

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL

Trabajo Monográfico:

**“USO DE TECNOLOGÍA ADECUADA DENTRO DEL
LABORATORIO EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA”**

Presentado por:

JORGE EDUARDO GALARZA MERCADO

Lima – Perú

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“USO DE TECNOLOGÍA ADECUADA DENTRO DEL LABORATORIO EN LA
INDUSTRIA ALIMENTARIA”**

Presentado por:

JORGE EDUARDO GALARZA MERCADO

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Walter F. Salas Valerio
PRESIDENTE

Mg.Sc. Fanny Ludeña Urquiza
MIEMBRO

Dra. Ana Aguilar Galvez
MIEMBRO

Mg.Sc Beatriz Hatta Sakoda
TUTORA

Lima - Perú
2018

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

| | | |
|-------------|---|----------|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. | REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 2 |
| 2.1 | IMPORTANCIA DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN | 2 |
| 2.2 | ADQUISICIÓN DE EQUIPOS..... | 2 |
| 2.2.1 | PRECIO..... | 3 |
| 2.2.2 | CONTRATO DE SERVICIO | 3 |
| 2.2.3 | DISPONIBILIDAD DE PIEZAS Y CONSUMIBLES..... | 3 |
| 2.2.4 | SOPORTE TÉCNICO Y ACTUALIZACIONES DEL SISTEMA..... | 4 |
| 2.2.5 | USUARIOS FINALES..... | 4 |
| 2.2.6 | USO DEL EQUIPO..... | 4 |
| 2.2.7 | AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE..... | 4 |
| 2.3 | DEFINICIONES UTILIZADAS EN PESAJE..... | 5 |
| 2.3.1 | MASA | 5 |
| 2.3.2 | TRAZABILIDAD | 5 |
| 2.3.3 | INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN | 5 |
| 2.3.4 | CALIBRACIÓN..... | 5 |
| 2.3.5 | AJUSTE..... | 6 |
| 2.3.6 | CAPACIDAD MÁXIMA (MÁX)..... | 6 |
| 2.3.7 | DIVISIÓN DE INDICACIÓN (d) | 6 |
| 2.3.8 | CANTIDAD DE DIVISIONES (n)..... | 6 |
| III. | DESARROLLO DEL TEMA..... | 7 |
| 3.1 | SELECCIÓN Y USO DE EQUIPOS PARA DETERMINACIÓN DE PESO..... | 7 |
| 3.1.1 | TEMPERATURA DE LA MUESTRA..... | 12 |
| 3.1.2 | CARGAS ELECTROSTÁTICAS..... | 12 |
| 3.2 | SELECCIÓN Y USO DE EQUIPOS PARA LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE ALIMENTOS..... | 14 |
| 3.3 | SELECCIÓN Y USO DE TECNOLOGÍA NIR PARA EL ANÁLISIS DE ALIMENTOS..... | 18 |
| 3.3.1 | EQUIPOS BASADOS EN FILTROS | 20 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.3.2 | EQUIPOS FT O INTERFERÓMETRO DE MICHELSON | 21 |
| 3.3.3 | EQUIPOS DE ARREGLO DE DIODO..... | 22 |
| IV. | CONCLUSIONES | 24 |
| V. | RECOMENDACIONES | 25 |
| VI. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 26 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------------|--|-----------|
| Figura 1: | Ficha técnica de algunos modelos de balanzas analíticas | 8 |
| Figura 2: | Pesa patrón externa de 200 gramos clase E2 | 8 |
| Figura 3: | Sistema de ajuste interno de una balanza | 9 |
| Figura 4: | Sensor de pesaje por compensación electromagnética..... | 10 |
| Figura 5: | Factores externos que influyen en la pesada dentro del laboratorio | 11 |
| Figura 6: | Efecto de la temperatura de la muestra en la pesada | 12 |
| Figura 7: | Efecto de las cargas electrostáticas en la pesada | 13 |
| Figura 8: | Microbalanza con ionizador incorporado dentro de la cámara de pesaje | 13 |
| Figura 9: | Balanza analítica (a), estufa (b) y desecador (c) | 14 |
| Figura 10: | Estufa con bomba de vacío | 15 |
| Figura 11: | Balanza de humedad | 16 |
| Figura 12: | Fuentes de radiación infrarroja más usadas en las balanzas termogravimétricas | 16 |
| Figura 13: | Comparación de las fuentes de emisión infrarroja | 17 |
| Figura 14: | Correcta e incorrecta forma de colocar la muestra en los platillos.. | 17 |
| Figura 15: | Medidor de humedad portátil que utiliza la capacitancia..... | 18 |
| Figura 16: | Diagrama de un sistema NIR basado en filtros | 20 |
| Figura 17: | Diagrama de un sistema NIR basado en monocromador | 21 |
| Figura 18: | Diagrama de un sistema NIR-FT | 22 |
| Figura 19: | Diagrama de un sistema NIR con arreglo de diodos..... | 23 |

RESUMEN

El presente trabajo pretendió desarrollar algunos criterios básicos para seleccionar la tecnología adecuada en un laboratorio de análisis de alimentos, así como dar a conocer los factores que afectan a los equipos que se usan en cada tecnología, dando las recomendaciones para su correcto funcionamiento, que va a redundar en la obtención de resultados fidedignos y repetibles.

Para ello, se escogió tres puntos a desarrollar centrados en lo siguiente:

- El pesado de muestras
- Determinación de humedad
- Uso de la Tecnología NIR en la Industria Alimentaria

Palabras clave: Equipos de Laboratorio, Determinación de Peso, Determinación de Humedad, Infrarrojo Cercano.

ABSTRACT

The present work pretended to develop some basic criteria to select the suitable technology in a laboratory of food analysis, as well as to present the factors that affect the equipment that are used in each technology, giving the recommendations for its correct functioning, that goes to result in the obtaining of reliable and repeatable results.

To do this, three points were chosen to be developed focusing on the following:

- The weighing of samples
- Determination of humidity
- Use of NIR Technology in the Food Industry

Keywords: Laboratory Equipment, Weight Determination, Moisture Determination, Near Infrared.

I. INTRODUCCIÓN

La presente monografía pretendió plasmar algunos de los conocimientos adquiridos dentro mi experiencia profesional en el sector comercial de equipos de laboratorio discutiendo los criterios más apropiados para seleccionar equipamiento dentro de los laboratorios.

Uno de los factores claves para el éxito de una empresa es el Control de Calidad de alimentos, así como la Investigación y Desarrollo. Dentro de este contexto cobra importancia la adecuada selección y uso de la instrumentación dentro del laboratorio. Esta selección no solo implica escoger la tecnología adecuada, sino que además es necesario tener el criterio adecuado para seleccionar el proveedor que suministrará los equipos quien debe asegurar un adecuado servicio post-venta.

Finalmente, es necesario conocer los factores externos que pueden afectar la performance de los equipos de laboratorio así como el correcto manejo de las muestras a analizar.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTANCIA DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

En el sistema de calidad de un laboratorio, y más si cabe en los dedicados a la evaluación de riesgos químicos y físicos en Higiene Industrial, los equipos de medición constituyen la herramienta principal del trabajo. De ahí que todo lo relacionado con la gestión y control de los equipos de medición (adquisición y recepción de los equipos, procedimientos de puesta en marcha y utilización, plan de mantenimiento y calibración, registros, etc.), es de gran importancia, tanto para la correcta ejecución de los ensayos y/o calibraciones, como para la obtención de resultados analíticos con la fiabilidad y la precisión requeridas (Martí 2001).

