

VERIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS PARA PESAR DE ALCANCE MÁXIMO MAYOR A 1 TONELADA (FUNCIONAMIENTO NO AUTOMÁTICO)

CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA

M. en C. Luis Omar Becerra, Ing. Eduardo González, Ing. Félix Pezet,
km. 4,5 Carretera a los Cués, Municipio del Marqués, Querétaro, México

Tel (442) 211 05 00 Fax (442) 216 26 26

email lbecerra@cenam.mx egonzale@cenam.mx fpezet@cenam.mx

98-05-29

INTRODUCCIÓN

Los instrumentos para pesar de alto alcance (alcance máximo del instrumento mayor a 1 t), son instrumentos que presentan dificultades muy grandes en el manejo de pesas de valores nominales muy altos, incluyendo el transporte de las pesas hasta el lugar de calibración. Sin embargo, son muy utilizados en las transacciones comerciales, por tal motivo deben realizarse verificaciones periódicas (en algunos casos obligatorios) esto con el fin de comprobar que los errores del instrumento se mantengan dentro de los límites tolerados a su clase de exactitud.

DEFINICIONES

Instrumento para pesar: Instrumento de medición que se utiliza para determinar la masa de un cuerpo usando la acción de la gravedad sobre ese cuerpo.

Resolución: Diferencia más pequeña entre las indicaciones de un dispositivo indicador que puede ser distinguido significativamente.

Escalón de verificación: Valor, expresado en unidades de masa, usado para la clasificación y verificación de un instrumento.

Número de escalones de verificación: Es resultado de dividir el alcance máximo del instrumento de pesar entre el escalón de verificación, el resultado está dado en escalones de verificación. El número de escalones de verificación nos auxilia para clasificar el instrumento.

Clase de exactitud: Clase de instrumentos que satisfacen ciertos requisitos metrológicos destinados a mantener los errores dentro de los límites especificados.

Errores máximos tolerados (EMT): Valores extremos de un error permitido (tolerado) por las especificaciones, regulaciones, etc., para un instrumento de medición determinado.

Pesas: Medida material de la masa regulada considerando sus características físicas y metrológicas: forma, dimensiones, material, estado superficial, valor nominal y error máximo permisible.

Pesas patrón: Pesas que sirven para comparar otras pesas o instrumentos para pesar, atendiendo a sus errores máximos permitidos.

Masas: Medida materializada de la masa que no está regularizada en sus características físicas y metrológicas y que debe ser objeto de la autorización después de un examen de su forma, de su constitución y de la permanencia de su valor.

Masas patrón: Masas que sirven para comparar otras masas o instrumentos para pesar atendiendo a sus errores máximos tolerados.

Cargas complementarias: Cargas de sustitución en la cual su masa no puede ser modificada en el transcurso de la verificación.

Enlaces: Se designa por enlace la operación de sustitución de una carga en pesas patrones y masas patrones por las cargas complementarias. El instrumento debe dar resultados idénticos en los dos casos.

Sensibilidad: Para un valor dado de la masa medida, el cociente del cambio de la variable observada por el correspondiente cambio de la masa medida.

Movilidad: Aptitud de un instrumento para reaccionar a pequeñas variaciones de carga. El umbral de movilidad, para una carga dada, es el valor de la más pequeña sobrecarga que, cuando se deposita suavemente o se retira del receptor de carga, causa un cambio perceptible en la indicación.

DESARROLLO

El presente trabajo se refiere a la verificación de instrumentos para pesar con alcance máximo mayor a 1 tonelada. La razón para diferenciar estos instrumentos con los que tienen alcance máximo menor a 1 tonelada, es por que en la recomendación 76 de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), establece criterios diferentes en la cantidad de pesas patrón a utilizar entre instrumentos de acuerdo al alcance máximo (menor a 1 t, o mayor a 1 t).

Los instrumentos para pesar de funcionamiento no automático normalmente son tipo plataforma y utilizan celdas de carga como transductores de fuerza a masa, donde su superficie de pesada es cuadrada o rectangular, y están constituidas por secciones de pesada, considerando como sección a la superficie

limitada entre los ejes transversales al eje longitudinal de la plataforma que pasan por las celdas de carga consecutivas, (ver figura 1).

