

# PROPUESTA PARA ATENDER LA PROBLEMÁTICA DE LA MEDICIÓN DE HUMEDAD EN SÓLIDOS, EN MÉXICO

Enrique Martines López.

Centro Nacional de Metrología, División de Termometría  
Km 4.5 Carretera a los Cués, El Marqués, Qro., México  
Teléfono: 442-2110500, ext. 3420, fax: 442-2110548, emartine@cenam.mx

**Resumen:** La cantidad de agua presente en materiales sólidos como madera, granos, cereales y otros, afecta la calidad y propiedades de éstos, por tal razón, es importante contar con patrones que permitan dar trazabilidad a las mediciones por medio de servicios de calibración así como atender aspectos de normalización que demanda este campo. Los aspectos antes mencionados son un problema a nivel nacional que debe ser atendido.

El CENAM ha decidido apoyar en la solución mediante la implementación de un método primario y el establecimiento de un laboratorio de medición de humedad en sólidos.

En este trabajo se describen los principales métodos para determinar el contenido de humedad en sólidos, además, se presenta el plan para el establecimiento de un laboratorio para estas mediciones.

## 1. INTRODUCCIÓN

El contenido de humedad en un material se puede entender como la cantidad de agua presente en éste y determina en gran parte las propiedades de materiales como: alimentos, granos, cereales, harinas, materiales para la construcción, madera, azúcar, etc. Estas propiedades afectan, entre otras, la calidad, textura, sabor, resistencia y durabilidad, razón por la cual es necesario contar con instrumentos que permitan hacer mediciones confiables de su contenido de humedad.

En la actualidad, a nivel internacional el campo de medición de humedad en sólidos ha sido atendido por medio del desarrollo de patrones de medición confiables, y es respaldado por un número extenso de instrumentos comerciales para distintas aplicaciones de medición.

En México, la medición de humedad en sólidos se ha atendido aisladamente en algunos sectores, sin embargo, persiste la necesidad de:

- Contar con un patrón nacional que dé trazabilidad a este tipo de mediciones.
- Desarrollar y difundir las normas que contribuyan a lograr la uniformidad entre los métodos y equipos de medición.
- Apoyar en el establecimiento de laboratorios secundarios de calibración que satisfagan las necesidades de calibración existentes.

En este trabajo se describe el plan de desarrollo que propone el Laboratorio de Humedad del CENAM, para atender las demandas existentes referentes al

establecimiento de patrones de medición y la atención de las necesidades de los servicios de calibración, trazabilidad, entre otras.

## 2. LA IMPORTANCIA DE LA MEDICIÓN DE HUMEDAD EN GRANOS

La medición de humedad en granos es de gran importancia a nivel internacional por su impacto económico, prueba de ello son los datos presentados para el arroz [1], uno de los principales granos que se producen en el mundo.

Para una carga de 25 000 toneladas de grano que contiene 14 % de humedad le corresponde 3 500 toneladas de agua. En 13,5 % de humedad el contenido de agua equivaldría a 3 375 toneladas. Si el precio comercial de 1 kg de arroz es de aproximadamente \$0,317 USD (dólares americanos), el costo (ganancia o pérdida) por la diferencia obtenida de 0,5 % de humedad es de \$39 625.00 USD.

Por otro lado, de acuerdo a datos de la FAO (Organización de Agricultura y Alimentos), la producción mundial por año de los principales granos, entre los que se encuentran: maíz, arroz, café, cacao, soya, té, trigo y azúcar, es del orden de 2 000 millones de toneladas.

En México la producción de granos es muy importante dado que es una de las principales fuentes de alimentación. De acuerdo a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), la producción agrícola en el 2003 fue de aproximadamente 32 millones de

toneladas, de las cuales el 63%, de la producción total, fue maíz [2].

Haciendo un análisis para determinar las pérdidas por una incorrecta medición de humedad en maíz y suponiendo que el instrumento tiene una desviación del 1 %, encontramos que puede haber pérdidas de aproximadamente \$1 013.00 millones de pesos. Para fines de este cálculo se supuso un precio de \$5.00 por kg y un error en la medición de humedad equivalente al 1%. Este problema se puede presentar en las transacciones comerciales debido a que los instrumentos comerciales existentes, en su mayoría, tienen errores de medición en ese orden de magnitud.

