

CALIBRACION DE NIVELES SEGUN ISO 17123-2 METODO COMPLETO

Ing. Antonio Marquez. BSEE Columbia University New York. MSEE Sistemas Digitales UCV, Caracas, Venezuela. Gerente General de MEDICIONES CIENTIFICA E INDUSTRIALES C.A. MECINCA.

En un trabajo anterior se presento la Forma Rapida de esta Norma, que confirma SI un nivel, del tipo usado en construccion o en topografia general, estaba AJUSTADO o NO, pero la Norma Rapida no establece su precision, que SI la obtenemos con esta Norma ISO 17123-2 modalidad Completa como mm/Km doble vuelta. Esta Calibracion esta recomendada para Niveles de Primer Orden, usados en proyectos Geodesicos o en trabajos de Nivelacion Industrial de alta precision.

Se toman tres series con al menos 20 lecturas por serie. Para la primera serie, se instalan las miras a 30 metros cada una del punto donde estacionamos el nivel, la serie la vamos a denominar 30-0-30. Se tiene sumo cuidado de que durante esta operacion las miras o estadias no se muevan ni vibren por el viento, o por cualquier elemento perturbador externo. En la segunda serie se colocan las miras en 27-0-33, es decir una a 27 metros del tripode y otra a 33 metros del mismo. Y se tomara una serie adicional que nombraremos como "de larga distancia" a 45 y 60 metros del tripode, o 45-0-60.

La entrada de datos se realizan en las Matrices M30, M27 y M45 respectivamente. Siendo las columnas 1 y 2 las que reciben los datos Atrás y Adelante respectivamente, y la columna 3 contendra las diferencias entra Atrás y Adelante, para despues calcular los residuos de las observaciones que se almacenaran en la columna 4, y sus cuadrados --- los cuadrados de los residuo ---, en la columna 5. En esta forma mediante MathCad, es muy facil calcular la Calibracion, que tambien puede ser implementada en una hoja de Excell. Realmente, lo que calculamos es la Desviacion Estandar de los Residuos, que podria ser calculado en forma directa por MathCad, pero MathCad en este calculo no me especifica los grados de libertad usados, y preferimos realizar a pedal este calculo, razon por la cual tenemos los cuadrados de los residuos en la columna 5. Esta Calibracion se suele realizar a Niveles Opticos convencionales de Alta Precision, pero tambien es valida para los Niveles Digitales de Barras, ya que los mismos trabajan en forma similar, y la diferencia es que despues del Compensador Automatico, hay un lector CCD que descifra la lectura y la presenta en la pantalla en forma digital, pero el principio en cuanto a Nivelacion se refiere, es similar a los Niveles Automaticos convencionales. Nota: Todas las unidades estan en metros. Queremos hacer notar, que con un par de comandos MathCad de columna, los calculos se realizan en forma completa, pero el proposito es mostrar en forma pedagogica la NORMA.

Las Matrices para la Entrada de Datos y Calculos de la Norma:

$M_{30} :=$	$\begin{bmatrix} 1.5157 & 1.2978 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5156 & 1.2977 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5152 & 1.2972 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5159 & 1.2973 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5161 & 1.2974 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5162 & 1.2969 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5156 & 1.2971 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5162 & 1.2972 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5162 & 1.2971 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5164 & 1.2973 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5159 & 1.2972 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5151 & 1.2968 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5151 & 1.2967 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5167 & 1.2972 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5167 & 1.2970 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5161 & 1.2969 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5162 & 1.2964 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5160 & 1.2975 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5154 & 1.2970 & 0 & 0 & 0 \\ 1.5162 & 1.2969 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$M_{27} :=$	$\begin{bmatrix} 1.6105 & 1.3828 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6107 & 1.3817 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6109 & 1.3819 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6110 & 1.3820 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6111 & 1.3821 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6110 & 1.3822 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6108 & 1.3823 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6109 & 1.3824 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6105 & 1.3825 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6106 & 1.3826 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6109 & 1.3827 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6108 & 1.3829 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6109 & 1.3830 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6110 & 1.3828 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6111 & 1.3825 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6109 & 1.3822 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6106 & 1.3823 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6107 & 1.3825 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6109 & 1.3829 & 0 & 0 & 0 \\ 1.6112 & 1.3826 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$M_{45} :=$	$\begin{bmatrix} 1.3893 & 1.1710 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3892 & 1.1711 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3891 & 1.1712 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3892 & 1.1713 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3894 & 1.1714 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3895 & 1.1718 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3896 & 1.1710 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3899 & 1.1706 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3887 & 1.1707 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3888 & 1.1708 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3887 & 1.1709 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3889 & 1.1710 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3891 & 1.1711 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3892 & 1.1712 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3893 & 1.1712 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3896 & 1.1714 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3892 & 1.1710 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3890 & 1.1711 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3891 & 1.1712 & 0 & 0 & 0 \\ 1.3892 & 1.1713 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
-------------	--	-------------	--	-------------	--

Una vez cargadas las Matrices con los Datos de Observacion, se procede al calculo de las Diferencias entre las lecturas hacia Atrás (Backward) y las realizadas a la mira Adelante (Forward), por lo que una simple resta de la columna 2 a la columna 1, nos da las diferencias.

$$M30 := \begin{array}{|l} \text{for } s \in 1..20 \\ \quad \begin{array}{|l} M30_{s,3} \leftarrow M30_{s,1} - M30_{s,2} \\ M30 \end{array} \end{array}$$

$$M27 := \begin{array}{|l} \text{for } s \in 1..20 \\ \quad \begin{array}{|l} M27_{s,3} \leftarrow M27_{s,1} - M27_{s,2} \\ M27 \end{array} \end{array}$$

$$M45 := \begin{array}{|l} \text{for } s \in 1..20 \\ \quad \begin{array}{|l} M45_{s,3} \leftarrow M45_{s,1} - M45_{s,2} \\ M45 \end{array} \end{array}$$

$$\text{mean}(M30^{(3)}) = 0.218795$$

$$\text{mean}(M27^{(3)}) = 0.228405$$

$$\text{mean}(M45^{(3)}) = 0.218085$$

A la derecha tenemos los promedios de las Diferencias, que mas abajo los utilizamos para el calculo de los Residuos, con sus Cuadrados a fin de Calcular la Desviacion Estandar de los mismos.

$$M30 := \begin{array}{|l} \text{for } s \in 1..20 \\ \quad \begin{array}{|l} M30_{s,4} \leftarrow M30_{s,3} - \text{mean}(M30^{(3)}) \\ M30 \end{array} \end{array}$$

$$M45 := \begin{array}{|l} \text{for } s \in 1..20 \\ \quad \begin{array}{|l} M45_{s,4} \leftarrow M45_{s,3} - \text{mean}(M45^{(3)}) \\ M45 \end{array} \end{array}$$

$$M27 := \begin{array}{|l} \text{for } s \in 1..20 \\ \quad \begin{array}{|l} M27_{s,4} \leftarrow M27_{s,3} - \text{mean}(M27^{(3)}) \\ M27 \end{array} \end{array}$$

Calculo del Cuadrado de los Residuos:

$$M30 := \left\| \begin{array}{l} \text{for } s \in 1..20 \\ \left\| M30_{s,5} \leftarrow ((M30)_{s,4})^2 \right\| \\ M30 \end{array} \right\|$$

$$M27 := \left\| \begin{array}{l} \text{for } s \in 1..20 \\ \left\| M27_{s,5} \leftarrow ((M27)_{s,4})^2 \right\| \\ M27 \end{array} \right\|$$

$$M45 := \left\| \begin{array}{l} \text{for } s \in 1..20 \\ \left\| M45_{s,5} \leftarrow ((M45)_{s,4})^2 \right\| \\ M45 \end{array} \right\|$$

Se muestran las tres matrices ya con todos los Datos, y al final de cada una se muestran las Sumas de los Cuadrados de los Residuos de cada una de ellas.