2.2 ADQUISICIÓN DE EQUIPOS

De acuerdo a Martí (2001) el laboratorio debe disponer de política y procedimiento para la selección y adquisición de los equipos de medición, que incluya:

- Especificación de las características necesarias, de acuerdo con los requisitos de tolerancias e incertidumbres.
- Selección y evaluación de los proveedores. El laboratorio debe evaluar a los proveedores y mantener un registro de estas evaluaciones. Es recomendable, siempre que sea posible, seleccionar los suministradores que cumplen con la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025 o que tienen implantado un sistema de calidad acorde, por ejemplo, con las normas ISO 9000.
- Requisitos solicitados al proveedor, tales como: documentación, certificado de calibración o verificación, período de garantía, período de entrega, etc. En la adquisición de los equipos nuevos el laboratorio debería exigirse, a los fabricantes o distribuidores, la disponibilidad del Manual de Instrucciones del equipo en español.
- Análisis de las ofertas frente a las especificaciones y selección de los equipos. Todas las actividades, relacionadas con la compra de los equipos y materiales, conviene documentarlas y archivarlas.

A continuación, se presentan las siete consideraciones a tomarse antes de comprar un equipo de laboratorio (Daugherty 2014).

2.2.1 PRECIO

Al comprar equipos de laboratorio nuevos (o renovados), el precio siempre es una preocupación importante. No sólo debe tenerse en cuenta el precio de compra, sino cuánto costará mantener adecuadamente el equipo durante su vida útil. ¿Cuánto cuestan las piezas de repuesto o consumibles? ¿Cómo se compara el precio de compra con otras marcas y modelos similares en el mercado? Una comparación de lado a lado de las diferentes marcas y modelos puede simplificar el proceso de toma de decisiones.

2.2.2 CONTRATO DE SERVICIO

En primer lugar, averiguar la duración de la garantía del fabricante, ya que varía de fabricante a fabricante. Después de que expire el período de garantía, considere qué términos y condiciones del contrato de servicio están disponibles y a qué costo. ¿El contrato de servicio es largo o corto plazo? ¿Existe una cláusula de renovación automática? ¿Cuáles son los gastos de cancelación? ¿Hay un tiempo de respuesta garantizado? ¿Se incluyen las partes y los viajes en el costo del contrato? Antes de celebrar cualquier contrato con el Fabricante del Equipo Original (OEM) o con un proveedor externo, es vital comprender exactamente lo que está firmando. No cometa el error de asumir que el contrato tiene términos y condiciones favorables. El consumidor debe consultar siempre a un experto antes de firmar un contrato, independientemente de cualquier táctica de ventas desplegada en la compra inicial del equipo de laboratorio.

2.2.3 DISPONIBILIDAD DE PIEZAS Y CONSUMIBLES

Los pros y los contras de las piezas certificadas OEM y los nuevos consumibles frente a piezas y consumibles reacondicionados deben ser considerados. ¿Las partes nuevas y renovadas y los precios de los consumibles están dentro del presupuesto de mantenimiento de su equipo? Es importante revisar el lenguaje referente a partes y consumibles en el contrato o entrevistar posibles proveedores de servicio de tiempo y material que puedan realizar el mantenimiento requerido en el equipo de laboratorio que se está considerando.

2.2.4 SOPORTE TÉCNICO Y ACTUALIZACIONES DEL SISTEMA

El soporte técnico y las actualizaciones del sistema suelen incluirse en los términos y condiciones con la compra de un costoso contrato de servicio. Dado que las organizaciones tienen alternativas al contrato de servicio tradicional, sería ventajoso negociar soporte técnico y actualizaciones del sistema en la compra inicial de equipos costosos. El soporte técnico debe ser fácilmente accesible a través de un número gratuito y las actualizaciones del sistema deben proporcionarse sin costo ya que su objetivo es eliminar un mal funcionamiento del fabricante o mejorar el rendimiento general del equipo de laboratorio.

2.2.5 USUARIOS FINALES

Los niveles de habilidad de los diagnósticos clínicos que usan el equipo de laboratorio deben ser pensados seriamente antes de hacer una compra significativa. ¿Los usuarios finales necesitarán capacitación adicional sobre cómo operar adecuadamente el equipo o cómo optimizar los resultados y si la capacitación se proporciona en línea o sin conexión y a qué costo? ¿Los usuarios finales tendrán acceso ilimitado a los informes de uso en línea, mantenimiento y rendimiento de los proveedores, y serán proporcionados sin costo alguno?

2.2.6 USO DEL EQUIPO

Otro factor determinante cuando se considera la compra de equipos de laboratorio nuevos (o renovados) es el uso. ¿Con qué frecuencia y en qué ambiente se utilizará el equipo? Las preguntas planteadas en el primer párrafo son grandes ejemplos de detalles a considerar; las circunstancias en las que el equipo será utilizado ayudarán a determinar la lista de características del producto necesarias para hacer el trabajo bien y de manera oportuna.

2.2.7 AMIGABLE CON EL MEDIO AMBIENTE

Si ser amigable con el medio ambiente es importante, la selección de equipos de laboratorio «verde» es limitada y las características del producto disponibles pueden o no satisfacer sus necesidades de lista de deseos. La compra inicial podría ser más de lo previsto; sin embargo, los costos de mantenimiento durante su vida útil suelen ser significativamente reducidos.

2.3 DEFINICIONES UTILIZADAS EN PESAJE

Tisza (2010) menciona las definiciones importantes usadas en pesaje, las cuales se detallan a continuación.

2.3.1 MASA

En 1889, la primera Conferencia General de Pesas y Medidas declaró por resolución que la masa estaría definida por este cilindro como «1 kg» unidad básica de medida y para cualquier procedimiento de pesada, considerando la misma con una incertidumbre $U=0$.

El *kilogramo patrón* es un cilindro de una aleación compuesta por Platino/Iridio (Pt/Ir) en una relación de 90 por ciento de Pt y 10 por ciento de Ir, que cuenta con las siguientes características:

Diámetro y altura: 39 mm

Densidad: 21,5 g/cm³

2.3.2 TRAZABILIDAD

Propiedad del resultado de una medición, que permite relacionarlo con un patrón a través de una serie ininterrumpida de comparaciones.

2.3.3 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Rango, en el cual se encuentra el valor verdadero de medición, con un margen de probabilidad conocido.

2.3.4 CALIBRACIÓN

Operación que permite, en condiciones específicas, relacionar el valor indicado por un instrumento con el valor representado por un patrón trazable.

2.3.5 AJUSTE

Graduar o igualar en un instrumento, la desviación existente entre el valor indicado y el valor verdadero, en base a un patrón trazable.

2.3.6 CAPACIDAD MÁXIMA (MÁX)

Máximo valor de carga que indica el instrumento.

2.3.7 DIVISIÓN DE INDICACIÓN (d)

Valor expresado en unidades de masa de la división más pequeña equivalente a la diferencia entre dos indicaciones de valores consecutivos.

2.3.8 CANTIDAD DE DIVISIONES (n)

Cociente entre la capacidad máxima y el valor de la división ($n = \text{Max}/d$).

III. DESARROLLO DEL TEMA

El presente trabajo pretende profundizar en la selección y uso de los equipos de laboratorio destinados al análisis de los alimentos, en base a mi experiencia profesional dentro de la realidad de la industria peruana incluyendo experiencias dentro del sector de Universidades.