Otras industrias que presentan problemas similares al de los granos son: la industria farmacéutica, de alimentos, madera, textil, pinturas y recubrimientos así como sectores gubernamentales, quienes requieren de mediciones confiables para atender aspectos legales y de comercialización.

### 3. PLAN DE ESTABLECIMIENTO DEL LABORATORIO DE HUMEDAD EN SÓLIDOS

#### 3.1 Laboratorio de Humedad en el CENAM

En la actualidad, el Laboratorio de Humedad del CENAM mantiene al Patrón Nacional de Humedad (CNM-PNE-08) para gases, que cubre un alcance de 10 % a 95 % en humedad relativa y una incertidumbre de  $\pm 0,2$  % a  $\pm 1,5$  % de humedad relativa. En temperatura de punto de rocío su alcance va de 0 °C a 64 °C, con una incertidumbre de 0.1 °C. Actualmente se está trabajando en la extensión de la cobertura del patrón nacional hasta -25 °C en temperatura de punto de rocío y de esta manera poder atender los servicios de calibración de usuarios que requieren medir bajas concentraciones de humedad.

Respecto a la medición de humedad en materiales sólidos, en el 2004 se inició con el establecimiento del laboratorio de humedad y de esta manera se empezarán a atender las demandas existentes en este campo. La primera etapa del plan consistió en una revisión de los métodos existentes para medir humedad y la selección del más adecuado.

#### 3.2 Métodos de medición existentes

Son diversos los métodos existentes para medir el contenido de humedad en materiales sólidos, a

continuación se describen algunos de los más conocidos:

##### 3.2.1 Método gravimétrico

Este método se basa en hacer mediciones de masa de la muestra de interés, antes y después del secado de la misma. El contenido de humedad se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$\%C = \frac{m_T - m_s}{m_T} \times 100 \quad (1)$$

donde:

$m_T$  es la masa total de la muestra húmeda

$m_s$  es la masa de la muestra seca.

Usualmente el secado de la muestra se logra calentándola en un horno a una temperatura controlada y por un periodo de tiempo definido.

Este método es uno de los más usados para hacer mediciones de humedad en granos, madera y otros materiales, además de ser uno de los más exactos [3,4,5].

##### 3.2.2 Microondas

Este método se basa en el hecho de que las propiedades dieléctricas de los materiales cambian con la humedad que contienen.

En un nivel microscópico la molécula de agua tiende a rotar cuando se le hace incidir radiación electromagnética a la frecuencia de las microondas. Para determinar la humedad en un material, el relajamiento principal de la molécula de agua en forma líquida se encuentra en la región de 17 GHz a 22 GHz entre 20 °C y 30 °C, mientras que para el agua ligada<sup>1</sup>, el relajamiento ocurre en la región de frecuencias con órdenes de MHz [6].

La expresión matemática que relaciona la permitividad con la humedad en un material es:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \frac{AC^2}{M_m - C} \quad (2)$$

donde:

$\varepsilon_1$ ,  $M_m$  y  $A$  son constantes,

$C$  es el contenido de humedad.

<sup>1</sup> Agua ligada: tipo de agua en el que las moléculas se encuentran enlazadas químicamente en el material por medio de enlaces de hidrógenos y que no puede ser extraída por solidificación.

La exactitud de las mediciones con este método es menor de 1%[6].

**3.2.3 Métodos eléctricos**

Entre los métodos eléctricos más conocidos se encuentran el método capacitivo y el resistivo. En el primero, la constante dieléctrica del agua tiene un valor grande comparado con otros materiales, razón por la cual se puede relacionar a la capacitancia con la cantidad de agua de los materiales.

El método resistivo se basa en la medición de la resistencia eléctrica en corriente continua, la mayoría de los materiales tienen un valor grande de resistencia eléctrica cuando se encuentran secos. Cuando absorben agua, su resistencia disminuye considerablemente, razón por la cual éste puede ser un método adecuado para medir humedad.

El método resistivo es ampliamente usado en la industria de la construcción, básicamente en madera y sus derivados, y cubre un alcance de medición desde aproximadamente 6 % hasta su punto de saturación. La exactitud por este método es mayor que 1%[7].