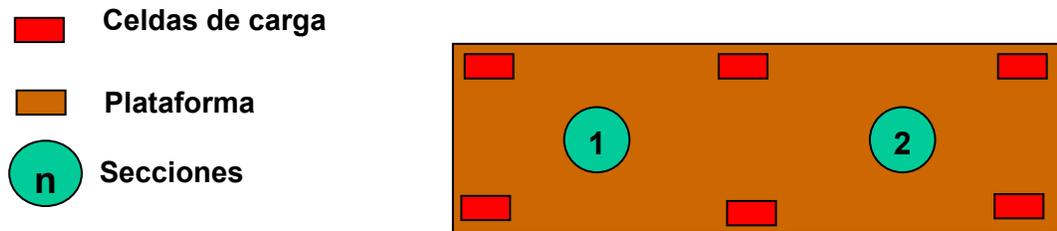


figura 1.- Báscula de Plataforma.

Las pruebas que se realizan a este tipo de instrumentos son básicamente la prueba de excentricidad, la prueba de repetibilidad, y la prueba de linealidad. Los resultados de estas pruebas son los que se comparan con los errores máximos tolerados a la clase de exactitud de los instrumentos en estudio.

En verificaciones iniciales los instrumentos tienen que cumplir con errores mas cerrados, de hecho la mitad de los errores que se les permite para verificaciones de los equipos en servicio.

CLASIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS PARA PESAR

Los instrumentos para pesar se clasifican de acuerdo a la OIML en cuatro clases de exactitud,

- Especial I
- Fina II
- Media III
- Ordinaria IIII

Esta clase de exactitud estará determinada de acuerdo al número de escalones de verificación que depende de la capacidad máxima del instrumento y del escalón de verificación.

$$n = \frac{\text{Max}}{e}$$

El número de escalones de verificación y la capacidad mínima están representados en la tabla 1 en función de la clase de exactitud.

Clase de exactitud	Número de escalones de verificación		Capacidad mínima Min (Limite inferior)
	Mínimo	Máximo	
Especial I	50 000	-	100 e
Fina II	5 000	100 000	50 e
Media III	500	10 000	20 e
Ordinaria IIII	100	1 000	10 e

Tabla 1.- Clasificación de los instrumentos para pesar, aplicado a instrumentos para pesar de alcance máximo mayor a 1 tonelada

En instrumentos con escalones múltiples, las exigencias de la tabla 2 deberán ser cumplidas en función de la clase de exactitud

Clase	I	II	III	III
Max/e _{i+1}	≥50 000	≥5 000	≥ 500	≥ 50

Tabla 2.- Clasificación de los Instrumentos

ERROR MÁXIMO TOLERADO

El error máximo tolerado es la diferencia máxima, en más o en menos, establecida en la reglamentación o norma respectiva, entre la

indicación de un instrumento y el correspondiente valor convencionalmente verdadero, determinado por masas patrones de referencia, con el instrumento estando a cero sin carga y en la posición de referencia.

El error máximo tolerado para verificaciones iniciales de acuerdo a la R76 se presenta en la tabla 3, para verificaciones de los equipos en servicio el error permitido es el doble.

EMT verificaciones iniciales	Para una carga m dada en escalones de verificación e			
	Clase I	Clase II	Clase III	Clase III
± 0,5 e	0 ≤ m ≤ 50 000	0 ≤ m ≤ 5 000	0 ≤ m ≤ 500	0 ≤ m ≤ 50
± 1 e	50 000 ≤ m ≤ 200 000	5 000 ≤ m ≤ 20 000	500 ≤ m ≤ 2 000	50 ≤ m ≤ 200
± 1,5 e	200 000 ≤ m	20 000 ≤ m ≤ 100 000	2 000 ≤ m ≤ 10 000	200 ≤ m ≤ 1 000

Tabla 3.- Errores máximos tolerados para los instrumentos ara pesar

Nota. Estos valores de EMT son iguales a los que presenta la NOM-010-SCFI-1993.

VERIFICACIÓN O CALIBRACIÓN

Calibración: es el conjunto de operaciones que establecen bajo condiciones especificadas la relación entre los valores indicados por un aparato o sistema de medición o los valores representados por una medida materializada y los valores correspondientes de la magnitud realizada por los patrones

Verificación: Confirmación objetiva del cumplimiento de requisitos conforme a Normas.

