

## Resumen TP Instrumentos Analógicos y Digitales - Lab. Física 2

### 1. Clasificación

Sin importar la naturaleza de la magnitud a medir, podemos clasificar a los instrumentos en dos categorías de acuerdo a la indicación del valor medido.

## Instrumentos ANALÓGICOS

Tienen un indicador (aguja, cursor, columna de alcohol, nivel de fluido, etc.) para mostrar la medición en una escala. Ese indicador se mueve de manera continua entre los valores de la escala. No hay “salto” entre valores.

## Instrumentos DIGITALES

Son aquellos que presentan una forma discreta de mostrar el valor medido. Puede tener algún indicador (similar a los analógicos) o un display numérico. Si hay un indicador se moverá discretamente, es decir, “saltando” entre valores. El salto suele ser de una o varias unidades de la “cifra menos significativa”.

## 2. Instrumentos Analógicos

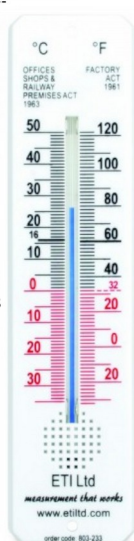
### 2.1. Algunos instrumentos analógicos

#### TERMÓMETRO

-- Medición de temperatura --  
Analógico, a columna de alcohol

El extremo superior de la columna líquida indica el valor de temperatura medido.

El instrumento es "analógico" porque la columna se desplaza en forma continua entre las divisiones de la escala.



Instrumento Multiescala

en °C

Alcance:  $(-35, +50)^{\circ}\text{C}$

N° div.: 85

Factor de escala:  $1^{\circ}\text{C/div}$

en °F

Alcance:  $(-32, +122)^{\circ}\text{C}$

N° div.: 77

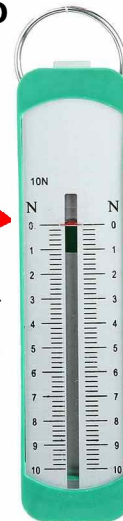
Factor de escala:  $2^{\circ}\text{F/div}$

#### DINAMÓMETRO

-- Medición de fuerza --  
Analógico, a Resorte

El cursor rojo se desplaza para indicar en la escala el valor de fuerza medida.

El instrumento es "analógico" porque el cursor se puede mover en forma continua entre las divisiones de la escala.



Alcance: 10N

N° div.: 50

Factor escala:  $0,2\text{N/div}$

Aquí se cuelga la masa a pesar, o se vincula la fuerza a medir

#### AMPERÍMETRO

-- Medición de intensidad --  
Analógico



El instrumento es "analógico" porque la aguja puede moverse en forma continua entre las divisiones de la escala.

Alcance: 100mA

N° div.: 50

Factor escala:  $2\text{mA/div}$

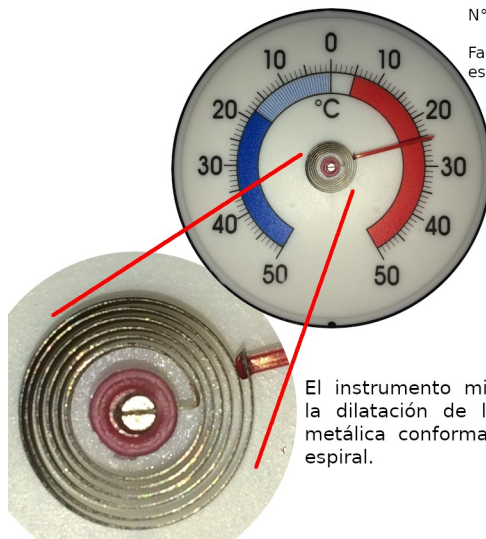
#### TERMÓMETRO

-- Medición de temperatura --  
Analógico, por dilatación

Alcance:  $(-50; +50)^{\circ}\text{C}$

N° div.: 100div

Factor escala:  $1^{\circ}\text{C/div}$



El instrumento mide gracias a la dilatación de la planchuela metálica conformada en forma espiral.

Otros instrumentos analógicos:

- Reloj con segundero continuo
- Densímetro por flotabilidad
- Otros instrumentos de mediciones eléctricas, pueden tener un indicador de aguja u otro tipo de indicadores/tecnologías (inducción c/ contador, laminillas vibrantes, entre otros)
- Balanza de dos platillos

## 2.2. Valores necesarios para una medición

Sin importar la naturaleza de la magnitud a medir, y para cada medición, de todos los instrumentos analógicos deberemos extraer los siguientes cuatro items:

- **Alcance:** es el rango de valores factible a ser medido para cada magnitud. Hay instrumentos multirango (tienen dos o más rangos) y multímetros (pueden medir dos o más magnitudes). El alcance se representa como " $X_{\text{máx}}$ " siendo X la letra usada para representar la magnitud a medir (T: temperatura, V: diferencia de potencial, I: intensidad, etc.)
- **Nº divisiones:** es el rango de valores factible a ser medido para cada magnitud. Hay instrumentos multiescala (tienen dos o más escalas). El número de divisiones, o total de divisiones se representa como " $\alpha_{\text{máx}}$ ".
- **Lectura:** es la indicación presentada por el instrumento al realizar la medición. Se representa como " $\alpha_i$ ", y se expresa en divisiones. Corresponde con la división apuntada por el indicador. Con este valor, por regla de tres simple o utilizando el "factor de escala" determinaremos después el valor medido " $X_i$ ".
- **Incertidumbre:** cada instrumento, de acuerdo a su antigüedad, tendrá una especificación que deberá utilizarse para determinar la incerteza (error) de una medición.

Para los instrumentos de mediciones eléctricas, hay dos especificaciones para las incertezas: 1. "error de clase", 2. "error en instrumentos modernos". Luego como con cualquier instrumento, se puede solicitar a un organismo de certificación la tabla de calibración de un instrumento (se obtiene por el *contraste* del instrumento contra un patrón u otro de mejor calidad).

Veamos la información, conexiones y características en un multímetro analógico, multiescala y multirango de marca "Avometer".

# MULTÍMETRO

- Medición de diferencia de potencial eléctrico --
- Medición de intensidad de corriente eléctrica --
- Medición de resistencia eléctrica --

Analógico, multirango y multiescala



\* IMPORTANTE: la segunda escala lineal indica "30" a fondo de escala, pero tiene 60 divisiones. Para mediciones de laboratorio es recomendable contar las divisiones y no "confiar" en los números. Los números suelen servir para realizar mediciones "de campo" donde se prioriza velocidad en detrimento de la exactitud.