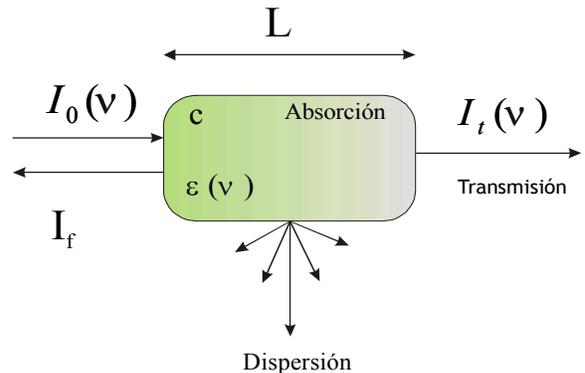
**3.2.4 Titulación Karl Fisher**

El método Karl Fisher es uno de los métodos químicos más usados por su alta confiabilidad. Este método se basa en una reacción química selectiva en la cual, la muestra de interés se coloca en un solvente previamente seleccionado. Durante el proceso de disolución de la muestra, se genera una reacción mediante la cual se logra la liberación del contenido de agua de la muestra.

El método es muy eficiente para determinar el contenido total de agua y tiene una diversidad de aplicaciones, entre las que se encuentran: harinas, azúcar, dulces, vegetales secos, etc. Se le puede emplear en el intervalo de 0 % hasta aproximadamente 56 % con exactitudes entre 0.5 % y 1% de humedad [8].

**3.2.5 Espectroscopía infrarroja**

La interacción de radiación electromagnética con un material resulta en fenómenos que pueden ser empleados para hacer mediciones de humedad.



**Figura 1. Fenómenos de interacción radiación con la materia.**

En la figura 1, se muestran algunos de los fenómenos físicos que pueden ser empleados para la determinación de humedad en un material sólido. Se considera un material de longitud  $L$ , con un coeficiente de absorción  $\epsilon(\nu)$ , sobre el cual se hace incidir radiación electromagnética con una intensidad  $I(\nu)$ , los fenómenos descritos en la figura corresponden a transmisión, y dispersión (reflectancia difusa, emisión optotérmica) de radiación electromagnética.

La molécula de agua, absorbe radiación electromagnética en la región del infrarrojo cercano y aquí tiene tres modos normales de vibración correspondientes a  $2,66 \mu\text{m}$ ,  $2,73 \mu\text{m}$  y a  $6,27 \mu\text{m}$ , los cuales son comúnmente usados para hacer determinaciones de contenido de humedad [7].

La cuantificación del contenido de humedad por espectroscopía infrarroja, se puede hacer empleando la Ley de Beer-Lambert, que expresa:

$$A = c\epsilon(\nu)L \tag{3}$$

Donde:

$A$  es la absorbancia,

$\epsilon(\nu)$  es el coeficiente de absorción,

$L$  es la longitud de la muestra

$c$  es el contenido de humedad de la muestra

El alcance de medición empleando este método en equipos comerciales va desde 0 % hasta aproximadamente 100 % de su contenido de humedad, con exactitudes que dependen del principio de operación y de la aplicación particular.

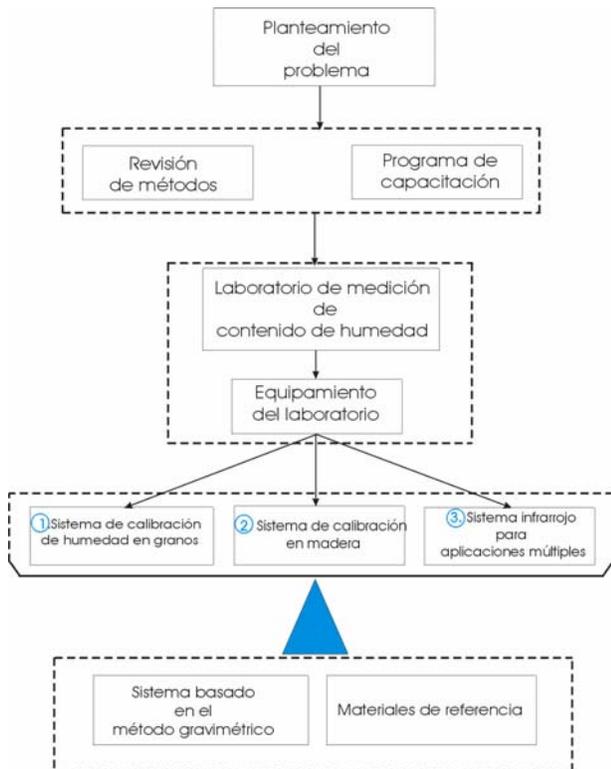
**3.3 Plan del laboratorio de humedad en sólidos**