Por lo señalado he escogido tres puntos de discusión:

- Selección y uso de equipos para determinación de peso
- Selección y uso de equipos para determinación de humedad
- Selección y uso de tecnologías NIR para el análisis de alimentos

3.1 SELECCIÓN Y USO DE EQUIPOS PARA DETERMINACIÓN DE PESO

La gran mayoría de protocolos de análisis de laboratorio incluyen una o más operaciones de pesaje por lo que se hace imperativo conocer los factores que contribuyen a seleccionar la balanza más adecuada, así como conocer los factores críticos de una buena pesada.

El error más frecuente que he observado en la industria por las personas encargadas de seleccionar una balanza para su laboratorio es escoger la balanza basado solo en su capacidad y la precisión de indicación, más conocida en el *argot* local como los «decimales de lectura». Centrarnos en solamente en estos dos factores es ignorar otras características técnicas de importancia como son la linealidad y repetibilidad. La primera impacta en la exactitud de valores dentro del rango de pesaje y la segunda impacta en la precisión.

En la figura 1 se muestra una ficha técnica donde se señala los valores de linealidad y repetibilidad de diversos modelos de balanzas analíticas.

Gemini Series Specifications

| Capacity / Resolution | | GR-120 | GR-200 | GR-300 | GR-202 |
|---------------------------------|-------|--------------|---|---------------|----------------------------|
| Gram | (g) | 120x0.0001 | 210x0.0001 | 310x0.0001 | 210x0.0001 / 42x0.00001 |
| | (mg) | 120,000x0.1 | 210,000x0.1 | 310,000x0.1 | 210,000x0.1 / 42,000x0.01 |
| Decimal Ounce | (oz) | 4.2x0.00001 | 7.4x0.00001 | 10x0.00001 | 7.4x0.00001 / 1.4x0.000001 |
| Troy Ounce | (ozt) | 3.8x0.00001 | 6.7x0.00001 | 9.9x0.00001 | 6.7x0.00001 / 1.3x0.000001 |
| Pennyweight | (dwt) | 77x0.0001 | 135x0.0001 | 199x0.0001 | 135x0.0001 / 27x0.00001 |
| Carat | (ct) | 600x0.001 | 1050x0.001 | 1550x0.001 | 1050x0.001 / 210x0.00001 |
| Momme | (mom) | 32x0.0001 | 56x0.0001 | 82x0.0001 | 56x0.0001 / 11x0.00001 |
| Grain Unit | (GN) | 1851x0.002 | 3240x0.002 | 4784x0.002 | 3240x0.002 / 648x0.0002 |
| Tola | (t) | 10x0.00001 | 18x0.00001 | 26x0.00001 | 18x0.00001 / 3.6x0.000001 |
| Tael | (TL) | 3.1x0.00001 | 5.5x0.00001 | 8.2x0.00001 | 5.5x0.00001 / 1.1x0.000001 |
| Percentage Min Div | | | | 0.01% | |
| Counting Min Weight | | | | 0.1 mg | |
| Linearity | | ±0.0002 g | ±0.0002 g | ±0.0002 g | ±0.0002 / ±0.00003 g |
| Repeatability / Std Dev | | 0.0001 g | 0.0001 g | 0.0001 g | 0.0001 / 0.00002 g |
| Stabilization Time | | | 3.5 seconds | | 3.5 / 8 seconds |
| Sensitivity Drift (10°C – 30°C) | | | ±2ppm / °C (10°C – 30°C / 50°F – 86°F) | | |
| Display Refresh | | | 5 times per second / 10 times per second | | |
| Pan Size | | | Ø 85 mm / 3.3 inches | | |
| Physical Dimensions | (mm) | | 249(W) x 330(D) x 327(H) | | |
| | (in) | | 9.8(W) x 12.99(D) x 12.87(H) | | |
| Breeze Break Dimensions | (mm) | | 178(W) x 160(D) x 233(H) | | |
| | (in) | | 7.01(W) x 6.5(D) x 9.17(H) | | |
| Operating Temperature | | | 5°C – 40°C / 41°F – 104°F RH less than 85% | | |
| Weight | | | Approximately 6.0 kg / 13.2 lb | | |
| Power | | | 100, 120, 220, 240 VAC (AC Adapter) 50 Hz / 60 Hz, 11VA | | |
| Standard Accessories | | | Manual, AC Adapter, Reference Card | | |
| Ext. Cal. Mass (optional) | | 50 g / 100 g | 100 g / 200 g | 200 g / 300 g | 100 g / 200 g |

Figura 1: Ficha técnica de algunos modelos de balanzas analíticas.

FUENTE: Adaptado de A&D Weighing 2011

A estos factores se hace necesario agregar si es que se necesita una balanza con ajuste externo solamente o es mejor tener un equipo con una pesa interna incorporada que haga el trabajo cotidiano más simple y dinámico. El adquirir una balanza con esta última característica implica una mayor inversión, pero la misma se ve compensada en evitar dañar pesas patrones que no son económicas y más aún si se trata de pesas clase F1 o E2, tal como se muestra en las figuras 2 y 3.



Figura 2: Pesa patrón externa de 200 gramos clase E2.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

Pesa interna de ajuste

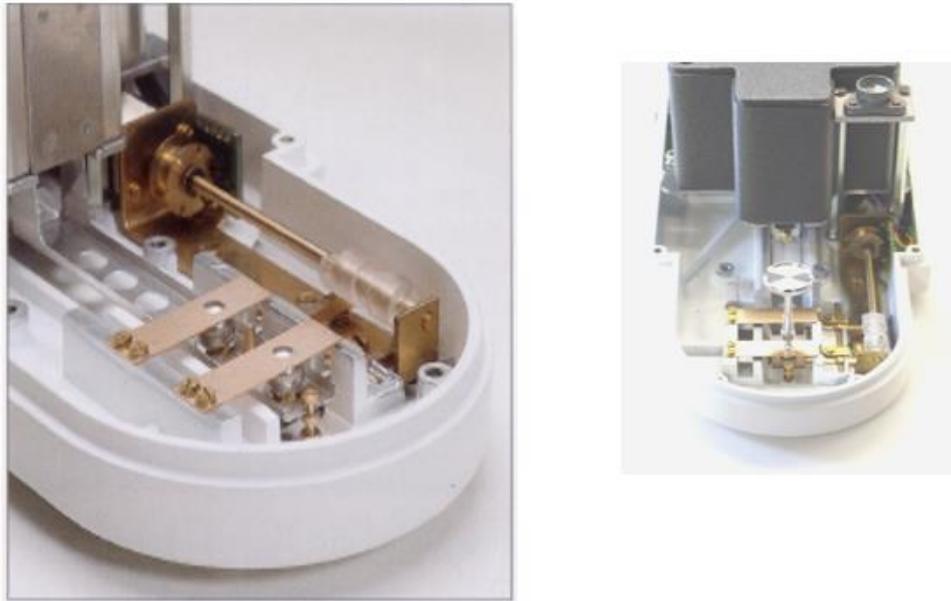


Figura 3: Sistema de ajuste interno de una balanza.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

Un criterio errado a la hora de seleccionar es el de preocuparse por el aumento de precio al aumentar la capacidad de la balanza. En general en balanzas de clase II los precios no aumentan dramáticamente al subir de capacidad, pero si cuando se mejora la precisión de indicación.

