



ASOCIACIÓN DE NORMALIZACIÓN
Y CERTIFICACIÓN, A.C.



LABORATORIO DE
PRUEBAS

DESARROLLO PRÁCTICO Y EVALUACIÓN DE ESTUDIOS R&R PARA EL ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE LOS RESULTADOS

Ing. Raúl Monroy Pérez
rmonroy@ance.org.mx

Referencias

- NMX-EC-17025-IMNC-2000 (ISO/IEC 17025:1999) “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”.
- ISO/IEC Guide 43-1:1997 “Proficiency testing by interlaboratory comparisons – Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes”.
- IEC 61923 First edition 1997-09 “Household electrical appliances – Method of measuring performance – Assessment of repeatability and reproducibility”.
- ISO 5752-2:1994 “Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a Standard measurement method”.

Definiciones

Valor de referencia aceptado:

Valor que sirve como una referencia aceptada para comparación, y la cual se obtiene de:

- a) Un valor teórico o establecido, basado en principios científicos.
- b) Un valor asignado o certificado, basado en trabajo experimental de alguna organización nacional o internacional.
- c) Un valor condensado o certificado, basado en trabajo experimental de colaboración con el apoyo de un grupo científico o de ingeniería.

Cuando a), b) o c) no están disponibles, una cantidad esperada (medible), esto es, la media de un grupo especificado de mediciones.

Exactitud

La cercanía entre un resultado de prueba y el valor de referencia aceptado.

Nota: El término exactitud, cuando se aplica a un grupo de resultados de prueba, involucra una combinación de componentes aleatorios y errores sistemáticos comunes o tendencias.

Tendencia

Diferencia entre el valor esperado de una prueba y el valor de referencia aceptado.

Nota: Tendencia es el error sistemático total que contrasta con el error aleatorio. Puede haber uno o más componentes de error sistemático que contribuyen a la tendencia. Una diferencia sistemática grande respecto al valor de referencia aceptado se refleja por un valor de tendencia grande.

Precisión

Cercanía entre resultados de prueba independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas.

Nota 1: La precisión depende solamente de la distribución de errores aleatorios y no se relaciona al valor verdadero o valor especificado.

Nota 2: La medición de precisión usualmente se expresa en términos de imprecisión y se analiza como una desviación estándar de los resultados de prueba. Menos precisión se refleja por una desviación estándar grande.

Nota 3: "Resultados de prueba independientes" significan resultados obtenidos de una manera no influenciada por cualquier resultado previo en la misma o similares muestras de prueba. Mediciones cuantitativas de precisión dependen críticamente de las condiciones estipuladas. Las condiciones de repetibilidad y reproducibilidad son particularmente juegos de condiciones extremas estipuladas.

Repetibilidad

Precisión bajo condiciones de repetibilidad.

Nota: La repetibilidad incluye la variabilidad del aparato bajo prueba.

Condiciones de repetibilidad

Condiciones donde los resultados de pruebas independientes se obtienen con el mismo método, en idénticas muestras, en el mismo laboratorio, por el mismo operador, utilizando el mismo equipo, dentro de intervalos cortos de tiempo.

Nota 1: Ver nota 3 en la definición de Precisión.

Nota 2: "Idénticas muestras" se refiere a aparatos o muestras del mismo tipo y modelo.

Desviación estándar de la repetibilidad

Desviación estándar de los resultados de prueba obtenidos bajo condiciones de repetibilidad.

Nota: Es una medición de la dispersión de la distribución de los resultados de prueba bajo condiciones de repetibilidad.

Reproducibilidad

Precisión bajo condiciones de reproducibilidad.

Nota: La reproducibilidad incluye repetibilidad

Condiciones de reproducibilidad

Condiciones donde los resultados de prueba se obtienen con el mismo método, en idénticas muestras, en diferentes laboratorios, con diferentes operadores, utilizando diferente equipo.

Nota: "Idénticas muestras" se refiere a aparatos o muestras del mismo tipo y modelo.

Desviación estándar de la reproducibilidad

Desviación estándar de los resultados de prueba obtenidos bajo condiciones de reproducibilidad.

Nota: Es una medición de la dispersión de la distribución de los resultados de prueba bajo condiciones de reproducibilidad.

Variabilidad

Precisión bajo condiciones de variabilidad.

Condiciones de variabilidad

Condiciones donde los resultados de prueba independientes se obtienen en idénticas muestras, en el mismo laboratorio, cuando se desarrollan mediante un procedimiento de medición sin variación.

Outlier

Observaciones tan separadas en valor del resto (universo de valores) que sugieren que pueden ser parte de un grupo diferente, el resultado de un error en medición o la exactitud no conseguida por el procedimiento de prueba.

Tolerancias de referencia permitidas

Tolerancias especificadas en normas o regulaciones.