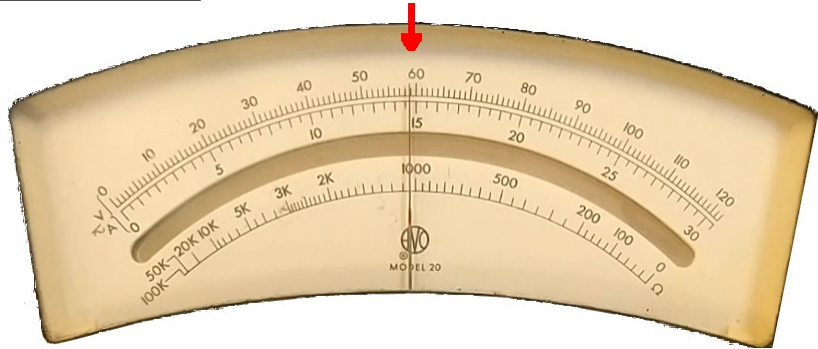
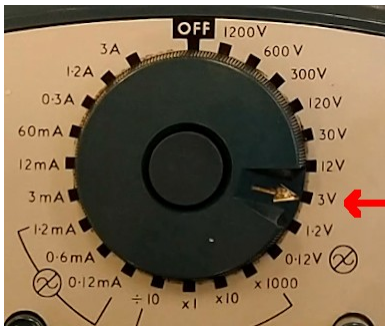
(1) Para las escalas lineales (dif. de potencial "Volt" e intensidad "Ampère"), el desplazamiento de la aguja de menor a mayor valor es de izquierda a derecha.

(2) Para la escala no lineal (resistencia en "Ohm") el desplazamiento de la aguja de menor a mayor valor es de derecha a izquierda.

Ambas escalas *lineales* pueden utilizarse indistintamente para medir diferencia de potencial eléctrico ó intensidad de corriente eléctrica. La escala *no lineal* sólo puede utilizarse para la medición de resistencia eléctrica.

## 2.3. Mediciones y cálculos necesarios

### 2.3.1. Ecuaciones y ejemplo de una medición



De acuerdo con la posición del selector estamos midiendo **diferencia de potencial**, con un **alcance de 3V**. En función de lo indicado por la aguja, la lectura es de **59div.** para la escala superior (total 120 divisiones) y de **29div.** para la escala del medio (total 60 divisiones).

Cuanto más divisiones tenga una escala más precisa será la medición. Nos convendrá entonces, para esta medición de laboratorio, utilizar la escala superior que presenta **120 divisiones**.

**Tabla de valores experimentales**

| i | Valores medidos o extraídos del instrumento |                                     |                       |                             | Valores calculados           |                          |                               |
|---|---|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|   | Alcance<br>$V_{\text{máx}}$                 | Nº de div.<br>$\alpha_{\text{máx}}$ | Lectura<br>$\alpha_i$ | Datos para<br>incertidumbre | Factor<br>de escala<br>$k_v$ | Valor Medido<br>$V_{i0}$ | Incertidumbre<br>$\Delta V_i$ |
|   | [V]   | [div.]                              | [div.]                | [-]                         | [V/div.]                     | [V]                      | [V]                           |
| 1 | 3   | 120                                 | 59                    | -aún no visto-              | ¿?                           | ¿?                       | -aún no visto-                |

Para determinar el valor medido, es decir el valor de la medición, debemos hacer una operación intermedia y calcular el “*factor de escala*”, el factor de escala, también llamado “*constante del instrumento*” nos permite conocer cuántas unidades de la magnitud representa cada una de las divisiones de la escala.

$$k = \frac{\text{Alcance}}{N^{\circ} \text{ divisiones}} \quad \text{ó con la simbología} \quad k_x = \frac{X_{\text{máx}}}{\alpha_{\text{máx}}}$$

en nuestro ejemplo de medición

$$k_v = \frac{V_{\text{máx}}}{\alpha_{\text{máx}}} \Rightarrow k_v = \frac{3 \text{ V}}{120 \text{ div.}} \Rightarrow \boxed{k_v = 0,025 \text{ V/div.}}$$

luego para determinar el valor medido, será cuestión de multiplicar la cantidad de divisiones leídas por el factor de escala.

$$X_i = k_x \cdot \alpha_i$$

en nuestro ejemplo

$$V_1 = k_v \cdot \alpha_1 \Rightarrow V_1 = 0,025 \text{ V/div.} \cdot 59 \text{ div.} \Rightarrow \boxed{V_1 = 1,475 \text{ V}}$$



**Tabla de valores experimentales, con el cálculo del valor medido**

| i   | Valores medidos o extraídos del instrumento |                                     |                       |                             | Valores calculados           |                          |                               |
|-----|---|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|     | Alcance<br>$V_{\text{máx}}$                 | Nº de div.<br>$\alpha_{\text{máx}}$ | Lectura<br>$\alpha_i$ | Datos para<br>incertidumbre | Factor<br>de escala<br>$k_v$ | Valor Medido<br>$V_{i0}$ | Incertidumbre<br>$\Delta V_i$ |
| [-] | [V]   | [div.]                              | [div.]                | [-]                         | [V/div.]                     | [V]                      | [V]                           |
| 1   | 3   | 120                                 | 59                    | -aún no visto-              | 0,025                        | 1,475                    | -aún no visto-                |

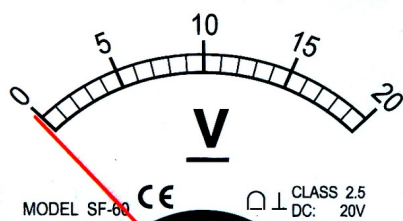
### 2.3.2. Incertidumbre en instrumentos analógicos

#### 2.3.2.1. Error de clase - Clase del instrumento

Los instrumentos analógicos “clásicos” (o antiguos) tienen una especificación para la determinación de incertidumbres llamada “*error de clase*” ó “*clase del instrumento*” que cuantifica el máximo error absoluto de todas las mediciones relativo al alcance y expresado en forma porcentual.

##### 2.3.2.1.1. Determinación de la clase

Para obtener la *clase*, el fabricante u organismo de certificación *contrasta* el instrumento contra un patrón analizándolo en todas y cada una de las divisiones de su escala, y arma una tabla como la siguiente para un instrumento ejemplo.