Como parte de la revisión de los métodos más empleados en la determinación de humedad, fue

necesario aprovechar la experiencia de otros laboratorios de metrología en el mundo en este campo. Como resultado de esto y con el fin de atender las necesidades ya planteadas, el Laboratorio de Humedad del CENAM, ha elaborado un plan basado en tres líneas de desarrollo, que comprenden la implantación de:

- a) Un sistema de medición de humedad en granos.
- b) Un sistema de medición de humedad en madera.
- c) Un sistema infrarrojo de medición de humedad en sólidos

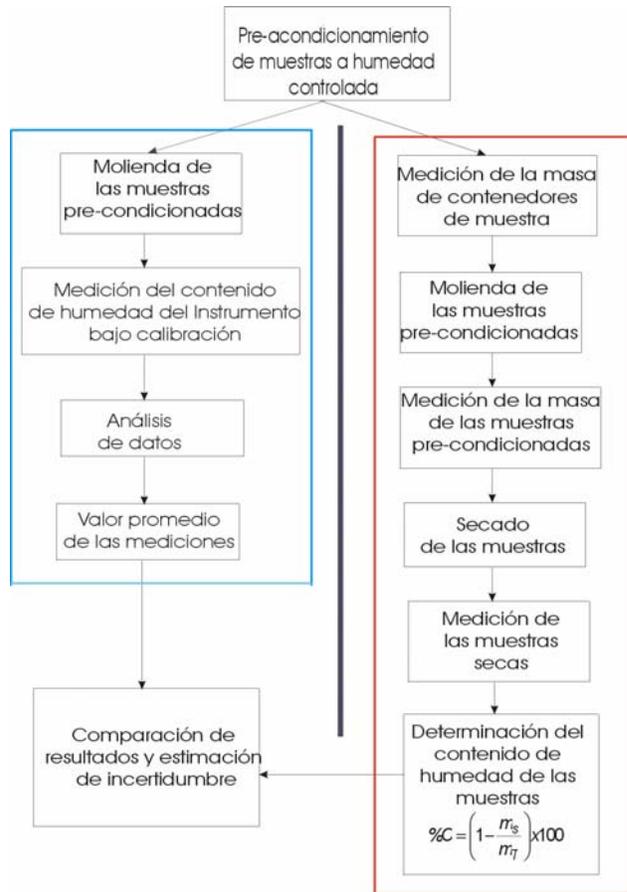
Con estas líneas de desarrollo (que se describirán más adelante) se pretende atender los servicios de calibración de medidores de humedad en granos, madera y otros instrumentos con aplicaciones especiales, así como dar trazabilidad por medio del establecimiento del patrón nacional de contenido de humedad basado en el método gravimétrico (ver figura 2) y apoyados en el desarrollo de materiales de referencia.



**Figura 2.** Plan para el establecimiento del laboratorio de humedad en sólidos

### 3.4 Calibración de humedad en granos y madera

No obstante que existe un número extenso de referencias para determinar el contenido de humedad en materiales sólidos por medio del método gravimétrico [3,4,5], en lo referente a calibración de medidores de humedad, no existe en la literatura un método recomendado. En el CENAM, la propuesta para realizar la calibración de medidores de humedad en granos se basa en preacondicionar un número determinado de muestras a distintos niveles de humedad (empleando puntos fijos de sales saturadas), de tal manera que cubran el alcance de calibración del medidor de humedad. Posteriormente, se determina el contenido de humedad de la mitad de éstas con el instrumento bajo calibración y la otra mitad empleando el método gravimétrico (ver figura 3). Finalmente se comparan los resultados obtenidos.

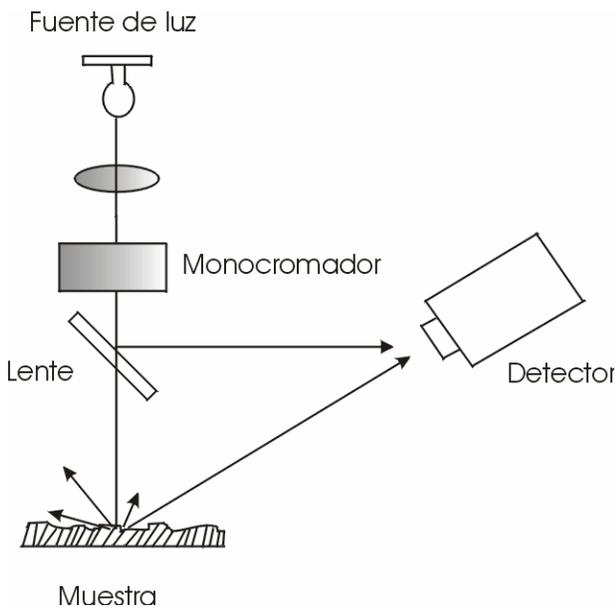


**Figura 3.** Procedimiento de medidores de humedad en granos

El procedimiento de humedad para la calibración de medidores de humedad en madera es similar al expuesto en 2.3.