Nota 1: Tolerancia de referencia permitida puede tomar en cuenta un intervalo de factores tales como la variabilidad unitaria y variabilidad de producción de aparatos tanto como cualquier condición nacional o regional.

Nota 2: La tolerancia de referencia permitida debe ajustarse a un nivel el cual permita la diferenciación significativa del desempeño del aparato.

Tolerancia de referencia aceptada

Tolerancias, diferentes a las tolerancias de referencia permitidas, sobre las cuales hay un acuerdo general.

Nota 1: Las tolerancias de referencia aceptadas son aplicadas solamente cuando las tolerancias permitidas no están disponibles o no son aplicables.

Nota 2: La tolerancia de referencia aceptada puede tomar en cuenta un intervalo de factores tales como la variabilidad unitaria y variabilidad de producción de aparatos así como de cualquier condición nacional o regional.

Nota 3: La tolerancia de referencia aceptada debe ajustarse a un nivel el cual permita la diferenciación significativa del desempeño del aparato.

Desarrollo

Determinación de desviación estándar

La desviación estándar de la repetibilidad y reproducibilidad sirven como un parámetro para evaluar:

- La conveniencia de un método de medición (esto es, que el método se ajuste al fin o propósito especificado).
- La repetibilidad o reproducibilidad de un método de medición con respecto al grupo de aparatos bajo evaluación.
- Tolerancias permitidas de valores declarados.

Desviación estándar de la repetibilidad

La desviación estándar de la repetibilidad s_r de un método de prueba se calcula de la ecuación:

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p s_{L,i}^2} \qquad s_{L,i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}_i)^2}$$

Donde:

- | | |
|-----------|--|
| $s_{L,i}$ | Es la desviación estándar de la repetibilidad dentro del laboratorio i . |
| n | Número de resultados de prueba. |
| x_k | Es el resultado de prueba particular. |
| \bar{x} | Es la media aritmética de los n resultados de prueba x_k del laboratorio i . |
| p | Es el número de laboratorios participantes en la prueba interlaboratorio. |

Desviación estándar de la reproducibilidad

La desviación estándar de la reproducibilidad s_R de un método de prueba se calcula de la ecuación:

$$\bar{x}_m = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \bar{x}_i$$

$$s_R = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{x}_i - \bar{x}_m)^2 + \frac{n-1}{n} s_r^2}$$

Donde

\bar{x}_m

Es la media aritmética de la media aritmética de los laboratorios participantes.

Nota: s_R se espera sea mayor que s_r .

\bar{x}_i

Evaluación de repetibilidad y reproducibilidad

Propósito

El propósito de evaluar la repetibilidad y reproducibilidad es para determinar si un método de medición es adecuado para pruebas comparativas solamente o para la medición de valores declarados y su control.

Para pruebas comparativas se requiere un nivel mínimo de repetibilidad del método de medición.

Para la declaración de valores y su control, se requiere un nivel mínimo de reproducibilidad del método de medición.

Requisitos

Los siguientes requisitos deben ser tomados en cuenta cuando se evalúa la reproducibilidad y/o repetibilidad del método de prueba:

a) La repetibilidad y reproducibilidad del método de prueba deben ser evaluados mediante una prueba interlaboratorio.

Nota: Datos obtenidos en estudios interlaboratorios pueden indicar que se necesita más esfuerzo para mejorar el método de medición.

b) La desviación estándar debe ser significativamente más baja que la obtenida en el intervalo básico de evaluación. Debe ser menor que el 50% de la tolerancia de referencia permitida o aceptada.

c) El número necesario de pruebas y laboratorios participantes en una prueba interlaboratorio dependen del tipo de aparato y deben ser establecidos por el organismo responsable. Con respecto a la evaluación estadística de los resultados de prueba, al menos cinco resultados de cada uno de al menos cinco laboratorios, excluyendo los outliers, deben ser disponibles.

Nota: El número de resultados de prueba debe ser el mismo para cada laboratorio.

- d) El procedimiento de prueba debe ser especificado y exacto, incluyendo el redondeo de valores de los resultados de medición, la exactitud de los instrumentos de medición y las condiciones ambientales, como sea apropiado.
- e) Donde sea posible, los valores precisos de resultados intermedios (sin redondeo) deben ser registrados y utilizados en subsecuentes cálculos para asegurar que el resultado final sea tan exacto como sea posible.
- f) Los laboratorios de pruebas deben sujetarse al procedimiento de prueba especificado en la norma o en el programa de prueba.
- g) Deben utilizarse solamente aparatos con baja variabilidad.
- h) El aparato de referencia, si lo hay, debe tener la más baja variabilidad.

Expresión de repetibilidad y reproducibilidad

La repetibilidad y reproducibilidad deben ser expresadas como un porcentaje de la tolerancia de referencia aceptada o permitida. Los valores de estas tolerancias deben ser obtenidos del valor medio relevante.