#### **Voltímetro Analógico**

Rango único. Valores en escala que coinciden que la cantidad de divisiones y con el alcance.

**Alcance:** 20V

**Nº div.:** 20div.

| Valor “X”<br>$V_i$ | Valor Patrón<br>$V_p$ | Error<br>$V_i - V_p$ | Incer. $\Delta V$<br>$ V_i - V_p $ |
|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|
| 0                  | 0.00                  | 0.00                 | 0.00                               |
| 1                  | 1.00                  | 0.00                 | 0.00                               |
| 2                  | 1.83                  | 0.17                 | 0.17                               |
| 3                  | 3.02                  | -0.02                | 0.02                               |
| 4                  | 4.15                  | -0.15                | 0.15                               |
| 5                  | 4.98                  | 0.02                 | 0.02                               |
| 6                  | 6.50                  | -0.50                | <b>0.50</b>                        |
| 7                  | 7.10                  | -0.10                | 0.10                               |
| 8                  | 8.20                  | -0.20                | 0.20                               |
| 9                  | 9.10                  | -0.10                | 0.10                               |
| 10                 | 9.95                  | 0.05                 | 0.05                               |
| 11                 | 11.00                 | 0.00                 | 0.00                               |
| 12                 | 12.09                 | -0.09                | 0.09                               |
| 13                 | 13.00                 | 0.00                 | 0.00                               |
| 14                 | 14.29                 | -0.29                | 0.29                               |
| 15                 | 14.70                 | 0.30                 | 0.30                               |
| 16                 | 16.02                 | -0.02                | 0.02                               |
| 17                 | 17.05                 | -0.05                | 0.05                               |
| 18                 | 17.99                 | 0.01                 | 0.01                               |
| 19                 | 19.00                 | 0.00                 | 0.00                               |
| 20                 | 20.05                 | -0.05                | 0.05                               |

La tabla se arma con mediciones que posicional al indicador del instrumento “X” en todas y cada una de sus divisiones.

Se registra para cada uno de esos valores, la medición del patrón.

Luego se calcula la diferencia entre el valor de nuestro instrumento y el valor brindado por el patrón.

Luego se determina el módulo, y el máximo se utilizará para determinar la “*clase*”.

La expresión para determinar la clase es:

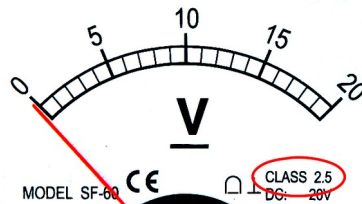
$$clase = \frac{\text{Incertidumbre}_{\text{máx}}}{\text{Alcance}} \cdot 100 \quad \text{con simbología} \quad c = \frac{\Delta X_{\text{máx}}}{X_{\text{máx}}} \cdot 100$$

de acuerdo a los datos del instrumento y las mediciones en la tabla:

$$c = \frac{\Delta V_{\text{máx}}}{V_{\text{máx}}} \cdot 100 \Rightarrow c = \frac{0,5 \text{ V}}{20 \text{ V}} \cdot 100 \Rightarrow \boxed{c = 2,5\%}$$

Resultando la clase del instrumento del 2,5%.

En el plano de escala de este instrumento verán que se indica como "CLASS 2.5".



En algunos instrumentos la clase puede expresarse con el número solo.

#### 2.3.2.1.2. Determinación del $\Delta X$ para las mediciones con instrumentos con "error de clase"

Ahora, para el trabajo experimental utilizaremos la clase para determinar la incerteza y expresar correctamente las mediciones.

Debemos despejar de la ecuación anterior la máxima incertidumbre.

$$\text{Incertidumbre} = \frac{clase \cdot \text{Alcance}}{100} \quad \text{con simbología} \quad \Delta X_{\text{máx}} = \frac{c \cdot X_{\text{máx}}}{100}$$

Para el ejemplo del apartado 2.3.1, la clase del instrumento es 1%, por lo que la incertidumbre para las mediciones del rango 3V será:

$$\Delta V_{\text{máx}} = \frac{c \cdot V_{\text{máx}}}{100} \Rightarrow \Delta V_{\text{máx}} = \frac{1\% \cdot 3 \text{ V}}{100} \Rightarrow \boxed{\Delta V_{\text{máx}} = 0,03 \text{ V}}$$

finalmente completamos la tabla de valores

**Tabla de valores experimentales**

| i   | Valores medidos o extraídos del instrumento |                                     |                       |                             | Valores calculados           |                          |                               |
|-----|---|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|     | Alcance<br>$V_{\text{máx}}$                 | Nº de div.<br>$\alpha_{\text{máx}}$ | Lectura<br>$\alpha_i$ | Datos para<br>incertidumbre | Factor<br>de escala<br>$k_v$ | Valor Medido<br>$V_{i0}$ | Incertidumbre<br>$\Delta V_i$ |
| [-] | [V]   | [div.]                              | [div.]                | [-]                         | [V/div.]                     | [V]                      | [V]                           |
| 1   | 3   | 120                                 | 59                    | 1%                          | 0,025                        | 1,475                    | 0,03                          |

Aplicando el criterio de aproximación a la 1ª cifra significativa del  $\Delta$ , y expresando la medición como  $V_i = (V_{i0} \pm \Delta V)$  obtendremos:

$$\boxed{V_1 = (1,48 \pm 0,03) \text{ V}}$$

**NOTA IMPORTANTE:** los valores solo se aproximan para expresar como resultados finales. Si serán usados en otras etapas de cálculo, deberá trabajarse con todas las cifras significativas posibles.

