \times 10^{-12}$$

$$g_3 = -0.28354721 \times 10^{-1}$$

$$g_{n+1} = 0.2858487 \times 10^1$$

A pesar de que con los coeficientes de presión de vapor anteriormente descritos se obtienen resultados más aproximados a un valor real de presión de vapor, los aceptados por las norma nacional (ICONTEC, 1998) e internacional (ASTM, 2015) para el cálculo de la humedad relativa con psicrómetro, aceptando un error de 20 ppm en consideración con los coeficientes de orden 8, son los siguientes:

$$g_1 = - 0.63536311x10^4$$

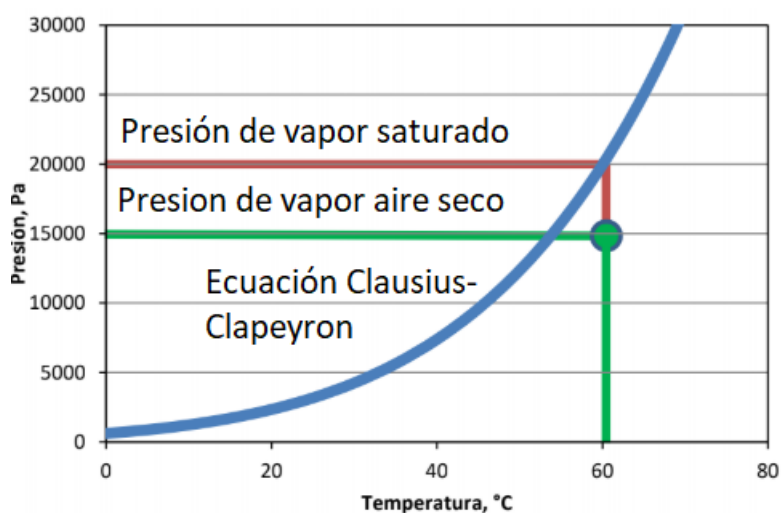
$$g_3 = - 0. 19509874x10^{-1}$$

$$g_2 = 0.3404926034x10^2$$

$$g_4 = 0.12811805x10^{-4}$$

Para estos coeficientes aplica la misma ecuación (3), tal y como se explica a mayor profundidad en (Wexler, 1976, págs. 776-778).

En la **Ecuación 3**, el termino  $T_{68}$  hace referencia a la escala internacional de temperatura, la cual en 1948 redefinió los puntos de referencia para la medición de la temperatura e incluyó y definió por primera vez el K (Kelvin) como unidad para la medición de temperatura, considerando los siguientes puntos de referencia: Punto triple del hidrogeno 13.81 K (-253.34°C) hasta el punto de solidificación del oro 274.213 (1,063°C) (Dedikov, 2011). Para el cálculo de la presión de vapor en la ecuación (3) se realizarán dos procedimientos exactamente iguales, el primero es realizar el cálculo con la temperatura de bulbo húmedo y el otro para el bulbo seco, teniendo en cuenta la convención  $IPTS_{68}$  el valor de temperatura a ingresar en este término será:  $T_{68} = °C + 273.15$ . Obteniendo así dos valores para la presión de vapor, los cuales se relacionan en la **ilustración 2** mediante la ecuación de Clausius-Clapeyron, la cual muestra gráficamente la relación que existe entre: presión de vapor y temperatura.



**Ilustración 2:** Presión de vapor aire húmedo y seco

Tomado de: (Instituto Nacional de Metrología, 2019)

En la **Ilustración 2**, se muestra la relación de presión de vapor en la cual coexisten en un diagrama de fases, agua-vapor, para determinada temperatura. Las fases agua-vapor se muestran segmentadas por la ecuación Clausius-Clapeyron (marcada de color azul), agua por encima y vapor por debajo.

Una vez obtenidos todos los valores, basta con volver a la **Ecuación 1** reemplazar los términos y obtener el valor de humedad relativa medida para 1 atm de presión.

### **Factor de corrección de humedad por presión atmosférica**

En el laboratorio N°2, usado para la calibración de temperatura y humedad relativa en el IMB, la presión atmosférica por lo general varía entre 848 hPa y 850 hPa, es decir 0,83 atm aproximadamente. Por tal motivo es necesario realizar una corrección a la humedad relativa reportada en el psicrómetro por motivo de presión atmosférica, la cual se realiza en base a un factor de corrección asociado a la temperatura de bulbo seco, tomados de la **Tabla 2**, la presión atmosférica en la cual se realizó la calibración expresada por el barómetro y la **Ecuación 4**, todos los pasos anteriores son tomados de (ICONTEC, 1998, págs. 39-40). El primer paso para

realizar la corrección es hallar el factor B, el cual depende del valor de temperatura de bulbo seco medida directamente del psicrómetro, el cual de no ser uno de los que se encuentra en la tabla, se deberá interpolar con los datos de la **Tabla 2**, para encontrar el valor de corrección, además, es importante tener en cuenta que todos los valores de corrección hallados en la tabla se expresan luego por un factor de  $\times 10^{-5}$ .

Temperatura del aire	Factor de corrección
1	10,0
3	8,72
5	7,58
7	6,61
9	5,78
11	5,06
13	4,44
15	3,91
17	3,45
19	3,05
21	2,70
23	2,39
25	2,12
27	1,89
29	1,68
31	1,50
33	1,34
35	1,21
37	1,08
39	0,973
41	0,876
43	0,790
45	0,713
47	0,645
49	0,584
50	0,556

**Tabla 2:** Factor de corrección por temperatura de bulbo seco  
Tomado de: (ICONTEC, 1998, pág. 40)

Una vez obtenido el valor B, de corrección se aplica la **Ecuación 4**.

$$U = U_0 + B(t - t_w)(101325 - p)$$

**Ecuación 4**

Donde:

$U$  = Humedad relativa actual con corrección       $U_0$  = Humedad a 1 atm de presión

$B$  = Factor correspondiente a la temperatura de bulbo seco.       $P$  = presión en pascales, a la cual se realizó la calibración.

**Presión barométrica**

**Calibración del barómetro:** La incertidumbre estándar del barómetro se obtiene al dividir la incertidumbre expandida que reportó el laboratorio que calibró el barómetro entre el factor de cobertura expresado en el certificado de calibración, como se muestra en la *tabla 3*.