Técnica de consistencia gráfica (h de Mandel y k estadística)

Consistencia estadística h entre laboratorios

La consistencia estadística entre laboratorios h_i para el laboratorio i se calcula mediante:

$$h_i = \frac{\overline{x}_i - x_m}{\sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\overline{x}_i - x_m)^2}}$$

Consistencia estadística k en el laboratorio

La consistencia estadística en el laboratorios k_i para el laboratorio i se calcula mediante:

$$k_i = \frac{S_{L,i}}{S_r}$$

Evaluación

Los valores calculados se grafican como sea apropiado. Se dibujan líneas en los gráficos las cuales corresponden a los indicadores dados en las tablas 1 y 2 (obtenidas de la norma ISO 5752-2). Estas líneas sirven como guía cuando se examinan patrones en los datos.

- Varios patrones pueden aparecer en los gráficos h . Todos los laboratorios pueden tener valores positivos y negativos, ninguno de estos patrones son inusuales o requieren investigación, Pero si todos los valores h para un laboratorio son de un mismo signo y el valor h para los otros laboratorios son todos del signo contrario, entonces el motivo debe ser investigado.
- Si en un laboratorio se presentan valores grandes en el gráfico k , entonces el motivo debe ser investigado; esto indica que tiene una repetibilidad más pobre que los demás laboratorios. Un laboratorio puede alcanzar valores k pequeños consistentemente debido a factores tales como redondeo excesivo de sus datos o una escala de medición no sensible.

Si los gráficos k y h indican que un laboratorio en específico muestra patrones de resultados marcadamente diferentes a los otros laboratorios, este laboratorio debe ser contactado para tratar de determinar la causa en el comportamiento de las discrepancias. El organismo responsable debe:

- Retener los datos del laboratorio por el momento.
- Pedir al laboratorio que repita las mediciones (si es posible).
- Remover los datos del laboratorio del estudio.

| <i>P</i> | <i>h</i> | <i>K</i> | | | | | | | | |
|---|----------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | <i>n</i> | | | | | | | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 3 | 1,15 | 1,71 | 1,64 | 1,58 | 1,53 | 1,49 | 1,46 | 1,43 | 1,41 | 1,39 |
| 4 | 1,49 | 1,91 | 1,77 | 1,67 | 1,60 | 1,55 | 1,51 | 1,48 | 1,45 | 1,43 |
| 5 | 1,72 | 2,05 | 1,85 | 1,73 | 1,65 | 1,59 | 1,55 | 1,51 | 1,48 | 1,46 |
| 6 | 1,87 | 2,14 | 1,90 | 1,77 | 1,68 | 1,62 | 1,57 | 1,53 | 1,50 | 1,47 |
| 7 | 1,98 | 2,20 | 1,94 | 1,79 | 1,70 | 1,63 | 1,58 | 1,54 | 1,51 | 1,48 |
| 8 | 2,06 | 2,25 | 1,97 | 1,81 | 1,71 | 1,65 | 1,59 | 1,55 | 1,52 | 1,49 |
| 9 | 2,13 | 2,29 | 1,99 | 1,82 | 1,73 | 1,66 | 1,60 | 1,56 | 1,53 | 1,50 |
| 10 | 2,18 | 2,32 | 2,00 | 1,84 | 1,74 | 1,66 | 1,61 | 1,57 | 1,53 | 1,50 |
| <p><i>p</i> = número de laboratorios a un nivel dado <i>n</i> = número de réplicas en cada uno de los laboratorios a ese nivel</p> | | | | | | | | | | |
| <p>Para un mayor número de laboratorios, consultar la tabla 6 de ISO 5725-2:1994</p> | | | | | | | | | | |

Tabla 1. Indicadores para *h* de Mandel y estadístico *k* a 1% de nivel de confianza.

| p | h | K | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | n | | | | | | | | |
| | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 3 | 1,15 | 1,65 | 1,53 | 1,45 | 1,40 | 1,37 | 1,34 | 1,32 | 1,30 | 1,29 |
| 4 | 1,42 | 1,76 | 1,59 | 1,50 | 1,44 | 1,40 | 1,37 | 1,35 | 1,33 | 1,31 |
| 5 | 1,57 | 1,81 | 1,62 | 1,53 | 1,46 | 1,42 | 1,39 | 1,36 | 1,34 | 1,32 |
| 6 | 1,66 | 1,85 | 1,64 | 1,54 | 1,48 | 1,43 | 1,40 | 1,37 | 1,35 | 1,33 |
| 7 | 1,71 | 1,87 | 1,66 | 1,55 | 1,49 | 1,44 | 1,41 | 1,38 | 1,36 | 1,34 |
| 8 | 1,75 | 1,88 | 1,67 | 1,56 | 1,50 | 1,45 | 1,41 | 1,38 | 1,36 | 1,34 |
| 9 | 1,78 | 1,90 | 1,68 | 1,57 | 1,50 | 1,45 | 1,42 | 1,39 | 1,36 | 1,35 |
| 10 | 1,80 | 1,90 | 1,68 | 1,57 | 1,50 | 1,46 | 1,42 | 1,39 | 1,37 | 1,35 |
| p = número de laboratorios a un nivel dado h = número de réplicas en cada uno de los laboratorios a ese nivel | | | | | | | | | | |
| Para un mayor número de laboratorios, consultar la tabla 7 de ISO 5725-2:1994 | | | | | | | | | | |