La diferencia que existe entre calibración y verificación en instrumentos para pesar consiste básicamente en que la calibración es muchas veces voluntaria y el resultado (Certificado de Calibración o Informe de Calibración) establece valores de las pruebas de excentricidad, repetibilidad y linealidad, esta última correcciones aplicables a la linealidad del instrumento y las incertidumbres asociadas a estas correcciones. No necesariamente se tienen que referir las pruebas a una norma, por lo que no se emite un veredicto acerca del estado del funcionamiento de éste. Por tal motivo el usuario es el responsable de aplicar las correcciones necesarias para el uso adecuado del instrumento.

La verificación es obligatoria generalmente para los instrumentos usados en las

transacciones comerciales y se aplican las pruebas de manera similar que en la calibración; el resultado de la verificación es un veredicto de "Pasa" o "No Pasa", acompañado de una calcomanía con la leyenda "Instrumento apto para transacciones comerciales" o "Instrumento No apto para transacciones comerciales" y en este caso se coloca cuando no se puede ajustar, por lo que se inmoviliza el instrumento por no cumplir los errores máximos tolerados para la clase de exactitud correspondientes (NOM-010-SCFI). En la verificación no necesariamente se entrega al usuario un informe con los resultados de las pruebas.

La calibración de los instrumentos para pesar actualmente los ofrecen los Laboratorios Secundarios y la verificación la ofrecen las Unidades de Verificación, organismos acreditados por la Dirección General de Normas, dependencia de SECOFI.

La pruebas se pueden aplicar a ambos casos verificación y calibración, la diferencia estriba básicamente en la forma en que se proporcionan los resultados de una y otra, un certificado de calibración o una aprobación o desaprobación de funcionamiento.

SELECCIÓN DE PATRONES DE MASA

Los patrones de masa que se utilizaran para la verificación de este tipo de instrumentos deben ser de mayor exactitud que los instrumentos en sí, de tal manera que la R76 establece que el EMT del patrón de masa debe ser de un tercio del EMT del Instrumento en verificación.

Existe una recomendación R47 de la OIML que se refiere específicamente a los patrones de masa para las pruebas en instrumentos para pesar de alto alcance. Esta recomendación se aplica a patrones de masa cuyo valor nominal es igual o mayor a 50 kg, usados para pruebas de los instrumentos para pesar en clases de exactitud media III y ordinaria IIII.

En ella se establece que los valores nominales de las pesas son de 50 kg, o de la forma

$$k \times 10^n \text{ kg}$$

donde k es generalmente igual a 1, 2 o 5, y n es un número entero igual o mayor que 2.

En cuanto a los errores máximos permitidos en valores de masa, al igual que la R76 menciona que no deben de exceder un tercio del EMT del instrumento.

En cuanto a la densidad de los materiales con que se fabricaran las masas patrón, se menciona que esta deberá ser tal que una variación de $\pm 10\%$ de la densidad del aire

ambiental, con respecto a la densidad convencional del aire ($1,2 \text{ kg/m}^3$), no debe producir una variación mayor a $\frac{1}{4}$ del EMT del instrumento en el resultado de pesar este patrón en el aire.

MÉTODO DE VERIFICACIÓN

- 1.- Clasificar el instrumento de acuerdo al número de escalones de verificación.
- 2.- Escoger los patrones indicados para la verificación.
- 3.- Realizar las pruebas metrológicas básicas: Excentricidad, Repetibilidad y Exactitud..
- 4.- Comparar los valores resultantes de las pruebas contra los EMT del instrumento.

PRUEBA DE CARGA EXCÉNTRICA

La prueba de carga excéntrica se aplica con una carga de un tercio de la capacidad máxima del instrumento y aplicada en cada punto de apoyo. La carga no necesariamente debe estar certificada.

Si el instrumento cuenta con mas de cuatro puntos de apoyo ($n > 4$), la fracción $1/(n-1)$ del alcance máximo es el que se aplicará como carga para la prueba.

Esta carga seleccionada (normalmente carga rodante) se aplicara en un sentido y por sección, y posteriormente en el sentido inverso (ver figura 2 y 3).