### 2.3.2.1.3. Inconvenientes del "error de clase" - Limitación del rango de medición

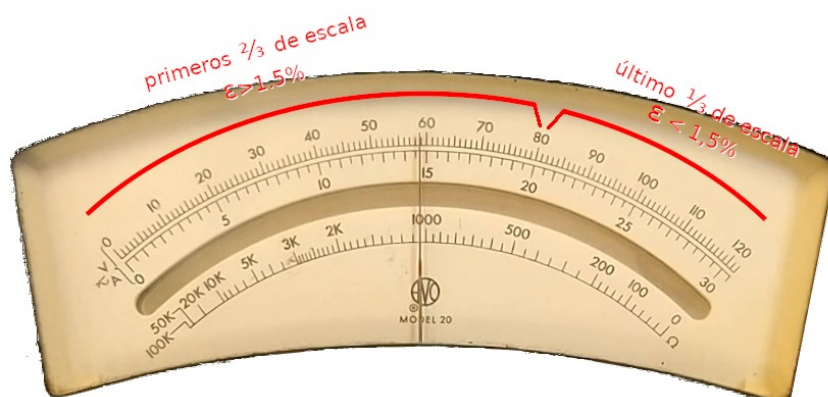
De acuerdo a su definición el error de clase permite determinar la máxima incertidumbre de todo un alcance (rango) de medición, por lo que deberemos utilizar ese  $\Delta X$  para todas las mediciones y eso puede generar que algunas mediciones no tengan la calidad apropiada para un laboratorio.

Analicemos algunos ejemplos para el instrumento del punto 2.3.1

**Tabla de valores experimentales**

| i  | Valores medidos o extraídos del instrumento |                                     |                       |                             | Valores calculados           |                             |                        |                        |
|----|---|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
|    | Alcance<br>$V_{\text{máx}}$                 | Nº de div.<br>$\alpha_{\text{máx}}$ | Lectura<br>$\alpha_i$ | Datos para<br>incertidumbre | Factor<br>de escala<br>$k_v$ | Valor<br>Medido<br>$V_{i0}$ | Incer.<br>$\Delta V_i$ | Error<br>Relativo<br>% |
|    | [V]   | [div.]                              | [div.]                | [-]                         | [V/div.]                     | [V]                         | [V]                    | [-]                    |
| 1  | 3   | 120                                 | 5                     | 1%                          | 0,025                        | 0,125                       | 0,03                   | 24%                    |
| 2  | 3   | 120                                 | 10                    | 1%                          | 0,025                        | 0,25                        | 0,03                   | 12%                    |
| 3  | 3   | 120                                 | 15                    | 1%                          | 0,025                        | 0,375                       | 0,03                   | 8%                     |
| 4  | 3   | 120                                 | 20                    | 1%                          | 0,025                        | 0,5                         | 0,03                   | 6%                     |
| 5  | 3   | 120                                 | 25                    | 1%                          | 0,025                        | 0,625                       | 0,03                   | 4,8%                   |
| 6  | 3   | 120                                 | 30                    | 1%                          | 0,025                        | 0,75                        | 0,03                   | 4%                     |
| 7  | 3   | 120                                 | 35                    | 1%                          | 0,025                        | 0,875                       | 0,03                   | 3,42%                  |
| 8  | 3   | 120                                 | 45                    | 1%                          | 0,025                        | 1,125                       | 0,03                   | 2,67%                  |
| 9  | 3   | 120                                 | 60                    | 1%                          | 0,025                        | 1,5                         | 0,03                   | 2%                     |
| 10 | 3   | 120                                 | 80                    | 1%                          | 0,025                        | 2                           | 0,03                   | 1,5%                   |
| 11 | 3   | 120                                 | 110                   | 1%                          | 0,025                        | 2,75                        | 0,03                   | 1,1%                   |

Como el error absoluto es constante, por la definición de error de clase, el error relativo es totalmente dependiente del valor medido. Por lo que en los sectores más cercanos al fondo de escala, el error relativo disminuirá, mientras que al comienzo de la escala será más alto.



Para que las mediciones sean aceptables, si se dispone de varios alcances se debe elegir aquel para el cual las lecturas se presenten en el último 1/3 de escala.



### 2.3.2.2. Error en instrumentos analógicos modernos

Como vimos en el apartado anterior, el “error de clase” asigna la misma incerteza relativa a todas las mediciones y por eso es una especificación de errores deficiente. Teniendo mucha influencia en las pequeñas mediciones y muy poca en las grandes.

Para resolver esa deficiencia, los instrumentos analógicos modernos utilizan una especificación de error similar a la de los instrumentos digitales.

La especificación “moderna” está compuesta de dos términos, un error absoluto constante (como lo era el obtenido con la clase) y una fracción del valor medido.

$$\Delta X_i = \pm \Delta X_{cte} \pm \% \cdot X_i$$

Tomemos como ejemplo la medición n° 6 del apartado 2.3.2.1.3, con la teoría de error de clase.

Alcance:  $V_{\text{máx}} = 3V$

N° div.:  $\alpha_{\text{máx}} = 120\text{div.}$

Clase = 1%  $\Delta X = 0,03V$

Lectura  $\alpha_6 = 30\text{div.}$

Factor de escala  $K_{V6} = 0,025V/\text{div.}$

Valor representativo  $V_6 = 0,75V$

Error absoluto  $\Delta X_6 = 0,03V$

Error relativo porcentual  $\varepsilon_6 = 4\%$

Para un instrumento moderno de similares características que el multímetro clásico encontramos que la especificación del error para el rango de 3V viene dada por:

$$\Delta V_i = \pm \Delta V_{cte} \pm \% \cdot V_i \Rightarrow \Delta V_i = \pm 0,01V \pm 0,5\% \cdot V_i$$

resultando para la medición una incerteza absoluta de

$$\Delta V_6 = \pm 0,01V \pm 0,5\% \cdot 0,75V \Rightarrow \boxed{\Delta V_6 = 0,01375V}$$

y su error relativo porcentual

$$\varepsilon V_6 = \frac{0,01375V}{0,75V} \cdot 100 \Rightarrow \boxed{\varepsilon V_6 = 1,83\%}$$

Como puede apreciarse la medición n° 6 se encuentra al comienzo del segundo tercio de escala, y con la nueva especificación su calidad mejoró, pues el error relativo porcentual bajó a más de la mitad que con la vieja especificación. Esto permite extender el rango útil del instrumento, y principalmente poder tener mediciones más precisas y mejor representativas de la realidad experimental.