<i>Prom. Indicación</i>	$\pm U$	<i>factor de cobertura</i>	<i>U estándar</i>
500,23	0,42	2,00	0,21
569,77	0,37	2,00	0,19
649,80	0,18	2,00	0,09
739,84	0,13	2,00	0,07
849,87	0,13	2,00	0,07
874,88	0,18	2,00	0,09
919,89	0,13	2,00	0,07
1009,90	0,58	2,00	0,29
1099,91	0,58	2,00	0,29

*Tabla 3: Incertidumbre estándar por calibración de equipo patrón*

*Tomado de: Archivos IMB*

**Resolución del barómetro**

La incertidumbre estándar se obtiene con la división de la escala y asumiendo una distribución de probabilidad rectangular puesto que la lectura del barómetro es de tipo digital.

<b>Resolución (<math>\delta</math>)</b>	<b>Distribución</b>	<b>Aporte a la incertidumbre (<math>U_{(d)}</math>)</b>
0,1	Rectangular	$U_{(d)} = \frac{\delta}{\sqrt{12}}$

### Variación de la presión atmosférica durante el periodo de interés

La incertidumbre estándar se obtiene con los valores de la presión atmosférica inicial y la presión atmosférica final, asumiendo una distribución de probabilidad triangular, así:

Variación en la presión	Distribución	Aporte a la incertidumbre ( $U_{(var)}$ )
$x$	Triangular	$U_{(var)} = \frac{x}{\sqrt{6}}$

### Incertidumbre del ajuste de la ecuación

La ecuación que desarrolló (Wexler, 1976) para el cálculo de la humedad relativa, parte de la idea de que el aire es un gas ideal, lo cual no es cierto, para mitigar ese hecho, tomamos en cuenta este valor en la incertidumbre, el cual extraemos de (Becerra Santiago & Guardado González, 2001) como:

$$U_{ec} = (1 \times 10^{-4})(0.9495) = 9,50 \times 10^{-5} \text{ kg m}^{-3}$$

## 5 METODOLOGÍA

La metodología empleada en el proyecto permite conocer de primera mano el procedimiento de calibración a través de la tabla psicrométrica para la calibración de la HR y determinar detalladamente las oportunidades de mejora que faciliten el procedimiento a través de la ecuación psicrométrica, uno de los métodos empleados en la norma NTC-4505.

### 5.1 Procedimiento de Calibración de Humedad Relativa con tabla psicrométrica en el IMB

Con el fin de mejorar el confort y proteger la salud de los trabajadores y pacientes, el Hospital emplea un plan que incluye la monitorización de Humedad Relativa en puntos estratégicos, tales como: cuartos de trabajo limpio y sucio, refrigeradores de medicamentos y alimentos, salas de procedimientos, quirófanos y áreas de recuperación; dichos lugares son monitoreados



por medio de TAG's (receptores de radiofrecuencia) o Higrómetros, para conocer cómo es la densidad del aire o humedad relativa dentro de las instalaciones, por medio de un software contratado para el caso de los TAGs o manualmente para los Higrómetros. Para tal fin el IMB dentro de su alcance, calibra y mantiene en correcto funcionamiento los equipos que miden esta característica del aire; la actividad técnica se realiza mediante el uso de un Psicrómetro de aspiración (marca: Thies y Modelo: 1.0400.00.010), el cual se encuentra formado por dos termómetros analógicos de alcohol iguales y con una resolución de  $\pm 0,2$  °C. La incertidumbre que el IMB reporta en los certificados de calibración depende directamente de la resolución de los termómetros, tal y como se muestra en la tabla 1. La calibración de humedad relativa demanda **gran cantidad de tiempo**, que se ve reflejado en lo técnico porque requiere generar las atmósferas necesarias para la calibración y desde lo administrativo para realizar la transcripción de los datos (que demora alrededor de 7 minutos por certificado) y la revisión de los certificados por parte del jefe técnico (que demora alrededor de 15 minutos) en la **sección 6,2** se explica con mayor profundidad. En el IMB se inicia el proceso de calibración con la recepción de los equipos, posteriormente son llevados al laboratorio con el fin de mezclarse con el aire y estar en condiciones óptimas de calibración; este acondicionamiento es de mínimo dos horas y al finalizar abre paso al procedimiento de calibración, cabe destacar que la calibración no se realiza de forma individual sino que se recolectan varios equipos que no superen una cantidad mayor a 20 (podrían ser más porque el espacio se validó para un 40% del volumen útil (según (TRADUCCIÓN GUIA DKD-R-5-7, 2019, pág. 13)) pero por efectos de mejor visión y accesibilidad del metrólogo se estableció que son 20), una vez se tiene definida la cantidad de equipos que se van a calibrar, se programa el aire acondicionado con el fin de tomar el primer punto de HR (una vez se inicia este paso, no se pueden ingresar o retirar dispositivos de la cámara de humedad y el acceso al laboratorio es restringido).

Una vez se toma el primer punto, se ajusta el aire acondicionado dos veces más respetando las 2 horas de acondicionamiento, se realiza el procedimiento descrito en el instructivo para la calibración de HR y cuando así cuando se tengan tres datos del psicrómetro y de los equipos bajo calibración, se da por finalizada la etapa de toma de datos. Luego para la interpretación y para conocer el valor de HR en cada punto, lo que se realiza en el IMB es una interpolación de la depresión de temperatura entre ambos bulbos del psicrómetro en una tabla psicrométrica suministrada por el fabricante (**ver anexo A**). Por último, se realiza el certificado de calibración de cada dispositivo y por parte del metrólogo liberado en la magnitud se da la entrega del certificado para su posterior revisión y aprobación por parte del jefe técnico lo que concluye con la entrega del certificado al cliente.

### **5.2 Oportunidades de mejora planteadas para la calibración de HR**

De acuerdo con el procedimiento de calibración descrito anteriormente, se identificaron aspectos a mejorar en el proceso de calibración y se describen a continuación:

#### **5.2.1 Condiciones ambientales: Presión atmosférica en tabla psicrométrica:**

Se observó que para la calibración con psicrómetro era necesario leer la carta psicrométrica, carta impresa hace varios años por THIES para el IMB a una presión atmosférica estándar y cuyo valor de humedad relativa se obtiene por medio de la interpolación de los valores de temperatura de los termómetros seco y húmedo. Se compararon de primera mano los valores obtenidos por medio de la tabla psicrométrica con los valores calculados por un software online encontrado en (Universidad del País Vasco, s.f.), encontrando diferencias importantes en cuando a la precisión del valor medido.