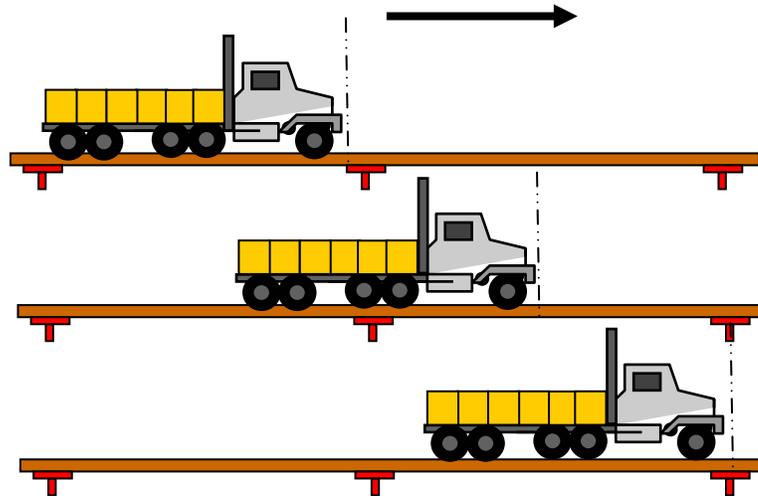


figura 2.- Prueba de Excentricidad.

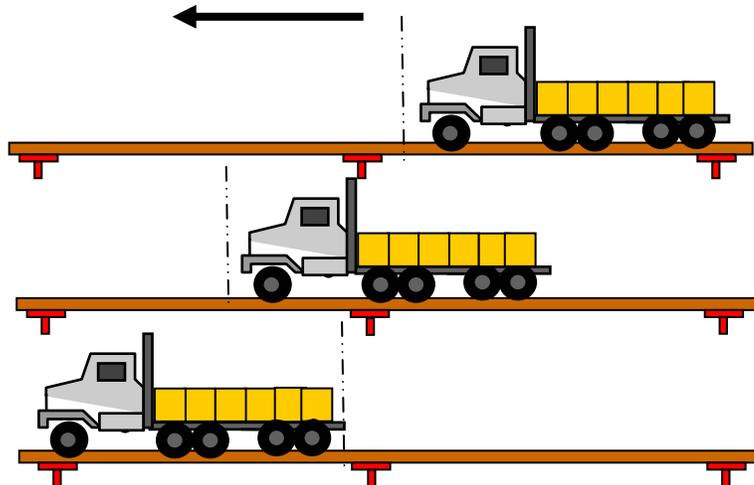


figura 3.- Prueba de Excentricidad, sentido inverso.

Supongamos un ejemplo en el que la masa patrón para la prueba de excentricidad es de 14 toneladas, el resultado de la prueba de excentricidad se obtiene de la siguiente manera:

Nº de Sección	Lectura 1	Lectura 2	Promedio de lecturas
1	14 020	14 020	14 020
2	13 980	14 020	14 000
3	14 000	14 000	14 000

Tabla 4.- Ejemplo de la prueba de excentricidad

El valor de la excentricidad corresponderá a la diferencia existente entre el valor mayor de los promedios menos el valor más pequeño de éstos.

$$\text{Excentricidad} = 14\ 020\ \text{kg} - 14\ 000\ \text{kg} = 20\ \text{kg}$$

Este resultado es un intervalo, por lo que para compararlo contra el EMT del instrumento debe ser dividido entre 2, ya que el EMT es un semi-intervalo.

PRUEBA DE REPETIBILIDAD

La prueba de repetibilidad nos permite calcular la desviación estándar del instrumento de los resultados obtenidos en el curso de varias pesadas de una misma carga.

En la prueba de repetibilidad se recomienda que se realice a cargas del 50% del alcance máximo del instrumento y al 100% del mismo, ver figura 4. Puesto que la masa que se utiliza

para la realización de esta prueba no necesita estar certificada se puede usar cualquier material, con la única condición de que sea lo suficientemente estable como para que no varíe en el lapso de la prueba.