Hasta el momento se ha hablado de especificaciones que normalmente se encuentran en las fichas técnicas de las balanzas, pero, ¿acaso hay otros factores a considerar que no estén ahí? La respuesta es *sí*. Uno de ellos es conocer el valor mínimo que se puede pesar en una balanza. Muchos usuarios desconocen que no pueden asumir la legibilidad de la balanza como la mínima cantidad que pueden pesar y caen en la mala decisión de ignorar las recomendaciones metrológicas.

Otro factor ignorado es el tipo de sensor de pesaje y el material en el que está construido la balanza. Respecto al primero existen varios tipos de sensores según el número de divisiones que posea la balanza que va de la mano con la clase a la que pertenece. Generalmente una balanza de tres o cuatro decimales posee un sensor de pesaje de compensación electromagnética (figura 4), el cual puede o no tener flejes. Si los tiene, su reparación es viable.

Compensación Electromagnética

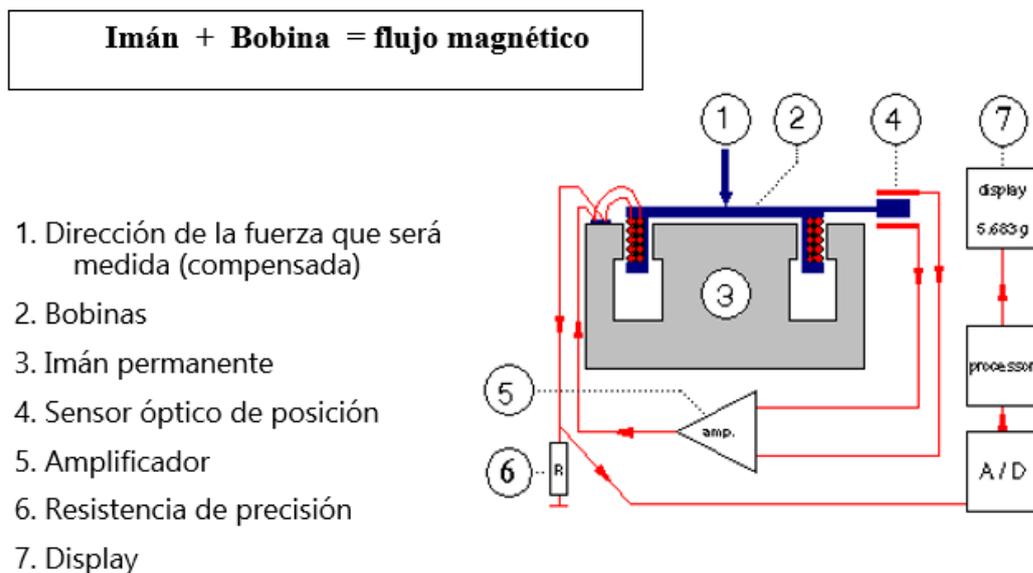


Figura 4: Sensor de pesaje por compensación electromagnética.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

El segundo factor olvidado es el material del que está fabricada la balanza. Mucho plástico en la carcasa del equipo y se tendrá un equipo inestable con pesadas con poca repetibilidad y exactitud, más aún cuando la balanza cuenta con un sensor de pesaje de baja calidad.

Hasta este punto he abordado factores que están asociados netamente al equipo en sí. Sin embargo, si se desea tener buenas pesadas es necesario conocer los factores externos que influyen en una buena medición (figura 5).

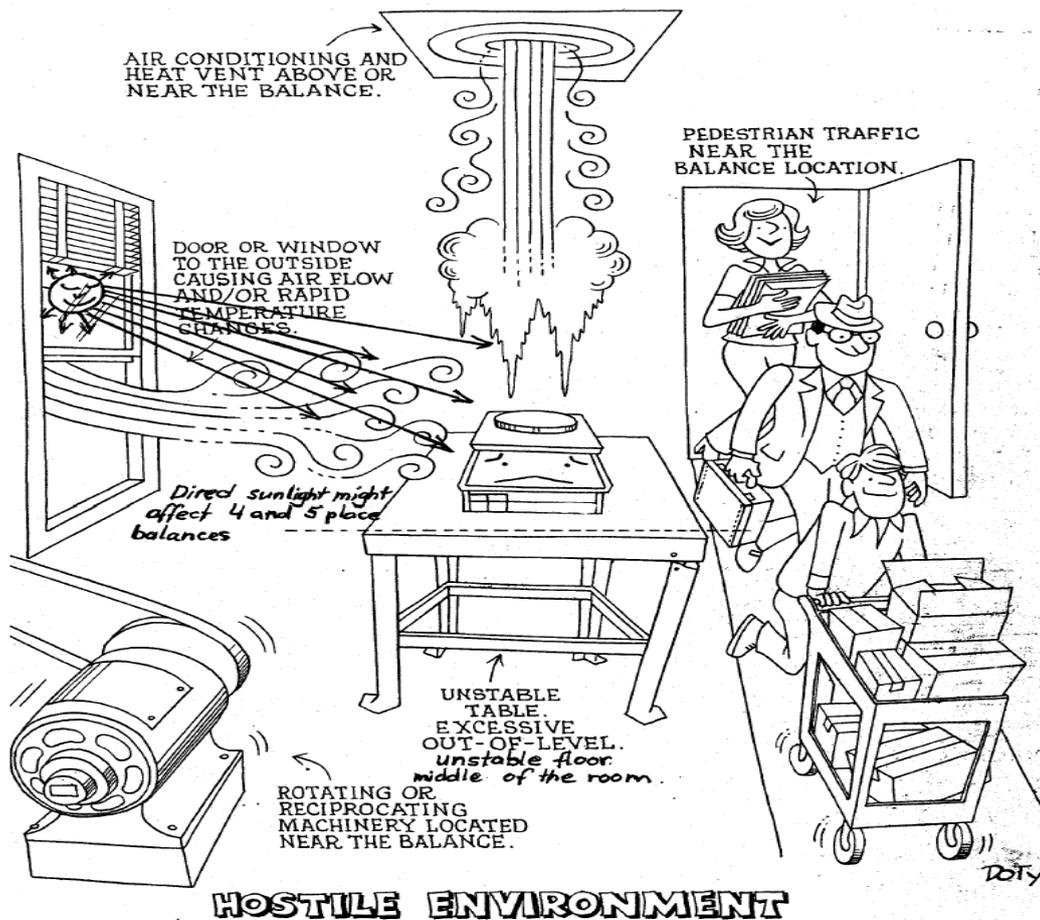


Figura 5: Factores externos que influyen en la pesada dentro del laboratorio.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

En la figura 5 se resume los factores externos que influyen en la pesada dentro del laboratorio, dentro de los cuales se tienen:

- Corrientes de aire
- Superficies inestables o anguladas donde se coloca la balanza
- Ambientes con mucha vibración
- Cambios de temperatura drásticos dentro del laboratorio
- Rayos del sol que impacten en la balanza.
- Baja humedad relativa

Además de los factores externos mencionados existen factores asociados a la muestra como son que se detallan a continuación.

3.1.1 TEMPERATURA DE LA MUESTRA

La muestra, la balanza y el entorno deben estar a la misma temperatura, esto previene corrientes de convección.

Las muestras más frías parecen ser más pesadas que lo que realmente son y las muestras más calientes parecen más livianas (figura 6).