#### **5.2.2 Tiempo de calibración**

Una vez el metrólogo tomó los datos primario de la calibración, se comenzó a realizar el certificado, el primer paso fue relacionar el equipo con la humedad que midió en el laboratorio,

luego de observar como se realizó el procedimiento, se concluyó que puede causar confusión relacionar los dos valores de temperatura a un % de HR, llevando incluso al metrólogo a verificar de nuevo en la tabla los valores medidos en el equipo patrón, lo que en última instancia de traducía en pérdida de tiempo (de 5 a 8 minutos) por volver a medir. Luego de terminado el certificado por la persona liberada en HR pasa a ser revisado por el jefe técnico, y la única forma de verificar los valores del certificado es revisando de nuevo en la tabla psicrométrica que los valores de temperatura sean consecuentes con los valores de humedad reportados por el metrólogo, en ocasiones tomando hasta 15 minutos por certificado este paso.

### **5.2.3 Manipulación de los datos primarios**

El metrólogo para su calibración, debía medir los valores de temperatura de ambos bulbos, luego interpolarlos en la tabla psicrométrica y posteriormente introducirlos en todos los certificados de calibración de los dispositivos que fueron calibrados, lo que requería de precisión para diligenciar correctamente los certificados y no equivocar o traslapar los valores, por cada certificado eran 15 datos, de los cuales: temperatura de bulbo húmedo y seco, depreciación de la temperatura, HR patrón y HR del IBC, esto en cada punto de los 3 requeridos para la calibración.

### **5.3 Implementación ecuación psicrométrica**

El IMB realiza la calibración de HR con base en la NTC-4505 de 1998, la norma describe el procedimiento de calibración, además de brindar recomendaciones y obligaciones que se deben cumplir en el procedimiento. La HR es una magnitud que se calcula de forma indirecta y para ello la norma ofrece dos opciones: la primera mediante la interpretación de la carta psicrométrica y una segunda opción mediante el uso de una serie de ecuaciones que permiten el cálculo de la HR.

### **5.3.1 Presión atmosférica en tabla psicrométrica**

Se va a desarrollar una plantilla con la capacidad de calcular la humedad relativa por medio de la ecuación básica psicrométrica según NTC-4505, dicha plantilla permite calcular la HR a partir de la interpretación de los valores de temperatura de los bulbos. Con la ecuación consolidada se le aplicará un proceso de corrección al dato de HR para ajustarlo al valor de presión del IMB y obtener un valor más preciso en comparación con el que puede ofrecer la interpretación de la tabla psicrométrica.

### **5.3.2 Tiempo de calibración**

Se adecuará la plantilla de calibración de tal manera que sea intuitivo y rápido para el metrólogo reportar los datos de temperatura de bulbo húmedo y seco en el certificado, esto sumado a que con la nueva plantilla no se debe interpretar en la tabla psicrométrica, representará un ahorro de tiempo en la emisión de certificados, valor significativo ya que es la magnitud que más volumen de calibración deporta el IMB.

### **5.3.3 Manipulación de los datos primarios**

Con la plantilla para calcular HR se reducen el número de veces que los datos deben pasar por el metrólogo, en su elaboración sólo se contempla que el metrólogo deba ingresar los valores leídos directamente de los termómetros y del barómetro, lo que significa un proceso más seguro, al delegar la tarea de interpretar las lecturas del psicrómetro a una hoja de cálculo reconocida y confiable como lo es Excel.

## 6 RESULTADOS

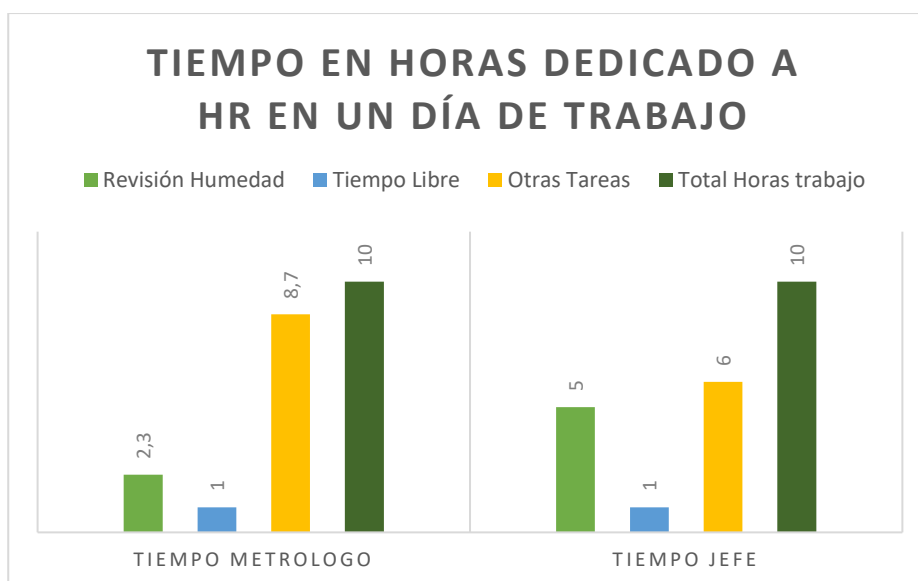
### 6.1 Análisis

#### 6.1.1 Tiempo de transcripción y revisión

El IMB, posee un contrato externo que lo obliga a calibrar gran cantidad de Higrómetros, cuando esto pasa el metrólogo que calibra esta magnitud, realiza la actividad técnica y cuando obtiene los datos primarios, registra en el certificado los valores obtenidos en la actividad. Para la obtención de los tiempos de transcripción de los datos, se usó un cronómetro y se tomó como muestra, 60 equipos diligenciados.

Dichos datos se ingresan a Excel, y reportando una desviación estándar de 1,44 se obtiene que el promedio de diligenciamiento en los datos es de 6,91 minutos, aunque cabe resaltar que los límites estuvieron entre 5 minutos y 9 minutos.

Para los tiempos de revisión por parte del jefe técnico, se usó el mismo mecanismo y los resultados que se obtuvieron con una desviación estándar de 1,37 el promedio fue de 15,13 minutos, con límites entre 13 y 19 minutos. Nótese que tanto para la transcripción y en especial para la revisión, hubo momentos de pausa o de ocupación en otras actividades por parte de los implicados en el estudio, en esos casos los datos que estuvieron aislados más de 10 minutos, por encima de la media, fueron retirados para no alterar los tiempos reportados.