Tabla 2. Indicadores para h de Mandel y estadístico k a 5% de nivel de confianza.

Outlier – Técnica numérica

Prueba de Cochran

El criterio de Cochran aplica solamente cuando todas las desviaciones estándar se obtienen del mismo número (n) de resultados de prueba obtenidos bajo condiciones de repetibilidad.

Este evalúa solamente el valor más alto en un grupo de desviaciones estándar y es por lo tanto una prueba outlier sesgada (“one-sided”).

Valores pequeños de desviación estándar pueden ser fuertemente influenciados por el grado de redondeo de los datos originales y, por esa razón, no muy representativos del laboratorio. Si la desviación estándar para un laboratorio particular son del todo o a mucho nivel más bajos que los demás laboratorios, esto puede indicar que el laboratorio trabaja con una desviación estándar de repetibilidad bajo. Esto puede ser ocasionado ya sea por una mejor técnica y equipo o por una modificación o aplicación incorrecta del método de medición.

La prueba estadística de Cochran C_i para el laboratorio i se calcula mediante:

$$C_i = \frac{s_{L\max}^2}{\sum_{i=1}^p s_{L,i}^2}$$

Si la desviación estándar más grande se clasifica como outlier, entonces el valor debe ser omitido y la prueba de Cochran repetida en los valores restantes.

Prueba de Grubbs

En la siguiente fórmula solamente una observación dispersa se consideró. La estadística G de Grubbs se calcula mediante:

$$G_1 = \frac{\bar{x}_{\max} - x_m}{s_r}$$

$$G_2 = \frac{x_m - \bar{x}_{\min}}{s_r}$$

Donde

- G_1 Es la significancia de la observación más grande de una prueba interlaboratorio.
 G_2 Es la significancia de la observación más pequeña de una prueba interlaboratorio.

Nota: Las fórmulas anteriores también pueden ser aplicadas para determinar la significancia de pruebas de laboratorio internas, reemplazando \bar{x}_{\max} y \bar{x}_{\min} por $x_{k\max}$ y $x_{k\min}$, x_m por x_i y s_r por $s_{L,i}$.