Figura 6: Efecto de la temperatura de la muestra en la pesada.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

3.1.2 CARGAS ELECTROSTÁTICAS

Las cargas electrostáticas o electricidad estática, afecta materiales que tienen baja conductividad eléctrica y con gran área superficial como plásticos, vidrio, polvos, etc. La causa más común de estas cargas es la fricción y se manifiesta durante la pesada al no conseguir una buena repetibilidad ya que las lecturas varían -; tal como se puede apreciar en la figura 7.

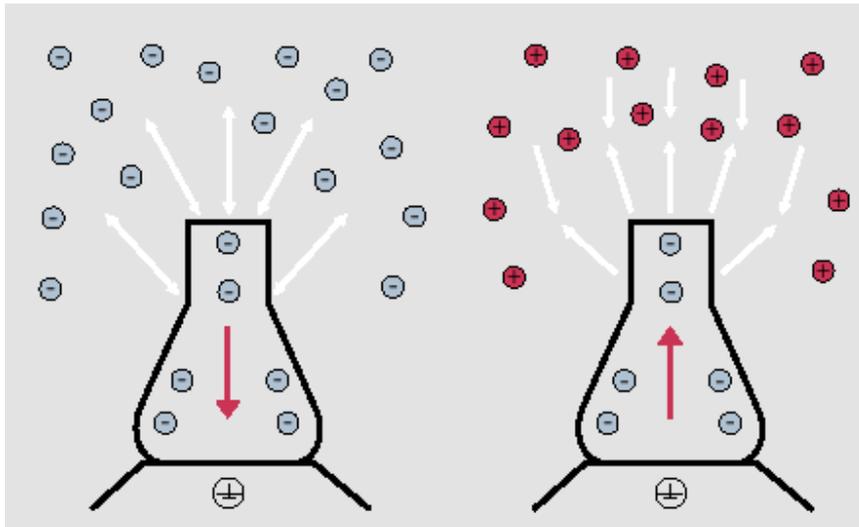


Figura 7: Efecto de las cargas electrostáticas en la pesada.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

Al respecto se recomienda el uso de ionizadores externos (figura 8) para poder retirar esta carga estática de la muestra o el contenedor de la muestra. Esto es muy útil en la Sierra donde existe baja humedad relativa. En la industria minera local es frecuente observar esta problemática la cual se vuelve más crítica cuando se usan balanzas semi-micro o microbalanzas, muy usadas en la industria para la determinación de oro por copelación.

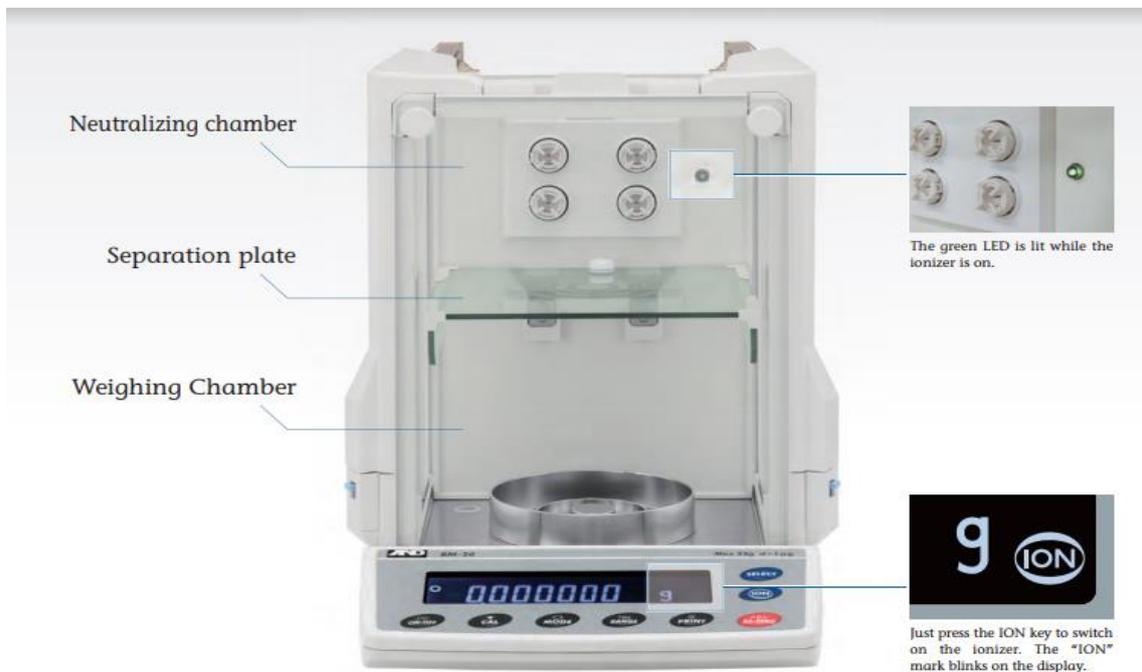


Figura 8: Microbalanza con ionizador incorporado dentro de la cámara de pesaje.

FUENTE: Tomado de A&D Weighing 2011

3.2 SELECCIÓN Y USO DE EQUIPOS PARA LA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE ALIMENTOS

Dentro de la industria alimentaria, uno de los factores fisicoquímicos de mayor interés es el valor de humedad del alimento ya sea como producto final o como producto intermedio dentro de la línea de proceso por lo que conocer los criterios para decidir cómo medirla correctamente es un tema importante a desarrollar.

Las metodologías más usadas para calcular la humedad son el método de la estufa (pérdida de peso), la termogravimetría infrarroja, la capacitancia y la espectroscopía infrarroja siendo el último el menos usado por su elevado costo.

El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando la estufa con o sin utilización complementaria de vacío, con convección natural o con convección forzada, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra. La transferencia de calor en la estufa sin el uso de vacío se da principalmente por convección ya sea natural o forzada (figura 9).

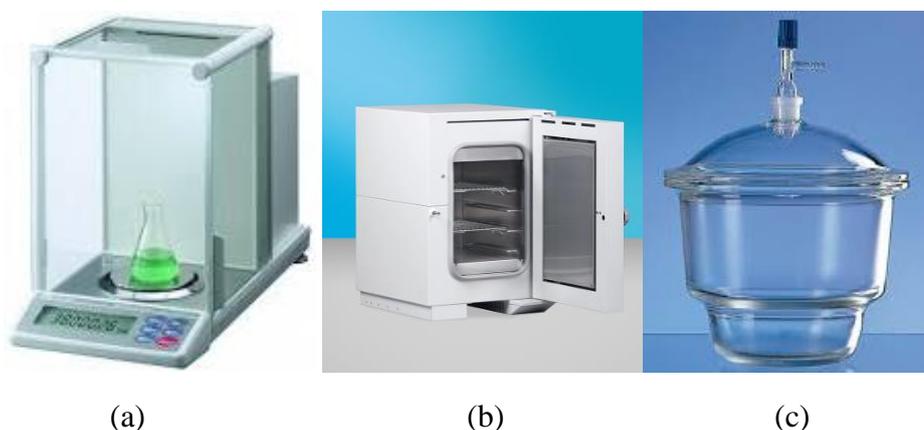


Figura 9: Balanza analítica (a), estufa (b) y desecador (c).

FUENTE: Tomado de A&D Weighing 2011, MMM Group 2008 y Brand s.f.

Las estufas al vacío merecen una mención aparte (figura 10). El secado bajo presión reducida (25-100 mm Hg), permite una eliminación más completa del agua y volátiles sin descomposición dentro de un rango de 3-6 horas de tiempo de secado.

Los hornos de vacío necesitan una purga de aire seco además de controles de temperatura y vacío para operar dentro de lo que el método estipule.