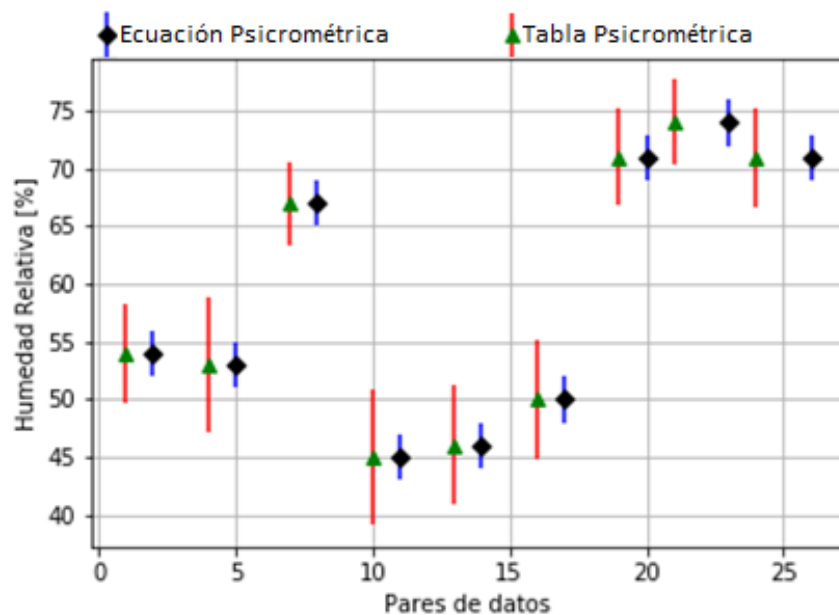


*Ilustración 3: Transcripción, Revisión vs Día de trabajo*

En la *ilustración 3* se pueden observar la cantidad de tiempo que demandan los certificados de HR en un día de trabajo del metrologo y del jefe técnico en cuanto a la transcripción y revisión de certificados de calibración de humedad relativa.

## 6.2 Mejoras en la precisión de los datos

Se revisaron 9 certificados de calibración al azar, entre los cuales se tomaron los datos de temperatura de bulbo húmedo y seco hallados por medio de tabla psicrométrica, se usaron dichos valores para encontrar el % de HR equivalente al cálculo mediante la ecuación psicrométrica, considerando la presión atmosférica propia del laboratorio. Y se muestran los resultados en la *ilustración 4*, de la siguiente manera.



**Ilustración 4:** Precisión Tabla vs Precisión ecuación para la obtención de HR, según NTC-4500.

En la *ilustración 4*, se pueden observar los resultados de comparar las dos formas de hallar humedad relativa. En azul se encuentran los valores de bulbo húmedo y seco calculados mediante la ecuación psicrométrica, en rojo se encuentran los mismos valores de bulbo húmedo y seco encontrados por medio de la interpolación en la tabla psicrométrica. Como se puede observar claramente en las barras de cada punto. Se tiene un valor más preciso calculando con la ecuación psicrométrica.

### 6.3 Mejora en los tiempos de calibración

El IMB en el 2019 realizó la calibración de 1400 higrómetros, si bien el volumen de trabajo no fue constante, se pueden extraer de esos 1400 equipos, la siguiente información en cuanto a tiempos de transcripción y revisión de certificados vs costos del tiempo invertido por el personal.

<b>Muestra Total: 1400</b>	<b>Tiempo en Minutos</b>	<b>Tiempo en Horas</b>	<b>Costo Hora</b>	<b>Costo Actividad</b>
<b>Transcripción</b>	9.800	163,33	\$ 80.000	\$ 13.066.667
<b>Revisión</b>	21.000	350,00	\$ 90.000	\$ 31.500.000
<b>Total</b>	30.800	513,33	\$ 170.000	\$ 44.566.667

**Tabla 4:** Costo del tiempo invertido a la transcripción y Revisión de certificados de HR al año

En la **tabla 4**, se puede observar el costo en pesos que requiere la inversión de tiempo, tanto del metrólogo como del jefe técnico, esto teniendo como base los salarios de cada uno en el año 2019.

### 6.4 Mejoras en la manipulación de los datos primarios

Cuando se realiza la calibración de la magnitud en el IMB, el metrólogo primero debe tomar los datos en el laboratorio, siendo los siguientes datos: temperatura de Bulbo Húmedo, temperatura de Bulbo Seco y con estos dos valores encuentra el valor de Humedad Relativa en la Tabla Psicrométrica. Cabe destacar que este valor se toma 3 veces por cada punto, y si son tres puntos de calibración, una bajo (50 %Hr), uno medio (60 %Hr) y uno alto (70 %Hr) quiere decir que el metrólogo en una calibración debe tomar nota de 27 datos, los cuales deberá ordenar luego de tal forma que los pueda reportar en el certificado de calibración lo más pronto posible. Con la implementación de la plantilla que encuentra la Humedad Relativa por medio de la Ecuación psicrométrica, son 18 los datos que el metrólogo debe reportar en el certificado, además de que se ahorra recurrir a la tabla psicrométrica 9 veces a encontrar los valores de Humedad Relativa.



## 6.5 Actualización de la plantilla

Queda designada en el Instituto de Metrología Biomédica dentro de su sistema de gestión de documental, la plantilla OyM-2655 para la calibración de Humedad Relativa, siendo esta la plantilla que se debe actualizar y alinear con las mejoras propuestas en este trabajo, para empezar, la plantilla se divide en 4 secciones: Certificado, Reporte Datos, Estimación Humedad Relativa e Incertidumbre.

De la sección certificado solo se actualizan las entradas a las nuevas casillas donde se calculan los valores de incertidumbre, en cuanto a lo demás se deja igual porque es la parte del certificado que va al cliente, y tiene los diferentes logotipos que reconocen al laboratorio y al hospital y en los cuales no se dispuso ningún cambio de formato.

### 6.5.1 Reporte de Datos

En esta sección se actualizan los datos que se deben reportar quedando de la siguiente forma:

#### VERSIÓN ANTERIOR

Temperatura de Bulbo Húmedo

Temperatura de Bulbo Seco

Depreciación de Temperatura

Humedad Relativa Patrón

Humedad Relativa IBC

#### NUEVA VERSIÓN

Temperatura de Bulbo Húmedo

Temperatura de Bulbo Seco

Humedad Relativa IBC

Esto en cuanto a los puntos de humedad relativa, de igual forma que en la versión anterior, se siguen reportando los datos de condiciones ambientales normalmente. La tabla para reportar los datos queda evidenciada en la **Ilustración 5**.

# CALCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA SEGÚN NTC - 4505

	Bulbo humedo °C	Bulbo seco °C	Humedad patrón %HR	Humedad instrumento %HR	Sesgo %HR
Valor alto	21,0	24,8	73	75	2
Valor medio	15,8	20,2	65	63	-2
Valor bajo	10,2	16,0	51	42	-9

DILIGENCIA DATOS ACA		
Bulbo Humedo	Bulbo seco	Humedad IBC
21,0	24,8	75
15,8	20,2	63
10,2	16,0	42

Ti	21,0
hri	58
Pbi	850
Tf	20,6
hrf	60
Pbf	850

Condiciones ambientales	Ti	20,5	°C	Tf	20,6	°C
	hri	58	%HR	hrf	60	%HR
	Pbi	850	hPa	Pbf	850	hPa

OBSERVACIONES: Certificado Reporte Datos Incertidumbre Estimación\_humedad\_relativa

**Ilustración 5: Actualización Datos Primarios Reportados**

## 6.5.2 Incertidumbre

Se incluyen las sugerencias para el reporte de la incertidumbre de la medición en cuanto a Humedad Relativa, todas las incertidumbres que se sugirieron en este documento además de las actualizaciones de otras a versiones más recientes de las normas y expresadas de modo tal que se cumplan con las recomendaciones expresadas en (BIMP, 2008). Arrojando como resultado lo expresado en la **Tabla 5**, donde se pueden observar todas las consideraciones para cada contribución de incertidumbre.

14	Tabla 1												
15	Componente de Incertidumbre	Valor Estimado	Tipo	Distri-	u	Factor	u típica	G.L.	Ci	Contribución a u	%		
16	Humedad Relativa del Patrón	0 %HR	A	N	0,00 %HR	3,87	0,00 %HR	14	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
17	Deriva del patrón	0 %HR	B	R	0,00 %HR	1,73	0,00 %HR	1000.000	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
18	Incertidumbre de calibración del Patrón	0 %HR	B	N	0,00 %HR	2,00	0,00 %HR	200	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
19	Resolución del Patrón	0 %HR	B	R	0,00 %HR	1,73	0,00 %HR	1000.000	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
22	Estabilidad del medio	0 %HR	B	R	0,00 %HR	1,73	0,00 %HR	1000.000	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
23	Uniformidad del medio	0 %HR	B	R	0,00 %HR	1,73	0,00 %HR	1000.000	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
24	Efecto de carga	0 %HR	B	R	0,00 %HR	1,73	0,00 %HR	1000.000	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
25	Humedad del medio	0,0 %HR	A	N	#DIV/0! %HR	#DIV/0!	0,00 %HR	#DIV/0!	1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
28	Tabla 2												
28	Componente de Incertidumbre	Valor Estimado	Tipo	Distri-	u	Factor	u típica	G.L.	Ci	Contribución a u	%		
29	Repetibilidad	0 %HR	A	N	0,00 %HR	3,87	0,00 %HR	14	-1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
29	Resolución IBC	0 %HR	B	R	0,00 %HR	1,73	0,00 %HR	1000.000	-1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
30	Variación de Presión	0 hPa	A	N	0,00 hPa	3,87	0,00 hPa	14	0,38 %HR/hPa	0,0000 hPa	#DIV/0!		
31	Variación por Temperatura	0 %HR	A	N	0,00 °C	3,87	0,00 °C	14	0,38 %HR/°C	0,0000 %HR	#DIV/0!		
32	Histéresis	0 %HR	A	R	0,00 %HR	1,73	0,00 %HR	1000.000	-1	0,0000 %HR	#DIV/0!		
33	Presión del Medio	0,0 hPa	A	N	0,0 hPa	1,73	0,00 hPa	1000000	0	0,0000 %HR	#DIV/0!		
34	Humedad del medio	0,0 %HR	A	N	#DIV/0! %HR	#DIV/0!	#DIV/0! %HR	#DIV/0!	1	#DIV/0! %HR	#DIV/0!		
35	Corrección	0,0 %HR	A	N	#DIV/0! %HR	#DIV/0!	#DIV/0! %HR	#DIV/0!	1	#DIV/0! %HR	#DIV/0!		

**Tabla 5: Consideraciones para La Obtención de Incertidumbre**

Por último, cabe destacar que esta tabla se repite 3 veces, una por cada punto de calibración, es decir para cada punto de calibración se considera una incertidumbre diferente. Arrojando en cada uno de ellos, una corrección y una incertidumbre específica para cada valor calibrado.

### 6.5.3 Estimación de Humedad Relativa

En este apartado del documento de Excel se encuentran todas las ecuaciones y correcciones para realizar el cálculo de humedad relativa con la ecuación básica psicrométrica a partir de las temperaturas de Bulbo Húmedo y Seco. En la *ilustración 6*, se muestran como quedan divididos por secciones cada uno de los pasos además de la diferenciación por colores.

DATO PARA HUMEDAD				INTERPOLAR DATOS PARA				Tabla corrección presión		ECUACIÓN BÁSICA PSICROMÉTRICA			
$e_s(T)$	3.132,16	[Pa]		X	24,8			T [°C]	Factor de Corrección	DATOS PARA CALCULAR LAS PRESIONES			
$e_w(T_w)$	2.488,06	[Pa]		Pos	12			1	10	A	1,24E-05	Presión Seco	Presión Húmedo
A	6,60E-04			X0	23	Y0	2,39	3	8,72	B	-1,91E-02		
P	101325			X1	25	Y1	2,12	5	7,58	C	33,93711047		
T	24,8	[° C]		B	0,00002147			7	6,61	D	-6,34E+03		
$T_w$	21	[° C]						9	5,78	T [°K]		298,0	294,15
A 1 ATM DE PRESIÓN								11	5,06	e		3.132,16	2.488,06
HR [%]	71							13	4,44	$e_s(T) = 1\text{Pa} \cdot e^{\left(A \cdot T^2 + B \cdot T + C + \frac{D}{T}\right)}$			
$HR = \frac{e_w(T_w) - A \cdot P \cdot (T - T_w)}{e_s} \cdot 100\%$								15	3,91				
DATOS PARA CORRECCIÓN POR PRESIÓN								17	3,45				
U0	B	T	Tw	P atm [Pa]	P MDE [Pa]			19	3,05				
71,323	0,00002147	24,8	21	101325	85125			21	2,7				
HR [%]	73							23	2,39				
								25	2,12				
								27	1,89				
								29	1,68				
								31	1,5				
								33	1,34				
								35	1,21				
								37	1,08				
								39	0,973				
								41	0,876				
								43	0,79				
								45	0,713				
								47	0,645				
								49	0,584				
								50	0,556				

Tabla 6: Procedimiento para Puesta en Marcha de la Ecuación Psicrométrica

Se decidieron expresar los cálculos en la plantilla de tal forma que se pueda conocer el paso a paso de lo que allí sucede, además de que ayudó a que el procedimiento de verificación y validación de la plantilla fuera más sencillo, dicha validación quedó registrado en la plantilla OyM-5959, en físico en la carpeta validación de plantillas de calibración del IMB. Dicho procedimiento consistió en revisar manualmente el funcionamiento de cada casilla que realiza

cálculos que aportan o están en contacto con la expresión de la incertidumbre, adicional a esta revisión se deja constancia en física en la plantilla OyM-5959.