Se realizan tres mediciones de la carga sobre el centro de la superficie de pesada y se determina la desviación estándar de las lecturas y finalmente la desviación estándar del instrumento adicionando la componente de resolución a ésta, ecuación 1.

$$S = \sqrt{S_L^2 + \left(\frac{d}{2\sqrt{3}}\right)^2} \quad (1)$$

donde:

S es la desviación estándar del instrumento

S_L es la desviación estándar de las lecturas (3 lecturas), con dos grados de libertad,

d es la resolución del instrumento.

La desviación estándar de las lecturas se obtiene de la formula 2.

$$S_L = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (2)$$

donde:

n es el número de lecturas

\bar{L} el promedio de las lecturas

L_i es la lectura i

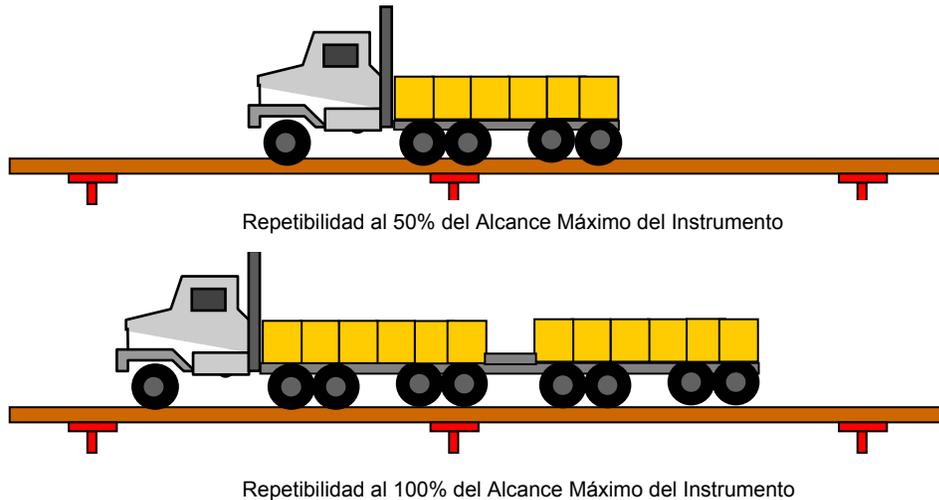


figura 4.- Prueba de Repetibilidad.

UNA ALTERNATIVA PARA LA PRUEBA DE REPETIBILIDAD

La prueba de repetibilidad se puede realizar únicamente con el 20% de la capacidad máxima del instrumento en masas patrón, y consiste en utilizar carga complementaria para alcanzar el 50% y el 100% de la capacidad máxima del instrumento.

Cuando se cuenta con carga rodante, camión tara, se puede mover el total de las cargas para realizar las pruebas, en esta alternativa se propone que se deposite la masa patrón sobre la superficie de pesada y se adicione la carga complementaria, de esta manera se alcanzará el 50% (o 100%) del alcance del instrumento, y se toma la primera lectura, posteriormente se retira la masa patrón, para posteriormente volverla a colocar sobre la superficie de pesada y tomar la segunda lectura, se repite el procedimiento para la toma de la tercer lectura.

De esta manera evitamos el movimiento de una gran cantidad de pesas.

Los valores obtenidos en la prueba de repetibilidad (desviación estándar del instrumento al 50 y al 100%) se deben comparar directamente con los errores máximos tolerados correspondientes a la clase de exactitud del instrumento.

De esta misma prueba podemos obtener la sensibilidad del instrumento de pesar, usando la fórmula 3.

$$\text{sensibilidad} = \frac{L_2 - L_1}{m_p} \quad (3)$$

donde:

sensibilidad esta dada en div. de la báscula entre unidades de masa, se espera que la sensibilidad del instrumento sea un valor lo más cercano a la unidad o la unidad.

L_1 es la lectura de la báscula con la carga complementaria sobre la plataforma de pesada

L_2 es la lectura de la báscula con la carga complementaria mas la masa patrón sobre la plataforma de pesada del instrumento.

De tal manera que se puede obtener un promedio de los valores de sensibilidad a una capacidad del 50% y otro valor promedio de sensibilidad al 100% de la capacidad del instrumento.

PRUEBA DE LINEALIDAD DEL INSTRUMENTO

La prueba de sensibilidad del instrumento nos puede dar una idea de cual va a ser el comportamiento de la linealidad del instrumento.