Evaluación

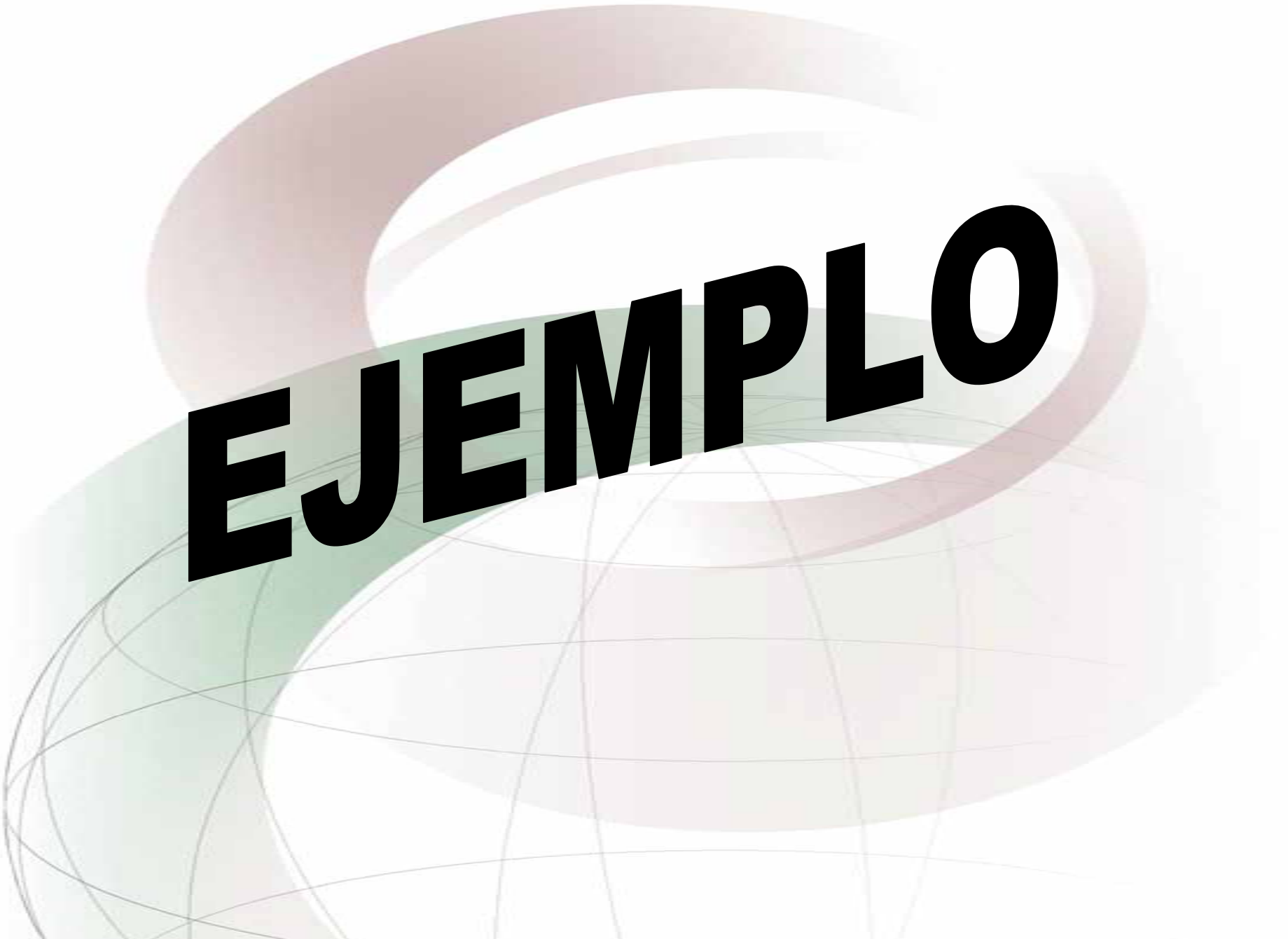
Los valores críticos para la prueba de Cochran se encuentran en la tabla 4 y para la prueba de Grubbs en la tabla 5 de la norma ISO 5725-2. Si la prueba estadística para C o G es:

- a) Menor que o igual al valor crítico referido a un nivel de significancia del 5%, la muestra probada se acepta como correcta.
- b) Mayor que su valor crítico referido a un nivel de significancia del 5% y menor que o igual a su valor crítico referido a un nivel de significancia del 1%, la muestra probada se determina dudosa (straggler).
- c) Mayor que el valor de referencia crítico referido a un nivel de significancia del 1%, la muestra probada se determina como outlier.

Nota: Los valores críticos referidos a un nivel de significancia del 1% son mayores que los valores críticos referidos a un nivel de significancia del 5%.

Datos a ser reportados para evaluar la repetibilidad y reproducibilidad de un método de prueba

- a) Identificación de la muestra o aparato utilizado para las pruebas.
- b) Método de medición.
- c) Identificación de los laboratorios que llevaron a cabo las pruebas, incluyendo al personal de pruebas.
- d) Resultados de mediciones individuales.
- e) Tolerancias de referencia aceptadas o permitidas y la fuente de estas tolerancias.
- f) Desviación estándar de la repetibilidad y desviación estándar de la reproducibilidad.
- g) Porcentaje de repetibilidad y reproducibilidad.
- h) Consistencia insuficiente, outliers, resultados dudosos y si los laboratorios o outliers han sido omitidos.



EJEMPLO

| La b No. | Prueba No. | Resultados de prueba de lavado | | | Consumo de energía | |
|----------------|---------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| | | Muestra ensayada | Muestra de referencia | Desempeño de la muestra ensayada | Muestra ensayada | Muestra de referencia |
| 1 | 1 | 266.18 | 259.85 | 1.0244 | 1.17 | 1.95 |
| | 2 | 256.52 | 263.01 | 0.9753 | 1.29 | 2.15 |
| | 3 | 263.50 | 261.50 | 1.0076 | 1.30 | 2.05 |
| | 4 | 264.22 | 259.88 | 1.0167 | 1.08 | 2.00 |
| | 5 | 261.55 | 263.20 | 0.9937 | 1.32 | 2.10 |
| | Media | 262.39 | 261.49 | 1.0036 | 1.232 | 2.05 |
| 2 | 1 | 248.94 | 242.54 | 1.0264 | 1.45 | 1.7 |
| | 2 | 251.42 | 242.12 | 1.0384 | 1.25 | 1.8 |
| | 3 | 245.30 | 247.32 | 0.9918 | 1.34 | 1.9 |
| | 4 | 256.41 | 249.30 | 1.0285 | 1.10 | 1.9 |
| | 5 | 250.81 | 246.17 | 1.0188 | 1.34 | 1.6 |
| | Media | 250.58 | 245.49 | 1.0208 | 1.296 | 1.78 |
| 3 | 1 | 251.00 | 231.60 | 1.0838 | 1.04 | 2.2 |
| | 2 | 242.50 | 237.00 | 1.0232 | 1.07 | 2.2 |
| | 3 | 244.40 | 241.00 | 1.0141 | 1.22 | 2.1 |
| | 4 | 227.50 | 241.40 | 0.9424 | 1.08 | 2.0 |
| | 5 | 241.60 | 251.10 | 0.9622 | 1.12 | 2.1 |
| | Media | 241.40 | 240.42 | 1.0051 | 1.106 | 2.12 |