### 7 CONCLUSIONES

El desarrollo de la nueva plantilla para calcular Humedad Relativa de acuerdo con la NTC-4505 ha supuesto una variedad de cambios y modificaciones en diferentes momentos del procedimiento y aunque su implementación no suponía grandes cambios en el componente técnico, a la hora de evaluar los cambios se notan grandes beneficios de poner en marcha esta nueva plantilla, en su mayoría los relacionados con el tiempo y con la facilidad tanto del metrólogo como del Jefe técnico para generar y revisar certificados de calibración de Humedad Relativa, entre otras mejoras se reportan nuevas incertidumbres tratadas de tal forma que se da cumplimiento con los requisitos establecidos en la GUM para el cálculo de incertidumbres y de normas internacionales de las cuales se basó la NTC-4505 para llevar a cabo el procedimiento de calibración de Humedad relativa.

En vista de que la NTC-4505 trata de abarcar todos los posibles elementos que influyen en el procedimiento de calibración de Humedad Relativa con psicrómetro, en la etapa de lectura y conocimiento de la norma se pudo evidenciar que deja por fuera elementos esenciales para el procedimiento como lo son, pautas para la estimación de la incertidumbre y las recomendaciones para las verificaciones intermedias y demás procedimientos para garantizar la trazabilidad del equipo, de igual forma tampoco contiene recomendaciones o cuidados que se deben tener con el psicrómetro para su correcto uso y funcionamiento ya que una buena medida no sólo dependerá del estado de los termómetros, sino también de la medida correcta de flujo, y estado de la muselina que envuelve el bulbo húmedo, para conocer estas consideraciones se tuvo que recurrir a la norma internacional AST 337-15.

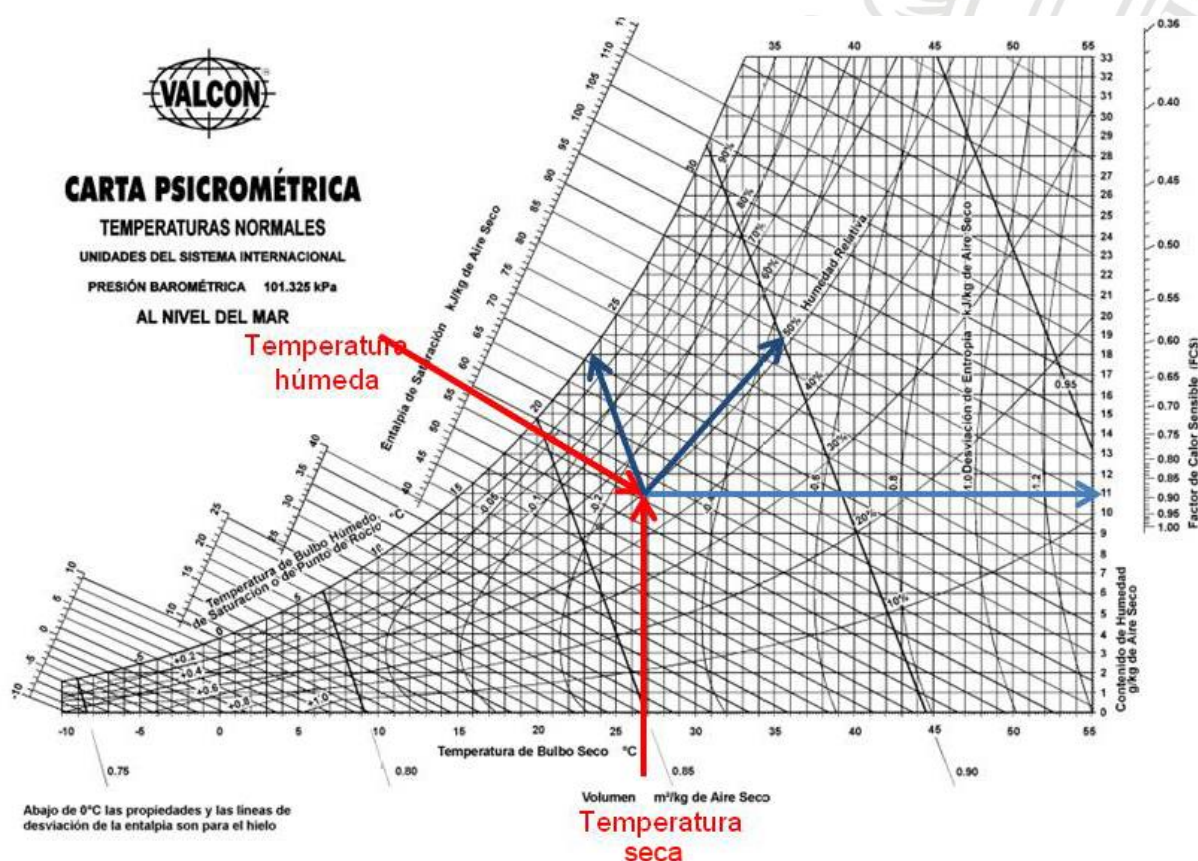
## CALCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA SEGÚN NTC - 4505

Con la actualización para la plantilla OyM-2655, calibración de humedad relativa, se logró mejorar la precisión de los datos emitidos por el patrón, ya que se pudo migrar de la tabla psicrométrica cuya resolución era de 2 %HR, a calcular por medio de la ecuación psicrométrica un valor más aproximado al real en el ambiente. Reducir este componente de incertidumbre es de suma importancia, porque en la mayoría de los procedimientos de calibración la incertidumbre por resolución es la dominante o la que más aporta a la incertidumbre combinada.

Se desarrolló una plantilla que cumple con la normativa vigente colombiana, que realiza el mismo procedimiento que la plantilla anterior pero que adicional a ello, lo logra con mayor precisión en los datos obtenidos del equipo patrón, con actualización de las incertidumbres y que adicionalmente lo logra con menor cantidad de datos y en menor cantidad de tiempo en cuanto a la elaboración del certificado, tanto para el metrólogo como para la revisión por parte del jefe técnico.