La prueba de linealidad se realiza en por lo menos 5 puntos de la escala del instrumento, incluyendo estos el cero (Min) y el alcance máximo (Max).

Lo ideal es que se realice la prueba con el 100% del Max. con masas patrón, pero desafortunadamente difícilmente se puede cumplir esto, por lo que se recomienda que se use el 50% del Max. con masas patrón, o disminuir esta cantidad de masa patrón a 35% del Max. si la repetibilidad del instrumento es no es mayor a 0,3 e incluso se puede reducir hasta 20% del Max. si la desviación estándar del instrumento no es mayor a 0,2 e.

Esto significa que se pueden realizar un máximo de cinco enlaces para alcanzar el 100% de la capacidad máxima del instrumento.

MÉTODO DE ENLACES SUCESIVOS

Este método nos facilita en cierta forma la verificación de las básculas, ya que con el 20% del Max. de patrones se verifica un instrumento, la forma de aplicarlo es simple pero la incertidumbre que se obtiene en las correcciones es mas grande que si se aplicara el 100% del Max. con patrones. Como ya se mencionó anteriormente únicamente se permiten cinco enlaces como máximo.

El procedimiento es el siguiente:

- 1.- Se toma la lectura de la balanza sin carga sobre la plataforma, figura 5.
- 2.- Se coloca el 20% del Máx. con patrones certificados, y se toma la lectura, figura 6.
- 3.- Se retira la masa patrón y se coloca material de sustitución hasta que el indicador de la báscula marque la misma lectura que cuando se encontraba la masa patrón sobre la plataforma, figura 7.
- 4.- Se coloca la masa patrón sobre la plataforma sin retirar la masa de sustitución para alcanzar el 40% del Max., se toma la lectura, figura 8.
- 5.- Se retira la masa patrón de la plataforma, y se coloca masa de sustitución hasta que el indicador marque igual que antes de retirar los patrones de masa, figura 9.
- 6.- Se repite la operación terminando con masa de sustitución (aprox. 80% del Max), y la masa patrón 20% del Max. ambas reuniendo el 100% del Max. del instrumento.

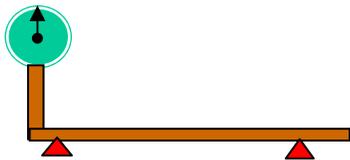


Figura 5.- Plataforma sin carga

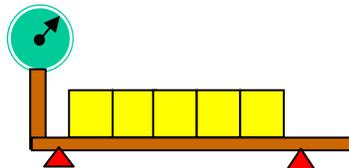


figura 6.- Plataforma con 20% del Max. en masas patrón

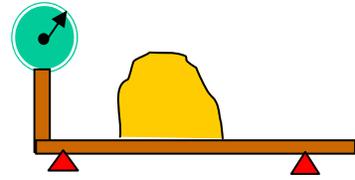


figura 7.- Plataforma con masa de sustitución por el 20% del Max.

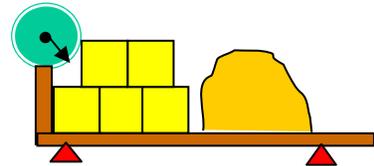


figura 8.- Plataforma con 20% de masa de sustitución y 20% mas en masas patrón

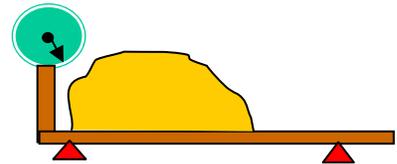


figura 9.- Plataforma con 40% del Max. en masa de sustitución.

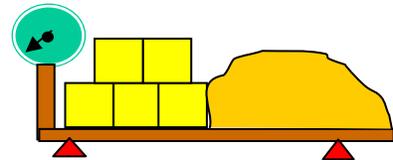


figura 10.- Plataforma con 40% del Max. en masa de sustitución y 20% mas en masas patrón.

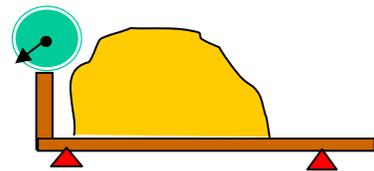


figura 11.- Plataforma con 60% del Max. en masa de sustitución.