El diseño del equipo debe tener las condiciones ideales para impedir la formación de puntos fríos en la cámara evitando así el riesgo de la condensación y la contaminación de las muestras.

También se debe tomar en cuenta las especificaciones que debe tomar la bomba de vacío la que debe estar centrada al menos en el tipo de muestras (tipo de solución a evaporar considerando si hay o no solventes orgánicos), caudal y vacío final que se requiere.



Figura 10: Estufa con bomba de vacío.

FUENTE: Tomado de MMM Group 2008

La termogravimetría infrarroja es el método para extraer la humedad de una muestra por calentamiento de la misma y determinando el resultado de la pérdida de peso (gravimetría) usando una balanza de humedad (figura 11) la cual cuenta con una fuente de radiación infrarroja. Se desprende que la transferencia de calor se da principalmente por radiación.



Figura 11: Balanza de humedad.

FUENTE: Tomado de A&D Weighing 2011

A continuación, se presentan las fuentes de radiación infrarroja más usadas (figura 12):

- Lámpara IR convencional de 220V/ 250W
- Lámpara de luz halógena
- Resistencia IR de cuarzo
- Resistencia IR metálica tubular
- Calefactor IR cerámico



Figura 12: Fuentes de radiación infrarroja más usadas en las balanzas termogravimétricas.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

En la industria el interés principal al usar este tipo de tecnología es la de optimizar tiempos por lo que uno de los criterios a evaluar es cuál de las fuentes de radiación permite alcanzar

la temperatura de trabajo en el menor tiempo posible siempre y cuando no se quemara la muestra (figura 13).

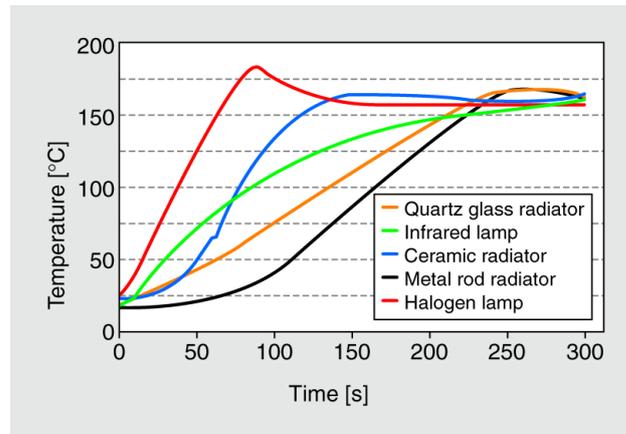


Figura 13: Comparación de las fuentes de emisión infrarroja.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

En la figura 13 se observa que la fuente de emisión más rápida es la lámpara halógena por lo que su uso está muy difundido en la industria en general. Uno de los sectores donde más repercusión tiene tener un equipo con la tecnología más rápida es el sector pesquero donde se usa mucho para la corrección de proceso donde el ahorro de una mínima cantidad de minutos en obtener los resultados significa mucho dinero.

Para la optimización de una correcta medición usando termobalanzas es necesario tener una muestra homogénea y colocar una capa delgada de muestra como la que se muestra en la figura 14.

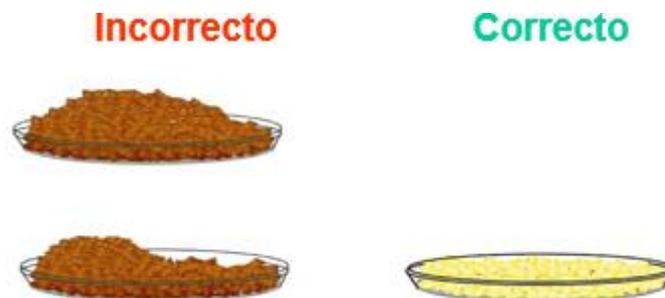


Figura 14: Correcta e incorrecta forma de colocar la muestra en los platillos.

FUENTE: Tomado de Tisza 2010

Otro error frecuente en la industria es tratar de configurar parámetros de secado en la balanza de humedad de tal manera de equiparar los resultados obtenidos con el método de la estufa. Es necesario comprender que es natural tener diferencias de resultados de humedad al aplicar metodologías diferentes las cuales tendrán linealidad en el espectro posible de resultados.

La determinación de humedad por capacitancia se usa mucho en la determinación de humedad de granos y semillas siendo los equipos de campo los más usados para la determinación incluso del precio que se debe pagar al momento de la compra. Este tipo de tecnología es aún más rápida que los dos métodos anteriormente citados pero está limitada a rangos de humedad menores al 20 por ciento por lo general. En la figura 15 se muestra un medidor de humedad portátil que utiliza la capacitancia



Figura 15: Medidor de humedad portátil que utiliza la capacitancia.

FUENTE: Tomado de Delver 2017

Finalmente, también se usan los equipos de infrarrojo cercano cuya tecnología es muy adecuada para medir humedad, siendo igual de rápido que el método de la capacitancia pero con la ventaja de poseer un rango más amplio para medir humedad y además poder determinar simultáneamente otros parámetros de interés como proteína y grasa.

3.3 SELECCIÓN Y USO DE TECNOLOGÍA NIR PARA EL ANÁLISIS DE ALIMENTOS

El nivel actual de exigencia del mercado internacional ha obligado a una optimización de los

procesos de producción. Dentro de este marco nace la necesidad de contar con instrumentos de análisis rápido para poder controlar la calidad de lo que se está produciendo y de esa manera tener la posibilidad incluso de corregir proceso. Debido a lo anterior, ha sido necesario implementar técnicas como la Espectroscopía Infrarroja, la cual permite obtener resultados proximales en muy poco tiempo, generalmente en menos de un minuto. Este tipo de tecnología se usa en Perú de forma muy exitosa en la industria pesquera y algunas empresas grandes de alimentos.

Las limitaciones más frecuentes con las que se encuentran las empresas de alimentos para adquirir equipos de espectroscopía infrarroja y siendo más concreto, aquellos que usan el Espectro de Infrarrojo Cercano (NIR), son el alto costo inicial y el poco conocimiento que se tiene acerca de su principio de funcionamiento. Un equipo NIR de mesa a usarse en laboratorio puede costar entre los 100 000 a 300 000 soles según el tipo de tecnología que utilice.

Antes de hablar del tipo de tecnología que usan los principales equipos que hay en el mercado, creo prudente describir brevemente qué es lo que hace el equipo: básicamente el equipo lo que hace es excitar una muestra con longitudes de onda en el rango Infrarrojo y registrar la absorción de luz a esas longitudes de onda. Luego de eso lo que viene a continuación es el uso de un *software* que relaciona la data recogida y la asocia con valores de parámetros obtenidos a través de la química húmeda. Se desprende de lo señalado que se trata de equipos de medición indirecta.

Un error frecuente cuando el analista no conoce el principio de funcionamiento es asociar la no obtención de valores razonables a errores instrumentales. En la práctica se da que los «errores» en las mediciones se deben más a un tema de no contar con modelos matemáticos adecuados para predecir los resultados deseados para esa muestra. Y es que lo más frecuente es que el proveedor local ofrezca la venta del equipo con los modelos de predicción ya creados. Justo en este punto radica la razón de que sea necesaria agregar más puntos de medición a los modelos matemáticos ya creados con muestras con tratamiento y naturaleza distinta a las del cliente.

En el mercado generalmente se encuentran cuatro tipos de tecnología de medición NIR, los cuales se detallan posteriormente.