Tabla 1. Resultados de Prueba

| La b No. | Prueba No. | Resultados de prueba de lavado | | | Consumo de energía | |
|----------------|---------------|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| | | Muestra ensayada | Muestra de referencia | Desempeño de la muestra ensayada | Muestra ensayada | Muestra de referencia |
| 4 | 1 | 282.49 | 266.82 | 1.0587 | 1.202 | |
| | 2 | 276.71 | 268.59 | 1.0302 | 1.089 | 1.807 |
| | 3 | 287.59 | 271.93 | 1.0576 | 1.097 | 1.801 |
| | 4 | 285.33 | 272.49 | 1.0471 | 1.142 | 1.960 |
| | 5 | 278.50 | 268.87 | 1.0358 | 1.129 | 1.895 |
| | Media | 282.12 | 269.74 | 1.0459 | 1.132 | 1.866 |
| 5 | 1 | 251.02 | 242.99 | 1.0330 | 1.23 | 2.37 |
| | 2 | 254.85 | 240.99 | 1.0575 | 1.21 | 2.48 |
| | 3 | 249.16 | 235.85 | 1.0564 | 1.15 | 2.50 |
| | 4 | 257.13 | 239.91 | 1.0718 | 1.24 | 2.35 |
| | 5 | 250.08 | 245.58 | 1.0183 | 1.22 | 2.44 |
| | Media | 252.45 | 241.06 | 1.0474 | 1.21 | 2.43 |

Tabla 1. Resultados de Prueba

| Lab. No. | Resultados de lavado de la muestra ensayada | | Resultados de lavado de la muestra de referencia | | Desempeño de lavado de la muestra ensayada | | Consumo de energía | | | |
|--|---|--------|--|--------|--|---------------|--------------------|---------------|-----------------------|--------|
| | \bar{x} | s_L | \bar{x} | s_L | \bar{x} | s_L | Muestra ensayada | | Muestra de referencia | |
| | \bar{x} | s_L | \bar{x} | s_L | \bar{x} | s_L | \bar{x} | s_L | \bar{x} | s_L |
| 1 | 262.39 | 3.678 | 261.49 | 1.621 | 1.0036 | 0.01947 | 1.232 | 0.1033 | 2.05 | 0.0791 |
| 2 | 250.58 | 4.041 | 245.49 | 3.098 | 1.0208 | 0.01763 | 1.296 | 0.1305 | 1.78 | 0.1304 |
| 3 | 241.40 | 8.597 | 240.42 | 7.156 | 1.0051 | 0.05561 | 1.106 | 0.0699 | 2.12 | 0.0837 |
| 4 | 282.12 | 4.548 | 269.74 | 2.396 | 1.0459 | 0.01275 | 1.132 | 0.0450 | 1.87 | 0.0761 |
| 5 | 252.45 | 3.397 | 241.06 | 3.627 | 1.0474 | 0.02139 | 1.210 | 0.0354 | 2.43 | 0.0661 |
| x_m | 257.79 | - | 251.64 | - | 1.0246 | - | 1.195 | - | 2.05 | - |
| s_r | - | 5.215 | - | 4.058 | - | 0.0297 | - | 0.0847 | - | 0.0899 |
| Tolerancia de referencia aceptada (en porciento) * | | | | | | 96 %* | 47 %* | | | |
| s_R | | 16.199 | | 13.719 | | 0.0340 | | 0.1080 | | 0.2648 |
| Tolerancia de referencia aceptada (en porciento) * | | | | | | 110 %* | 60 %* | | | |

* Para este ejemplo, se especifica en la norma:

- Tolerancia de referencia aceptada para desempeño de lavado 3% de $x_m = 0,03074$
por lo que: $0,0297 \sim 96\%$ y $0,0340 \sim 110\%$ de $0,03074$
- Tolerancia de referencia aceptada para consumo de energía 15% de x_m de la muestra ensayada = $0,1792$
por lo que: $0,0847 \sim 47\%$ y $0,1080 \sim 60\%$ de $0,1792$

$$x_m = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \bar{x}_i$$

$$s_{L,i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x}_i)^2}$$

$$s_r = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p s_{L,i}^2}$$

$$s_R = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{x}_i - x_m)^2 + \frac{n-1}{n} s_r^2}$$