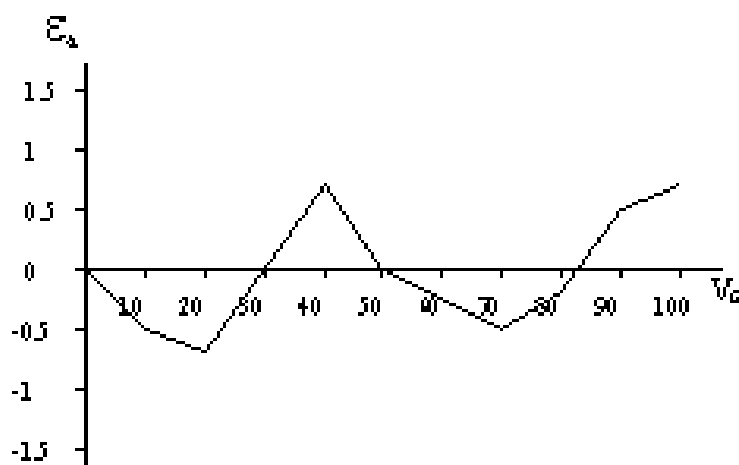
### 2.3.2.3. Contraste del instrumento

De la misma manera en que el fabricante obtiene el error de clase (tabla del apartado 2.3.2.1.1), se puede enviar el instrumento a un organismo de certificación para que lo contraste contra un patrón y nos entregue una tabla similar con los valores correspondientes al valor correspondiente a medición y su correspondiente incertidumbre.

Es el método que nos permite obtener la mejor información de nuestro instrumento, pero presenta un costo. Pues el organismo de certificación cobra por realizar sus servicios de calibración, contraste, etc. y, por supuesto, cuánto mayor información le solicitemos mayor será el costo de su trabajo.

El contraste, en lugar de una tabla, podría ser presentado como una curva que muestre el error (absoluto o porcentual) de cada medición.

He aquí un ejemplo.

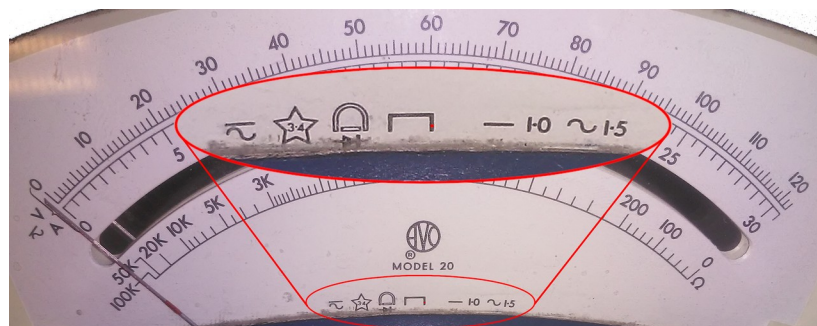
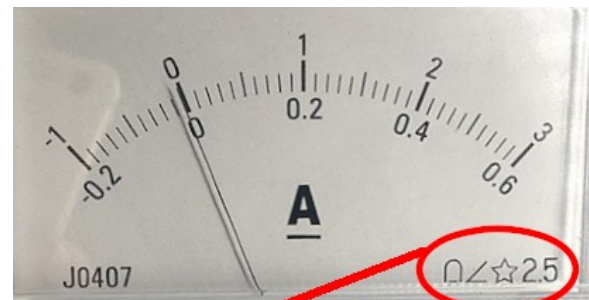
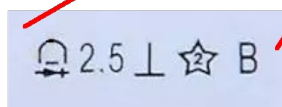
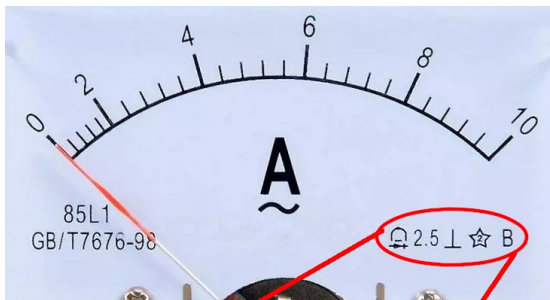


IMPORTANTE: habrán notado que tanto en la tabla del apartado 2.3.2.1.1, como en la curva anterior los errores tienen signo.

Aprovechemos para recordar la diferencia entre “error” e “incertidumbre”. Los errores se obtienen y utilizan conociendo magnitud y signo de la diferencia entre el “valor medido” y “valor más probable”, de manera que pueden corregirse. En cambio la incertidumbre o incerteza, es una forma de acotar esas diferencias, pensemos por ejemplo en el error de clase... al utilizar el módulo del mayor error para todas las mediciones para obtener la clase, no tenemos forma de considerar el signo. Cuando se trabaja con datos que nos permitan calcular incertidumbres, lo único que podemos hacer es “acotar” (y no corregir), y la manera en que lo hacemos es agregando el  $\pm\Delta X$  a cada medición.

### 2.3.3 Simbología de instrumentos analógicos

En los cuadrantes de los instrumentos analógicos encontraremos un conjunto de símbolos que nos indicarán algunas especificaciones de uso, tecnología y funcionamiento.



Los símbolos que podemos encontrar se clasifican principalmente en las categorías:

- Posición
- Tecnología o principio de funcionamiento
- Tensión de prueba (aislación)
- Exactitud (incertidumbre)
- Tipo de corriente (continua / alterna)

### 2.3.3.1. Simbolos de posición de instrumental


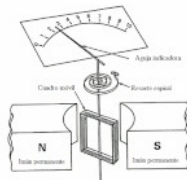


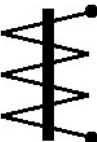

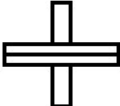
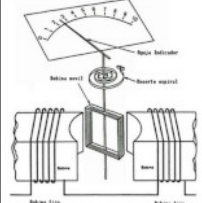

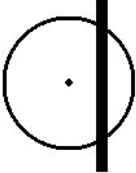
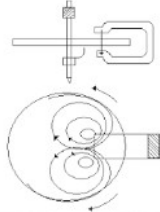
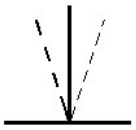

En los instrumentos con indicador de aguja, es fundamental respetar la posición de trabajo para que se las mediciones sean fieles y estén contempladas dentro del intervalo de incertidumbre especificado por el fabricante.

|   |   |  |
|---|---|--|
|    | <b>Posición de trabajo horizontal</b><br>El plano de la escala del instrumento debe ser paralelo a un plano horizontal.   |   |
|    | <b>Posición de trabajo vertical</b><br>El plano de la escala del instrumento debe ser ortogonal al plano horizontal.  |   |
|   | <b>Posición de trabajo inclinada</b><br>(con indicación del ángulo de inclinación)<br>El plano de la escala deberá estar inclinado el ángulo indicado respecto al plano horizontal.               |  |
|  | <b>Posición de trabajo inclinada</b><br>(con un campo nominal de uso)<br>El plano de la escala deberá estar inclinado dentro del rango de ángulos indicado. Siendo, en este caso, 60° el nominal. |  |

### 2.3.3.2. Símbolos tecnológicos o de principio de funcionamiento

Estos símbolos nos permiten conocer qué componente da lugar al movimiento de la aguja o indicador. De acuerdo a la magnitud que se pretende medir y al tipo de corriente la tecnología del instrumental puede ser determinante en la selección de un instrumento.