3.3.1 EQUIPOS BASADOS EN FILTROS

De acuerdo a Caneda (2014), este tipo de tecnología es útil cuando se tiene un producto realmente homogéneo, ya que solo manejaremos bandas estrechas y específicas de longitudes de onda. Además, de la misma manera que el monocromador debe girar la red de difracción (o prisma) para «barrer» todo el espectro, en esta tecnología, el disco de filtro debe producir el giro completo para permitir recorrer todos los filtros ópticos del sistema, dándole el tiempo suficiente a cada uno para una señal robusta en relación al ruido propio del detector. En la figura 16 se muestra el diagrama de un sistema NIR basado en filtros.

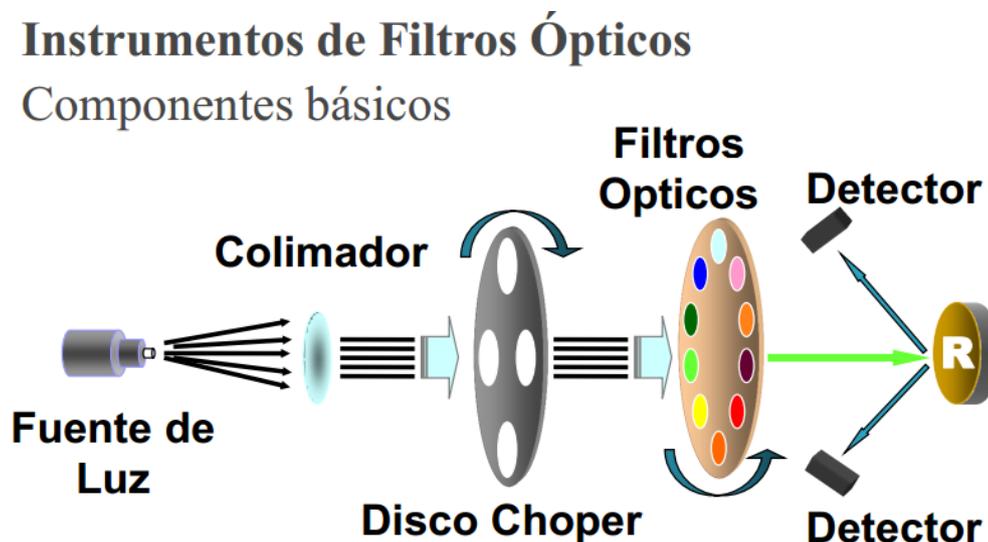


Figura 16: Diagrama de un sistema NIR basado en filtros.

FUENTE: Tomado de Tecno Científica s.f.

3.3.2 EQUIPOS CON RED DE DIFRACCIÓN O MONOCROMADOR

Según Caneda (2014) en el sistema de monocromación, puede llegar a lograrse mayor resolución, pero el sistema debe realizar un escaneo completo para obtener una imagen espectral completa del producto.

Su detector es un Fotodiodo InGaAs pero de un solo componente. Por tanto, para coleccionar la imagen completa está obligado a mover el elemento dispersor (prisma o red de difracción) de manera de focalizar cada porción del espectro sobre el único mono-detector.

Así, el tiempo de medición es más lento y en realidad la imagen espectral corresponderá a una «diagonal» del producto, si se trata de aplicar en la línea de proceso, en lugar de una sección transversal del mismo.

En la figura 17 se muestra el diagrama de un sistema NIR basado en monocromador.

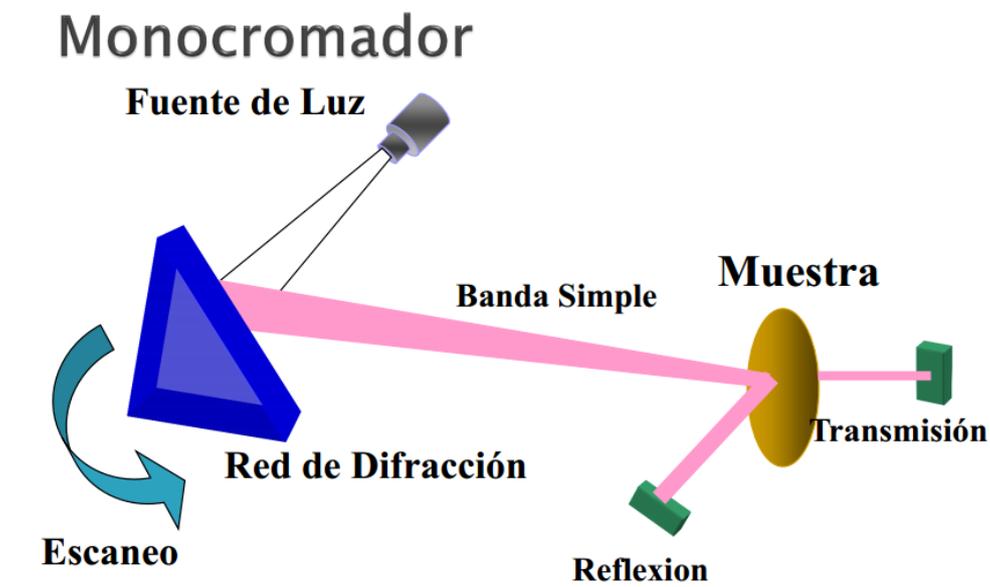


Figura 17: Diagrama de un sistema NIR basado en monocromador.

FUENTE: Tomado de Tecno Científica s.f.

3.3.2 EQUIPOS FT O INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

Según Peguero (2010), los instrumentos de transformada de Fourier (FT) dividen la luz en dos haces cuyas longitudes de trayectoria se pueden variar periódicamente para dar modelos de interferencia mediante un espejo móvil. Variando la posición de estos espejos se pueden crear interferencias constructivas o destructivas. Recombinando las dos haces se obtiene una señal; el interferograma (representación de la señal en dominio tiempo) en el espectro (representación en el dominio de frecuencias). En la figura 18 se muestra el diagrama de un sistema NIR basado en transformada de Fourier.

FT NIR-MIR-IR Interferómetros

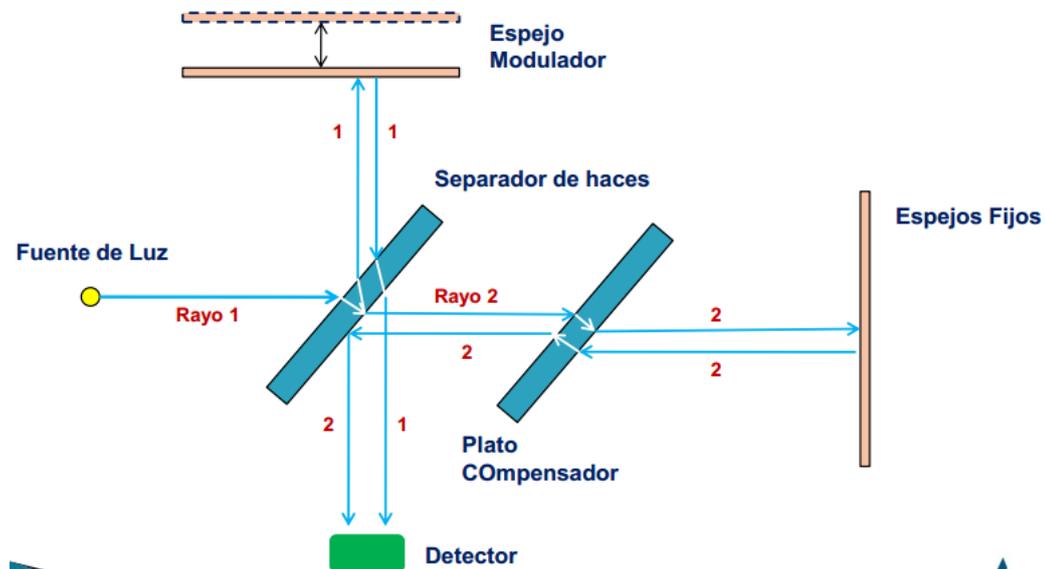


Figura 18: Diagrama de un sistema NIR-FT.