## 8 ANEXO A: TABLA PSICROMÉTRICA

Una carta psicrométrica, es una gráfica de las propiedades del aire, tales como temperatura, HR, volumen, presión, etc. Las cartas psicrométricas se utilizan para determinar, cómo varían estas propiedades al cambiar la temperatura en el aire. Como se puede observar en la *ilustración 6*, para medir la humedad relativa con esta carta es necesario ubicar dos puntos, indicados por las flechas rojas, nombrados como temperatura de bulbo húmedo y seco; una vez ubicados los puntos, se procede a revisar cual es la curva más cercada a este punto, luego se sigue hasta los extremos y ese será el valor de HR en el aire a partir de la lectura de la tabla, cabe destacar que por lo general se encuentran impresas para 1 atm de presión y la mínima división de escala entre una curva y otra es de 2% HR.



*Ilustración 6: Tabla Psicrométrica*

## 9 ANEXO B OTRAS ACTIVIDADES REALIZADAS

### 9.1 Pruebas de seguridad eléctrica

En la semana de inicio de prácticas el IMB adquirió un nuevo equipo para la realización de pruebas de seguridad eléctrica en el HUSVF, se trataba de un FLUKE ESA 615 (Electrical Safety Analyzer), el compromiso con esta actividad fue leer documentación técnica sobre el equipo tanto para su funcionamiento como para conocer que tipo de pruebas aplicar según cada clase y tipo de equipo Biomédico, adicional a esto se solicitó poner en marcha el equipo realizando una ronda de pruebas de seguridad eléctrica a toda una muestra de equipos, dicha muestra fueron todos los desfibriladores del HUSVF de Rionegro, en total fueron 21 equipos intervenidos y a los cuales se dedicaron alrededor de 20 minutos para la realización de cada prueba. El primer paso para ejecutar las pruebas fue definir que reglamento y que pruebas se les aplicarían a los desfibriladores, en la **Tabla 7**, mostrada a continuación se especifican dichas decisiones.

IEC60601
Resistencia de tierra de protección
Corriente de fuga de tierra
Corriente de fuga de la caja o por contacto
Corriente de fuga del paciente
Corriente de fuga auxiliar del paciente
Corriente de fuga de la red sobre la pieza aplicada (MAP)

**Tabla 7:** Norma y Pruebas aplicadas a los Desfibriladores

Una vez diseñado el procedimiento para aplicar las pruebas, se comenzaron a ejecutar las pruebas de seguridad eléctrica, a continuación, se relaciona la información de los equipos tratados y los certificados que quedaron asignados, ver **Tabla 8**.

## CALCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA SEGÚN NTC - 4505

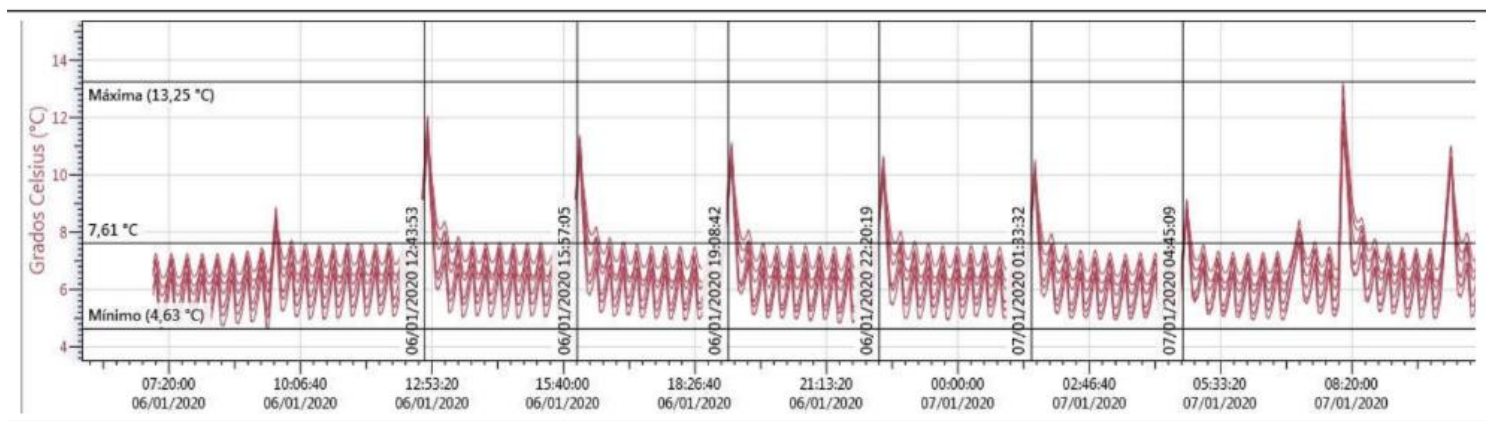
Codigo interno	Equipo	Ubicación donde se encontró	Marca	Modelo	Codigo de Prueba	Observación
4388	CARDIO DESFIBRILADOR	HOSPITALIZACION TORRE B PISO 3	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-001-2019	Sin Novedades
4389	CARDIO DESFIBRILADOR	ATENCION INICIAL URGENCIAS	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-002-2019	Sin Novedades
4390	CARDIO DESFIBRILADOR	RADIOTERAPIA	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-003-2019	Sin Novedades
4391	CARDIO DESFIBRILADOR	SALA PROCEDIMIENTOS	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-004-2019	Sin Novedades
4392	CARDIO DESFIBRILADOR	HOSPITALIZACION TORRE B PISO 4	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-005-2019	Sin Novedades
4393	CARDIO DESFIBRILADOR	HOSPITALIZACION TORRE C PISO 3	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-005-2019	Sin Novedades
4394	CARDIO DESFIBRILADOR	HOSPITALIZACION TORRE B PISO 2	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-006-2019	Sin Novedades
4395	CARDIO DESFIBRILADOR	UCI PEDIATRICA	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-007-2019	Sin Novedades
4396	CARDIO DESFIBRILADOR	CONSULTORIOS CARDIOPULMONAR Y VAS PERIFE	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-008-2019	Sin Novedades
4397	CARDIO DESFIBRILADOR	UCE	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-009-2019	Sin Novedades
4398	CARDIO DESFIBRILADOR	CONSULTORIOS ENFERMEADES DIGESTIVAS	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-010-2019	Sin Novedades
4399	CARDIO DESFIBRILADOR	QUIROFANOS	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-011-2019	Sin Novedades
4400	CARDIO DESFIBRILADOR	CONSULTORIOS HOSPITAL DE DIA	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-012-2019	Sin Novedades
4401	CARDIO DESFIBRILADOR	UCI ADULTOS	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-013-2019	Sin Novedades
4402	CARDIO DESFIBRILADOR	MEDICINA FISICA Y REHABILITACION	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-015-2019	Sin Novedades
4403	CARDIO DESFIBRILADOR	QUIROFANO HEMODINAMIA -INTERVENCIONISMO-	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-015-2019	Sin Novedades
4404	CARDIO DESFIBRILADOR	IMAGINOLOGIA CENTRAL	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-016-2019	Sin Novedades
4405	CARDIO DESFIBRILADOR	ATENCION INICIAL URGENCIAS	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-017-2019	Sin Novedades
4406	CARDIO DESFIBRILADOR	QUIROFANOS	NIHON KODHEN	TEC-5531E	PSE-018-2019	Sin Novedades
4407	CARDIO DESFIBRILADOR	HOSPITALIZACION TORRE C PISO 2	NIHON KODHEN	TEC-5521E	PSE-019-2019	Sin Novedades