La siguiente tabla muestra los principales símbolos que encontraremos sobre el principio de funcionamiento del instrumento analógico.

|   |  |   |
|---|--|---|
|    | <b>Imán permanente y bobina móvil</b><br>Son instrumentos que responden a la corriente continua (CC). Se utilizan en la construcción de voltímetros y amperímetros, entre otros instrumentos de CC.                              |    |
|    | <b>Imán permanente y bobina móvil (con rectificador)</b><br>Gracias al rectificador, pueden utilizarse para la medición en corriente alterna (CA). Pueden usarse en voltímetros y amperímetros de CA.                            |    |
|   | <b>Hierro móvil</b><br>Responden indistintamente a la corriente continua (CC) o alterna (CA). Aunque presentan la desventaja de no responder en forma lineal. Suelen utilizarse para instrumentos de tablero, no de laboratorio. |   |
|  | <b>Electrodinámico</b><br>Responden indistintamente a la corriente continua o alterna. Usándolos como medidores de potencia responden en forma lineal, pero no es así cuando se los utiliza en voltímetros y amperímetros.       |  |
|  | <b>Electrodinámico (con núcleo de hierro)</b>  |   |
|  | <b>Inducción</b><br>Responden a la corriente alterna. Se utilizan en la fabricación de medidores de energía (contadores de energía).   |  |
|  | <b>Vibratorios</b><br>Responden a la corriente alterna. Se utilizan en la fabricación de frecuencímetros (medidores de la frecuencia de la corriente alterna).   |  |

### 2.3.3.3. Símbolos para la especificación de la tensión de prueba - Aislación

Las fallas de aislamiento pueden provocar una diferencia de potencial entre el gabinete del instrumento y sus partes metálicas con tierra, por eso los aparatos se someten a una tensión aplicada entre el gabinete y sus partes activas (conectores), que depende de la tensión nominal (de trabajo) y se informa como tensión de prueba de aislamiento. Esa tensión es la máxima diferencia de potencial que puede presentarse entre cualquiera de sus bornes (conectores) y su gabinete.

La tensión de prueba se indica con un estrella y si corresponde un número que expresa la tensión de prueba de aislamiento en kV.

|   |  |
|---|--|
|    | <b>Tensión de Prueba 500V</b><br>Tensión nominal del instrumento 40V                           |
|    | <b>Tensión de Prueba 1kV (1000V)</b>   |
|   | <b>Tensión de Prueba 2kV (2000V)</b><br>Tensión nominal del instrumento<br>entre 40V y 650V    |
|  | <b>Tensión de Prueba 5kV (5000V)</b><br>Tensión nominal del instrumento<br>entre 1000V y 1500V |
|  | <b>No sujeto a prueba.</b>   |

### 2.3.3.4. Símbolos para la especificación de errores - exactitud (incertidumbre)

Aquellos instrumentos (antiguos o no) que usen la especificación de “error de clase” para la determinación de las incertezas en sus mediciones, indicarán el “número de clase” en el plano de su escala. Podrán expresarlo con un número solo o también con la palabra “class” seguida del número.

En algunos instrumentos antiguos cuando se expresa una clase con decimales, por ej. 1,5%, encontraremos un punto central que representa la coma o punto decimal, y se verá de esta forma 1·5 , y en otros puede que el valor decimal tenga un tamaño de letra menor que la unidad 1<sup>5</sup>.

En los multímetros, puede haber varias “clases” de acuerdo a la magnitud medida, al tipo de corriente (CC / CA). En una las imagenes que se presentan en los ejemplos siguiente



se puede apreciar una clase de 1% para la medición de intensidad (Ampère) en corriente continua, de 2% para la medición de diferencia de potencial (Volt) en corriente continua, y de 2,25% para las mediciones en corriente alterna.



#### 2.3.3.5. Símbolos según el tipo de corriente

Los instrumentos pueden responder a la corriente continua, a la corriente alterna o ambas. Los siguientes símbolos indican la especificación del instrumento.

|  |  |
|--|--|
|  | <b>Instrumento de Corriente Continua</b>                         |
|  | <b>Instrumento de Corriente Continua</b>                         |
|  | <b>Instrumento de Corriente Alterna</b>                          |
|  | <b>Instrumento de ambas corriente Continua y Alterna</b>         |
|  | <b>Instrumento trifásico</b><br>con un solo elemento de medición |
|  | <b>Instrumento trifásico</b><br>con dos elemento de medición     |
|  | <b>Instrumento trifásico</b><br>con tres elemento de medición    |

## 2. Instrumentos Digitales

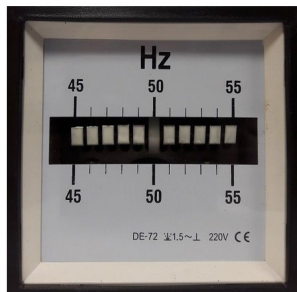
### 2.1. Algunos instrumentos digitales

#### FRECUENCÍMETRO

-- Medición de frecuencia --  
Digital, a lengüeta vibrante

Cada lengüeta resuena a una frecuencia específica. La que presente la mayor amplitud de oscilación es la que indicará el valor de la frecuencia medida.

El instrumento es digital porque hay saltos entre los valores de frecuencia que puede medir cada lengüeta. Por supuesto no puede haber "infinitas" lengüetas.



Alcance: 45Hz - 55Hz

Nº div.: 50

Apreciación: 1Hz

#### TERMÓMETRO

-- Medición de temperatura --  
Digital, electrónico

Medición en °C y °F  
Display de 3 1/2 dígitos  
(números representables desde 000 hasta 1999).



Alcance: (-50;+300)°C  
(-58;+572)°F

Apreciación: 0,1°C / 0,1°F

Incertidumbre:  $\pm 1^\circ\text{C} / \pm 1^\circ\text{F}$

#### MULTÍMETRO

-- Múltiples magnitudes --  
Digital, electrónico

Permite medir múltiples magnitudes, y tiene disponibles varios alcances para cada una.