Tabla 2. Desviación estándar, repetibilidad y reproducibilidad

| Lab. No. | Resultados de lavado de la muestra ensayada | | Resultados de lavado de la muestra de referencia | | Desempeño de lavado de la muestra ensayada | | Consumo de energía | |
|----------|---|----------|--|----------|--|----------|--------------------|----------|
| | | | | | | | Muestra ensayada | |
| | <i>h</i> | <i>k</i> | <i>h</i> | <i>k</i> | <i>h</i> | <i>k</i> | <i>h</i> | <i>k</i> |
| 1 | 0.297 | 0.705 | 0.744 | 0.400 | -0.987 | 0.656 | 0.479 | 1.220 |
| 2 | -0.465 | 0.775 | -0.465 | 0.763 | -0.177 | 0.594 | 1.310 | 1.541* |
| 3 | -1.056 | 1.648* | -0.848 | 1.764** | -0.913 | 1.874** | -1.158 | 0.825 |
| 4 | 1.569 | 0.872 | 1.368 | 0.590 | 1.003 | 0.430 | -0.823 | 0.531 |
| 5 | -0.344 | 0.651 | -0.799 | 0.894 | 1.074 | 0.721 | 0.193 | 0.418 |

Indicadores para h de mandel k estadística.

1% de significancia

$$h = 1,72$$

$$k = 1,65$$

5% de significancia

$$h = 1,57$$

$$k = 1,46$$

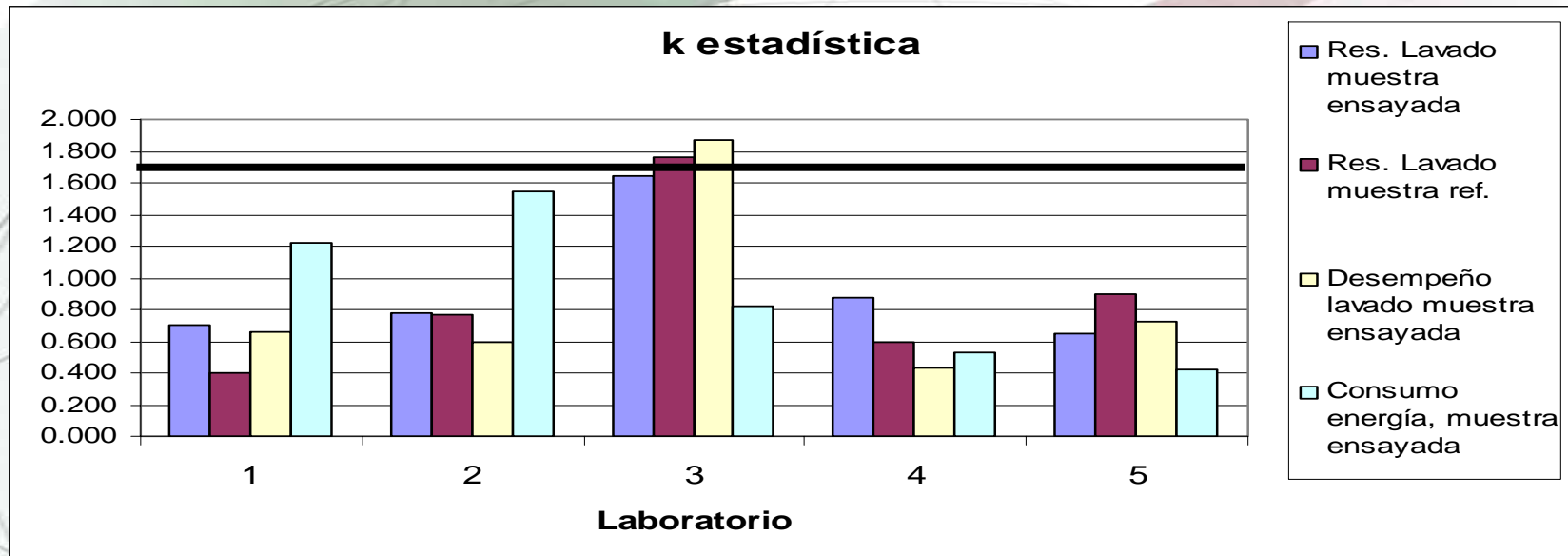
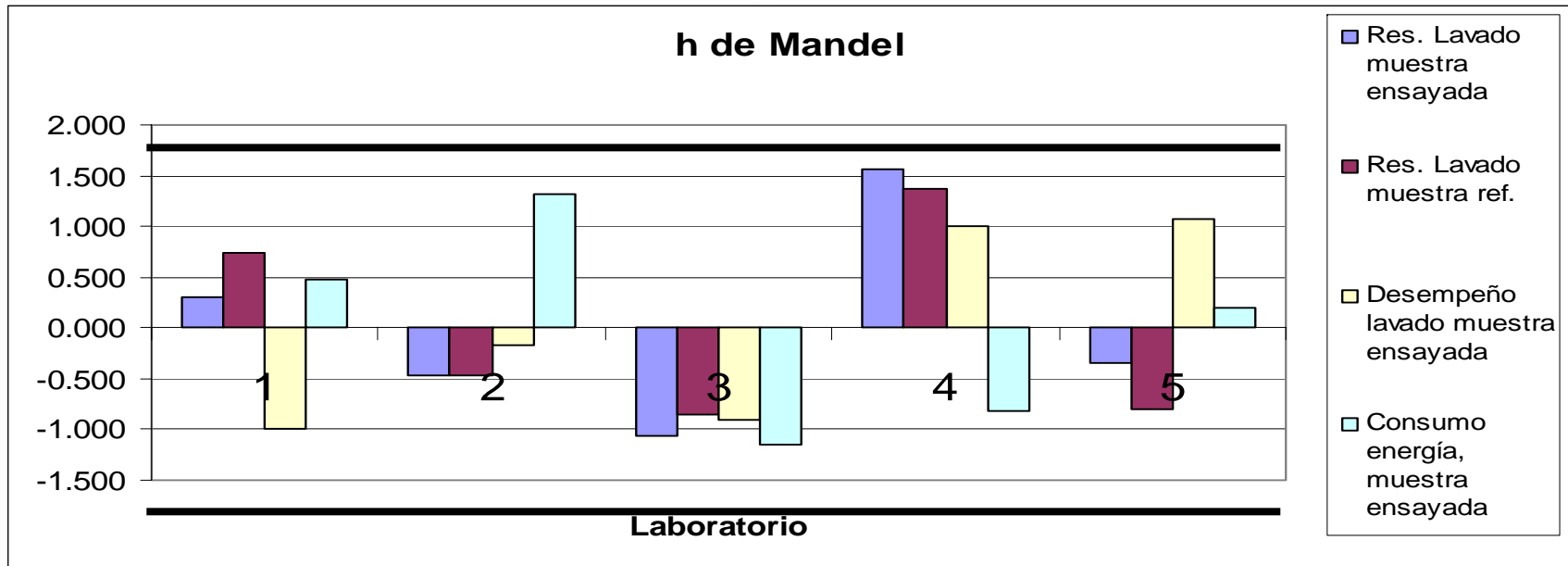
* Stragler