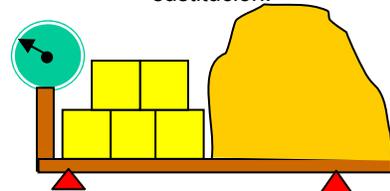


figura 12.- Plataforma con 60% del Max. en masa de sustitución mas 20% mas en masas patrón.

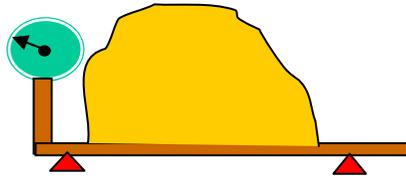


figura 13.- Plataforma con 80% de masa de sustitución

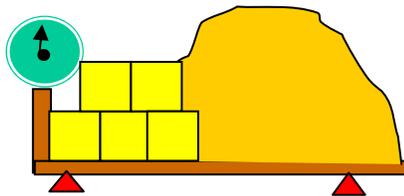


Figura 14.- Plataforma con 80% de masa de sustitución mas 20% de masa patrón para un total del 100% del Max. del instrumento.

Los valores de las lecturas se comparan contra los valores certificados de los patrones o un múltiplo de éstos, por ejemplo, suponiendo que el valor certificado de la masa patrón es de 20 005 kg, esto quiere decir que en el caso del 80% del máximo el valor de la lectura se tiene que comparar contra un valor "real" de $20\,005 \times 4 = 80\,020$ kg, valor que resultaría de colocar cuatro conjuntos de pesas "iguales" sobre la plataforma de pesada.

La corrección de cada uno de los puntos donde se realizó la prueba se obtiene de la siguiente manera,

$$C_i = n_i M_p - L_i \quad (4)$$

donde

C_i es la corrección a aplicar para corregir la lectura en el punto de prueba

n_i es el número de veces que se coloca la masa patrón sobre la plataforma, que corresponde al punto de prueba

M_p es el valor certificado de la masa patrón

L_i es la lectura que se obtuvo en el punto de prueba.

Los valores de las correcciones encontradas no deben exceder el EMT del instrumento en estudio.

Como se puede apreciar, se está determinando una serie de correcciones que corresponden al 20%, 40%, 60%, 80% y 100% del Max. del instrumento, y cada una de estas correcciones

tienen un valor de incertidumbre asociado a cada una de ellas.

Esta incertidumbre se obtiene de la ecuación 5.

$$I = \sqrt{\left(n \sum I_p\right)^2 + E \left(\frac{d}{2\sqrt{3}}\right)^2 + S_L^2} \quad (5)$$

n_i es el número de veces que se coloca la masa patrón sobre la plataforma, que corresponde al punto de prueba

$\sum I_p$ es la suma de las incertidumbres de los patrones que forman en conjunto la masa patrón.

E es el número de enlaces sucesivos ($E = n - 1$)

S_L Es la desviación estándar de las lecturas que se obtuvo en la prueba de repetibilidad, la mayor. No se utiliza la desviación estándar de la balanza, ya que se está considerando de manera independiente la contribución de la resolución en la incertidumbre.

Con estos valores se obtienen suficientes elementos para comprobar si el instrumento mantiene dentro de los errores máximos permitidos sus principales características metrologías, y poder emitir el juicio de "Aprobado" o "No Aprobado".

REFERENCIAS

*División de Masa y Densidad, CENAM – **Curso: Fundamentos de la Metrología de Masa**- Qro, México, Mayo de 1998.

*Organisation Internationale de Métrologie Légale – **Recommandation Internationale 76-1,2 – Instruments de pesage à fonctionnement non automatique**. France, 1992

*Secretaría de Comercio y Fomento Industrial – **NOM-010-SCFI-1993 – "Instrumentos de medición.- Instrumentos para pesar de funcionamiento no automático, requisitos técnicos y metrologías"**. México, Octubre de 1993.

*Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Dirección General de Normas – **NMX-CH-9-1994-SCFI – Instrumentos de medición – Instrumentos para pesar de funcionamiento no automático- Métodos de prueba**- México, 1994

*Organisation Internationale de Métrologie Légale – **Recommandation Internationale 47 – Standard weights for testing of high capacity weighing machines**. France, 1979