Al tener un display numérico, el instrumento es digital. El display es de 4 dígitos completos. Como la mayoría de los alcances están en la secuencia 6 (6-60-600-6000-etc.) los valores mostrados irán desde 0000 hasta 5999, un total de 6000 valores, propio de la secuencia.

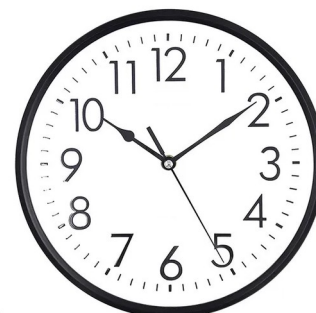


#### RELOJ

Digital, es contador de oscilaciones

Dispone de un oscilador de 1s de período. Puede ser energizado por cuerda si es mecánico o una pila si es eléctrico.

El instrumento es digital porque el segundero, se mueve de forma discontinua, "saltando" entre segundo y segundo.



Otros ejemplos de instrumentos digitales son:

- Reloj con display numérico
- Voltímetro, Amperímetro y otros instrumentos con display
- Cualquier dispositivo que "cuente", ej. contador de piezas producidas, contador de vueltas de un devanado (bobinado), entre otros.

## 2.2. Aspectos principales de los instrumentos digitales estándar con display numérico

### 2.2.1. Alcances, secuencias, presentación

#### 2.2.1.1. Alcances

De forma similar a lo que sucede con los analógicos, habrá instrumentos digitales que tengan la posibilidad de medir una o varias magnitudes, con uno o varios alcances (rangos) posibles.

Los alcances o rangos quedarán limitados tecnológicamente, por las conversiones analógicas/digitales que el instrumento realiza para determinar la medición. Esas limitaciones resultarán en un número de “cuentas”. A mayor número de cuentas, más precisa será la medición y en contrapartida a menor número de cuentas, menos precisa será.

En los instrumentos estándar hay una relación directa entre el número de cuentas, la secuencia de los alcances y la cantidad de dígitos del display numérico.

#### 2.2.1.2. Secuencias

Las “secuencias” que usaron en el laboratorio de física 1 y deberán continuar usando nos indican los valores factibles de utilizar como escalas para el trazado de gráficos.

Por ejemplo, la secuencia “1-2-5” nos marcaba que las escalas posibles son:

1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000, 5000, etc. si necesitamos valores mayores, y 0,5; 0,2; 0,1; 0,05; 0,02; 0,01; 0,005; 0,002; 0,001, etc. si necesitamos valores menores.

De una forma similar, en instrumentación, la secuencia determinará los alcances del instrumento, y se relacionan con el número de cuentas.

Un instrumento de 2000 cuentas, puede mostrar valores entre 0-1999 y trabaja con la secuencia “2”. Los alcances generales estarán dados por: 0,002; 0,02; 0,2; 2; 20; 200; 2000, 20000, etc. aunque se expresarán usando los prefijos del Sistema Internacional ( $\mu$ =micro, m=mili, k=kilo, M=mega), quedando los valores anteriores como: 2m, 20m, 200m, 2, 20, 200, 2k, 20k.



Selector del multímetro Nicety ST830L

Un instrumento de 4000 cuentas, puede mostrar valores entre 0-3999, y trabaja con la secuencia “4”. En general sus alcances estarán dados por: 0,004; 0,04; 0,4; 4; 40; 400, 4000, 40000, etc.; expresados con los prefijos: 4m, 40m, 4, 40, 400, 4k, 40k, etc.

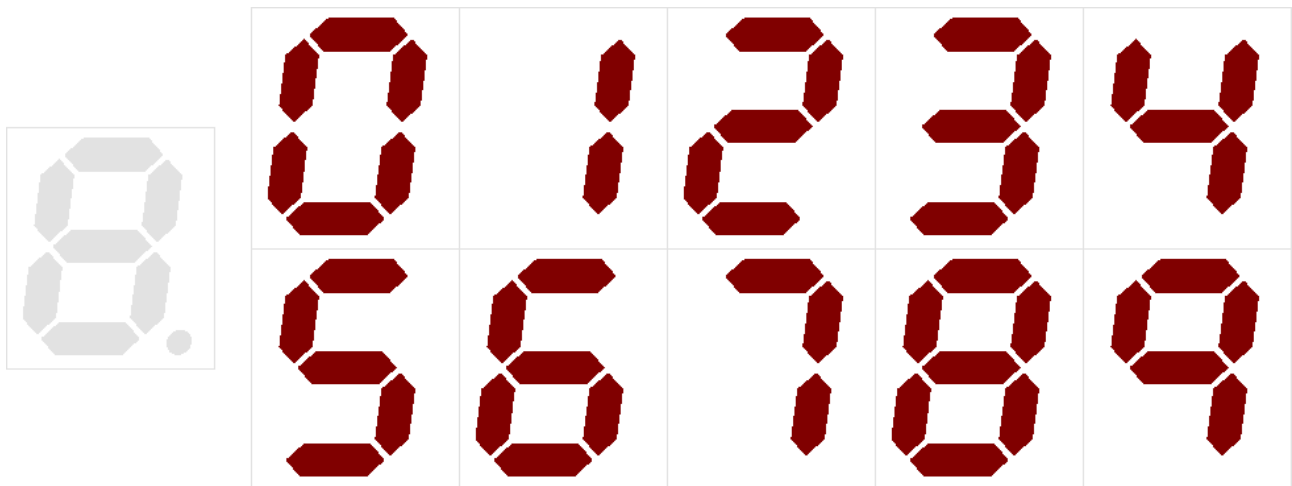


Selector del multímetro Goldstar DM-332

### 2.2.1.3. Presentación

#### 2.2.1.3.1. Display de 7 segmentos

Un display de “7 segmentos” está formado por 7 barras, que permiten formar los números enteros desde 0 hasta 9. También disponen de 1 punto para representar la coma decimal.