** Outlier

$$h_i = \frac{\bar{x}_i - x_m}{\sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (\bar{x}_i - x_m)^2}}$$

$$k_i = \frac{S_{L,i}}{S_r}$$

Tabla 3. h de Mandel y k estadística



| | Prueba C de Cochran | | Prueba G_1 y G_2 de Grubbs | | | |
|---|---------------------|-------|--------------------------------|------------|------------------|-------|
| | | | Obs. Más grande | | Obs. Más pequeña | |
| Nivel de significancia | 1% | 5% | 1% | 5% | 1% | 5% |
| Valor crítico | 0.633 | 0.544 | 1.764 | 1.715 | 1.764 | 1.715 |
| Muestra ensayada | Lab: 3 | 0.543 | Lab: 4 ** | 4.666 | Lab: 3 ** | 3.143 |
| Muestra de referencia | Lab: 3 * | 0.622 | Lab: 4 ** | 4.460 | Lab: 3 ** | 2.765 |
| Desempeño de lavado, muestra ensayada | Lab: 3 ** | 0.702 | Lab: 5 | 0.770 | Lab: 1 | 0.708 |
| Consumo de energía, muestra ensayada | Lab: 2 | 0.475 | Lab: 2 | 1.191 | Lab: 3 | 1.053 |
| Consumo de energía, muestra de referencia | Lab: 2 | 0.421 | Lab: 5 ** | 4.218 | Lab: 2 ** | 2.989 |
| | | | * Straggler | ** Outlier | | |

Tabla 4. Prueba C de Cochran y G de Grubbs

$$C_i = \frac{s_{L\max}^2}{\sum_{i=1}^p s_{L,i}^2}$$

$$G_1 = \frac{\bar{x}_{\max} - x_m}{s_r}$$

$$G_2 = \frac{x_m - \bar{x}_{\min}}{s_r}$$



ASOCIACIÓN DE NORMALIZACIÓN
Y CERTIFICACIÓN, A.C.



LABORATORIO DE
PRUEBAS

¡ Gracias !

Ing. Raúl Monroy Pérez
rmonroy@ance.org.mx