**Tabla 8:** Relación de Equipos Tratados con Consecutivos de Prueba realizada

### 9.2 Apoyo a la validación de refrigeradores y cadenas de frío

Las actividades desarrolladas en este apartado estuvieron relacionadas con el correcto funcionamiento de los equipos de refrigeración en el HUSVF de Medellín y de Rionegro, los métodos que se utilizaron para apoyar esta actividad fueron, la identificación de refrigeradores que contienen medicamentos en el hospital, la realización de pruebas en los refrigeradores con DataLogger's (Equipos que miden la temperatura por un lapso de tiempo de forma remota ) y por último la elaboración de informes al área técnica encargada del funcionamiento de dichos equipos en caso de que no estuvieran trabajando en el rango de temperatura exigido para la conservación de medicamentos. En la *ilustración 7*, se incluye el comportamiento obtenido de un refrigerador cualquier luego de haber realizado las pruebas especificadas por el IMB en un intervalo de tiempo mayor a un día y medio.

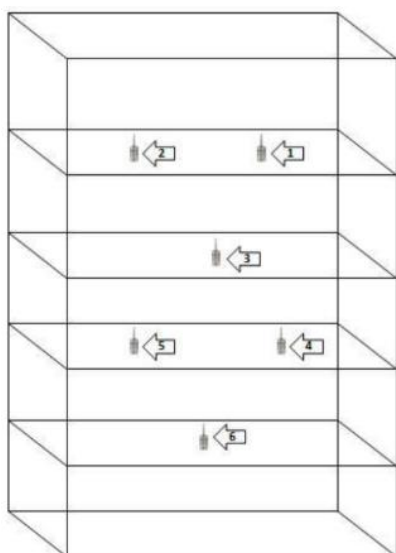




**Ilustración 7:** Resultados Gráficos Pruebas Ejecutadas

En la **ilustración 7**, se observan los datos de temperatura de un refrigerador en funcionamiento, en él se evidencian diferentes picos de temperatura, los cuales equivalen a pruebas realizadas a la par que los sensores de temperatura registran los datos, algunas de las pruebas son: Apertura de puertas, desconexión eléctrica, homogeneidad de la cámara, funcionamiento con y sin carga, entre otras. La cantidad de refrigeradores evaluados fueron alrededor de 15 equipos.

También se consideraron las distribuciones de los equipos y la cantidad de sensores para garantizar el funcionamiento de todo el volumen útil del equipo, para estas pruebas arrojando las recomendaciones evidenciadas en la **ilustración 8**.



**Ilustración 8:** Distribución y Cantidad de Sensores Recomendados

### 9.3 Apoyo a las calibraciones y servicios externos

Adicional a las actividades anteriormente descritas, también se realizaron actividades de apoyo en calibraciones a diferentes equipos Biomédicos, tanto en el HUSVF como en servicios externos, entre algunos equipos se encontraron: Básculas, Balanzas, Esfigmomanómetro, Manómetros diferenciales, Micropipetas, Centrífugas, Agitadores, Monitores de CO y CO<sub>2</sub>, Lensómetros, Flujómetros, Queratómetros, Termómetros, entre otros. De los cuales se permitió conocer los procedimientos mediante los cuales se realizan y lograr conocer una gran cantidad de equipos que están relacionados con el apoyo, diagnóstico o tratamiento de la enfermedad.

### REFERENCIAS

- ASTM. (2015). Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer. *COMPASS*, 3.
- Becerra Santiago, L. O., & Guardado González, M. E. (2001). ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE. *El Marqués*, 10-15.
- BIMP. (September de 2008). *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Obtenido de [https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM\\_100\\_2008\\_E.pdf](https://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf)
- Davis, R. S. (1992). Equation for the Determination of the Density. *Metrología*, 68.
- Dedikov, Y. (02 de 02 de 2011). *THERMOPEDIA*. Obtenido de thermopedia: <http://thermopedia.com/content/882/>
- Escuela Universitaria Politécnica de San Sebastián. (s.f.). *Dto. de Máquinas y Motores Térmicos*. Obtenido de sc.ehu.es: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>
- ICONTEC. (1998). MEDICIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA CON UN PSICRÓMETRO (MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE BULBO SECO Y HÚMEDO). *e-Collection*, 3; 11.
- Instituto Nacional de Metrología. (03 de 10 de 2019). *CURSO DE METROLOGIA - Temperatura y Temperatura y Humedad*. Medellín.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2014). Resolución 2003 de 2014. Por la cual se definen los procedimientos y condiciones de inscripción de los Prestadores de Servicios de Salud y de habilitación de servicios de salud. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PSA/abc-habilitacion-prestadores.pdf>
- TRADUCCIÓN GUIA DKD-R-5-7. (29 de 07 de 2019). *Instituto Nacional de Metrología*. Obtenido de rcm.gov.co/: [https://rcm.gov.co/images/2019/Banners/TRADUCCION-GUIA-DKD-R5-7\\_2019-07-29\\_08-00\\_Consulta-publica.pdf](https://rcm.gov.co/images/2019/Banners/TRADUCCION-GUIA-DKD-R5-7_2019-07-29_08-00_Consulta-publica.pdf)
- Universidad del País Vasco. (s.f.). *Dto. de Máquinas y Motores Térmicos*. Obtenido de <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>
- Wexler, A. (1976). Vapor Pressure Formulation for Water in Range 0 to 100 °C. A Revision. *Journal Of Research of the National Bureau of Standards*, 777-779.