### 3.5 Higrómetro infrarrojo por reflectancia difusa

Debido a las diversas necesidades de medición de humedad en sólidos y ante las limitaciones de la mayoría de los equipos comerciales, como son: su dependencia del tamaño de la muestra, la necesidad de medición en línea de producción (medición remota) y su lentitud en la medición; la espectroscopia por reflectancia difusa puede ser una alternativa para hacer determinaciones superando de esa manera las limitaciones antes mencionadas. Además este método ofrece la ventaja de ser un sistema no destructivo y rápido etc.



**Figura 4.** Diagrama de higrómetro infrarrojo por reflectancia difusa.

En el Laboratorio de Humedad se tiene planeado el desarrollo de un higrómetro infrarrojo basado en el método de reflectancia difusa (fig. 4) como complemento a los otros sistemas.

En laboratorios nacionales de metrología (como el Korea Research Institute of Standards and Science, Korea) se ha desarrollado un instrumento basado en este método, el cual funciona adecuadamente en el intervalo de 0 % a 45 % de humedad aproximadamente, con incertidumbres que van desde 0,3 % hasta 1,7 % de humedad, para

muestras de arroz, café, algodón, lana, papel y madera [9].

### 4. PERSPECTIVAS DEL LABORATORIO

En el CENAM, el establecimiento de los diferentes laboratorios está orientado a atender necesidades de medición que tiene la industria en México, y éstas se incrementarán a medida que el desarrollo de la industria y los usuarios lo exijan. De igual manera, los valores de incertidumbre y alcances de medición se irán ajustando y deberán ser acordes a las exigencias de los nuevos desarrollos tecnológicos.

Desde esta perspectiva, en el Laboratorio de Humedad, se pretende atender inicialmente algunos sectores o usuarios (los más demandantes) y, en un futuro, ampliar las capacidades de medición a otras áreas de interés. Así mismo, será necesario desarrollar sistemas de medición propios que fortalezcan la infraestructura metrológica nacional.

### 5. CONCLUSIONES

La revisión de los métodos existentes para determinar el contenido de humedad, vinculado con la problemática existente en el país, han permitido trazar las líneas de desarrollo del Laboratorio de Humedad, y con ellas se podrá dar trazabilidad a las mediciones por medio del establecimiento del Patrón Nacional de Contenido de Humedad (PNCH) basado en el método gravimétrico y de esta manera, iniciar los servicios de calibración a la industria así como asesorar a otros sectores oficiales o privados para resolver sus problemas de medición en este campo.

El PNCH tendrá un alcance inicial de 0 % a 50 % en contenido de humedad, para cubrir de esta manera, el alcance de medición más demandante.

### REFERENCIAS

- [1] Cass M., 2003 Rice Quality Workshop, University of California USA, 2003.
- [2] Maíz 1990-2004, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación (SAGARPA), Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>, 6/junio/2004.

- [3] ASTM D 442-92, Standard test method for direct moisture content measurement of wood and wood-base materials, 1992.
- [4] ISO 712, Cereals and Cereal Products- Determination of Moisture Content-Routine Reference Method, 1998.
- [5] OIML R 59, Moisture Meters for Cereal Grain and Oilseeds, 1984.
- [6] Kraszewski A.W., Microwave Aquametry: Introduction, IEEE Press, 1996.
- [7] Healy W.M., Moisture Sensor Technology- A Summary of Techniques for Measuring Moisture Levels in Buildings Envelopes, ASHRAE Transactions 2003, V.109, Pt.1., February 2003.
- [8] Isengard H. D., Variations of the Karl Fisher Titration to determine the water content of foodstuffs, Third International Symposium on Humidity and Moisture, London, England 1998.
- [9] Choi B.I., Nham H.S., Chi D., Design, construction and performance test of a reflection type quadruple beam infrared moisture meter, Korean Applied Physics, Volume 6, Number 6, November 1993, pp. 505-513.