#### 2.2.1.3.2. Cantidad de dígitos

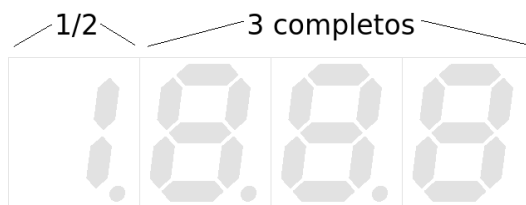
De acuerdo con la calidad y las prestaciones que ofrece nuestro instrumento digital se podrá mostrar la medición en:

- Displays con N dígitos y fracción (ej. 3 y ½ dígitos)
- Displays con N dígitos (ej. 4 dígitos)

Un display de N dígitos completos puede mostrar cualquier número entre 0 y 9. Si tenemos un display de 3 dígitos podrá mostrar entre 000 y 999.

Los displays de N dígitos y fracción, tienen una limitación en la cifra más significativa.

Por ejemplo un display de 3 ½ dígitos, puede mostrar 3 cifras desde 0 hasta 9 c/u, pero como el dígito fraccionario solo tiene 2 segmentos, solo puede mostrar un “1” o estar desactivado.



Encontraremos displays de 3 ½ dígitos en instrumentos de 2000 cuentas. Veamos qué rango de valores se pueden mostrar para varios alcances de la secuencia “2” entre 20m y 20M. Nótese lo que sucede con la posición del punto decimal para cada alcance.

|               |  |  |
|---------------|--|--|
| Alcance: 20m  |  |  |
| Alcance: 200m |  |  |
| Alcance: 2    |  |  |
| Alcance: 20   |  |  |
| Alcance: 200  |  |  |
| Alcance: 2k   |  |  |
| Alcance: 20k  |  |  |
| Alcance: 200k |  |  |
| Alcance: 2M   |  |  |
| Alcance: 20M  |  |  |

En algunos instrumentos, puede suceder que el alcance indique “2000” en lugar de “2k” ó “2000k” en lugar de “2M”. En esos casos el punto decimal se apaga y los valores mostrados van desde 000 hasta 1999.

Puede ocurrir que el instrumento tenga uno o más alcances por fuera de la secuencia “2”, por ejemplo 700, en esos casos no puede usarse el ½ dígito, y los valores quedarán limitados a tres cifras significativas.



Aquellos instrumentos de mayor precisión, 4000 cuentas, 6000 cuentas, etc. tendrán display con 7 segmentos en todas sus cifras, aunque dependiendo de la cantidad de cuentas, los valores a mostrar estarán limitados de una manera similar a lo que ocurre con los de 2000 cuentas.



Ejemplos:

- Instrumento de 4000 cuentas: los valores desde 0000 hasta 3999. Se dice que el display es de  $3\frac{3}{4}$  dígitos. El  $\frac{3}{4}$  indica que se muestra hasta el “3” de 4 cifras posibles (0, 1, 2 y 3).
- Instrumento de 6000 cuentas: valores desde 0000 hasta 5999. Se dice que el display es de  $3\frac{5}{6}$  dígitos. El  $\frac{5}{6}$  indica que se muestra hasta el “5” de 6 cifras posibles (0, 1, 2, 3, 4 y 5).

Aquí se muestra lo esperado para un instrumento de 4000 cuentas, para varios alcances de la secuencia “4”.

|               |  |  |
|---------------|--|--|
| Alcance: 40m  |  |  |
| Alcance: 400m |  |  |
| Alcance: 4    |  |  |
| Alcance: 40   |  |  |
| Alcance: 400  |  |  |
| Alcance: 4k   |  |  |
| Alcance: 40k  |  |  |
| Alcance: 400k |  |  |
| Alcance: 4M   |  |  |
| Alcance: 40M  |  |  |



### 2.2.2. Incertezas de medición (errores)

Para la determinación de incertezas en instrumentos digitales, los fabricantes nos brindan una especificación formada por dos términos que se sumarán para obtener el error absoluto de la medición.

- 1° un valor constante
- 2° un porcentaje del valor medido

Suele estar expresada como  $\Delta X = \pm (\% \text{ rdg} + n \text{ dgt})$  y el fabricante entrega una tabla con una especificación para cada alcance.

Por ejemplo:

- Medición de tensión CC (DC en inglés)
- Alcance: 40V
- Valor medido: 31,47V
- $\Delta V = \pm (0,5\% + 3 \text{ dgt})$

La especificación nos indica que debemos sumar el 0,5% del valor medido más 3 dígitos.

¿qué es un dígito? Es la resolución del instrumento. Es igual a una unidad de la cifra menos significativa. Dependerá del alcance elegido.



Para el alcance 40V, la cifra menos significativa es la *centésima*, es decir, 0.01V

El error absoluto de la medición resultará:

$$\Delta V = \pm (0,005 \times 31,47 \text{ V} + 3 \times 0,01 \text{ V}) \Rightarrow \Delta V = \pm 0,18735 \text{ V}$$

utilizando el criterio de aproximación al 1° cifra significativa del  $\Delta$ , y expresando la medición como  $V = V_0 \pm \Delta V$  obtendremos:

$$V = (31,5 \pm 0,2) \text{ V}$$

**NOTA IMPORTANTE:** los valores solo se aproximan para expresar como resultados finales. Si serán usados en otras etapas de cálculo, deberá trabajarse con todas las cifras significativas posibles.

De la misma forma en que se realizaba con los instrumentos analógicos, es recomendable registrar las mediciones en una tabla, para luego realizar los cálculos de error.

**Tabla de valores experimentales**  
**Ejemplos con voltímetros digitales MY64 (2000 cuentas) y DM332 (4000 cuentas)**

| i   | Valores medidos o extraídos del instrumento |                             |  |                          | Valor calculado               |
|-----|---|-----------------------------|--|--------------------------|-------------------------------|
|     | Alcance<br>$V_{\text{máx}}$                 | Datos para<br>incertidumbre | Valor de la cifra<br>menos significativa<br>(resolución) | Valor Medido<br>$V_{i0}$ | Incertidumbre<br>$\Delta V_i$ |
| [-] | [V]   | [% rdg + n dgt]             | [V]  | [V]                      | [V]                           |
| 1   | 200m  | 1,2% + 5dgt                 | 0,1m   | 89,65m                   | 1,5758m                       |
| 2   | 200   | 1% + 5dgt                   | 0,1  | 150,2                    | 2,002                         |
| 3   | 400m  | 0,5% + 1dgt                 | 0,1m   | 182,4m                   | 1,012m                        |
| 4   | 40  | 0,5% + 3dgt                 | 0,01   | 31,47                    | 0,18735                       |