FUENTE: Tomado de Caneda 2014

3.3.3 EQUIPOS DE ARREGLO DE DIODO

En la figura 19 se muestra el diagrama de un sistema NIR basado en arreglo de diodos. La característica principal de esta tecnología no es solo que obtiene un espectro completo de la muestra, sino que también es ultra rápida y colecta *todas* las longitudes de onda simultáneamente, haciéndola ideal para las determinaciones *on-line*. Al no poseer partes móviles en el dispositivo dispersor de luz, no se producen derivas en su señal, y no hace falta recurrir a procedimientos de calibración óptica del espectrómetro en sí. Esta es una diferencia importante respecto de los sistemas que utilizan un monocromador para realizar el barrido sobre todas las longitudes de onda del rango NIR.

Arreglo de Diodos o CCD

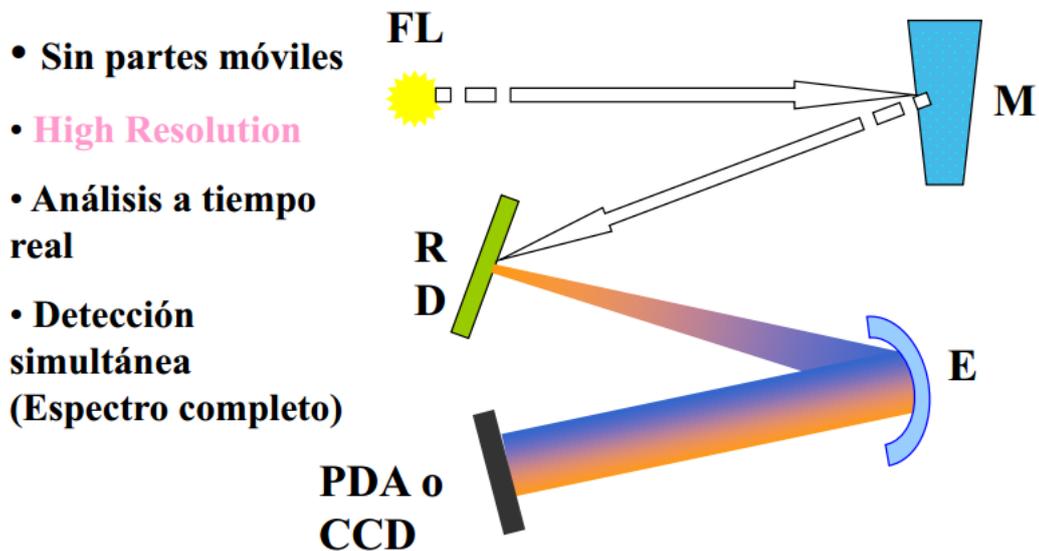


Figura 19: Diagrama de un sistema NIR con arreglo de diodos.

FUENTE: Tomado de Caneda 2014

Se puede resumir que si lo que se necesita solo es medir humedad, los equipos basados en filtros pueden hacer el trabajo a un muy bajo costo. Sin embargo, si el interés es abarcar mediciones de proteína, grasa y cenizas de muestras no tan homogéneas quizás sea más conveniente analizar las otras opciones que tendrán un precio mucho mayor.

Una mención aparte merece la tecnología NIR aplicada a la línea de proceso o también llamada NIR *on line* con muy poco uso en el Perú a comparación de otras realidades cercanas a las nuestras como es la Industria de la harina de soya en Argentina donde ya existen plantas funcionando con este tipo de tecnología.

Finalmente, es conveniente que una mayor difusión de este tipo de tecnología en la Industria Alimentaria debe ser de interés para las Universidades para acercar al estudiante y futuro profesional con una realidad que se ve promisoría y pronto necesaria.

IV. CONCLUSIONES

- Para elegir una balanza de laboratorio es pertinente conocer desde un principio los factores externos que influenciarán en la pesada.
- Es importante conocer los conceptos metrológicos usados en el pesaje a fin de comprender la repercusión que pueda tener las especificaciones técnicas del instrumento a la hora de tener resultados dentro de una tolerancia aceptable.
- Existen varios métodos para determinación de humedad, pero no siempre la tecnología más costosa será la mejor.
- La tecnología de Infrarrojo Cercano (NIR) puede ser de mucha utilidad en la industria alimentaria para poder mejorar productividad y competitividad.

V. RECOMENDACIONES

- Es importante reflexionar sobre el contacto que tiene el estudiante de pre-grado con tecnología que se esté usando actualmente en la industria a fin de no crear brechas demasiado grandes.
- Debería considerarse incluir en el currículo experiencias para el alumnado donde pueda visitar diversos tipos de laboratorio donde pueda usar tecnología variada y aprender de la experiencia de colegas con más experiencia.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A&D Weighing, Estados Unidos. 2011. Analytical and semi-micro balances (en línea, sitio web). Consultado 7 set. 2017. Disponible en https://weighing.andonline.com/sites/default/files/documents/Analytical%20Lit_web_0.pdf.

Brand, Alemania. s.f. Desiccators, filter flasks (en línea, sitio web). Consultado 13 set. 2017. Disponible en <https://www.brand.de/en/products/general-lab-products/desiccators-filter-flasks/>.

Caneda, G. 2014. Espectrometría NIR, aplicaciones industriales (memoria USB). Buenos Aires, Argentina, TecnoCientífica. 1 memoria USB.

Daugherty, J. 2014. Seven considerations for purchasing new lab equipment (en línea, sitio web). Consultado 7 set. 2017. Disponible en <http://laboratory-manager.advanceweb.com/7-considerations-for-purchasing-new-lab-equipment/>.

Delver, Argentina. 2017. Medidores de humedad portátiles (en línea, sitio web). Consultado 7 set. 2017. Disponible en <https://www.delver.com.ar/>.

Martí, A. 2001. NTP 582: Gestión de los equipos de medición en un laboratorio de higiene industrial (en línea). España, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. Consultado 13 set. 2017. Disponible en http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_582.pdf.

MMM Group, Alemania. 2008. Ecocell 22 - ECO line (en línea, sitio web). Consultado 13 set. 2017. Disponible en <https://www.mmm-medcenter.de/es/ecocell-22---ecoline?cat=453>.

Peguero, A. 2010. Tesis Doctoral. La espectroscopia NIR en la determinación de propiedades físicas y composición química de intermedios de producción y productos acabados. Tesis Ph.D. Barcelona, España, Universidad Autónoma de Barcelona.

Tecno Científica, Argentina. s.f. Sistema NIR para control de procesos (en línea). Consultado 13 set. 2017. Disponible en <http://www.tecnocientifica.com/prod/pdf/TecnolNIR.pdf>.

Tisza, R. 2010. Curso completo de pesaje (memoria USB). Lima, Perú, Liberty Americas. 1 memoria USB.