Matriz de Observacion y Calculo 30-0-30

$$M30 = \begin{bmatrix} 1.516 & 1.298 & 0.218 & -8.95 \cdot 10^{-4} & 8.01 \cdot 10^{-7} \\ 1.516 & 1.298 & 0.218 & -8.95 \cdot 10^{-4} & 8.01 \cdot 10^{-7} \\ 1.515 & 1.297 & 0.218 & -7.95 \cdot 10^{-4} & 6.32 \cdot 10^{-7} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & -1.95 \cdot 10^{-4} & 3.802 \cdot 10^{-8} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & -9.5 \cdot 10^{-5} & 9.025 \cdot 10^{-9} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & 5.05 \cdot 10^{-4} & 2.55 \cdot 10^{-7} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & -2.95 \cdot 10^{-4} & 8.702 \cdot 10^{-8} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & 2.05 \cdot 10^{-4} & 4.203 \cdot 10^{-8} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & 3.05 \cdot 10^{-4} & 9.302 \cdot 10^{-8} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & 3.05 \cdot 10^{-4} & 9.302 \cdot 10^{-8} \\ 1.516 & 1.297 & 0.219 & -9.5 \cdot 10^{-5} & 9.025 \cdot 10^{-9} \\ 1.515 & 1.297 & 0.218 & -4.95 \cdot 10^{-4} & 2.45 \cdot 10^{-7} \\ & & & & \vdots \end{bmatrix}$$

Matriz de Observacion y Calculo 27-0-33

$$M27 = \begin{bmatrix} 1.611 & 1.383 & 0.228 & -7.05 \cdot 10^{-4} & 4.97 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.382 & 0.229 & 5.95 \cdot 10^{-4} & 3.54 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.382 & 0.229 & 5.95 \cdot 10^{-4} & 3.54 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.382 & 0.229 & 5.95 \cdot 10^{-4} & 3.54 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.382 & 0.229 & 5.95 \cdot 10^{-4} & 3.54 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.382 & 0.229 & 3.95 \cdot 10^{-4} & 1.56 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.382 & 0.229 & 9.5 \cdot 10^{-5} & 9.025 \cdot 10^{-9} \\ 1.611 & 1.382 & 0.229 & 9.5 \cdot 10^{-5} & 9.025 \cdot 10^{-9} \\ 1.611 & 1.383 & 0.228 & -4.05 \cdot 10^{-4} & 1.64 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.383 & 0.228 & -4.05 \cdot 10^{-4} & 1.64 \cdot 10^{-7} \\ 1.611 & 1.383 & 0.228 & -2.05 \cdot 10^{-4} & 4.203 \cdot 10^{-8} \\ 1.611 & 1.383 & 0.228 & -5.05 \cdot 10^{-4} & 2.55 \cdot 10^{-7} \\ & & & \vdots & \end{bmatrix}$$

$$SumCuaRes27 := \sum_{s=1}^{20} M27_{s,5} = 0.0000033895$$

Matriz de Observacion y Calculo 45-0-55

$$M45 = \begin{bmatrix} 1.389 & 1.171 & 0.218 & 2.15 \cdot 10^{-4} & 4.622 \cdot 10^{-8} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & 1.5 \cdot 10^{-5} & 2.25 \cdot 10^{-10} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & -1.85 \cdot 10^{-4} & 3.423 \cdot 10^{-8} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & -1.85 \cdot 10^{-4} & 3.423 \cdot 10^{-8} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & -8.5 \cdot 10^{-5} & 7.225 \cdot 10^{-9} \\ 1.39 & 1.172 & 0.218 & -3.85 \cdot 10^{-4} & 1.482 \cdot 10^{-7} \\ 1.39 & 1.171 & 0.219 & 5.15 \cdot 10^{-4} & 2.652 \cdot 10^{-7} \\ 1.39 & 1.171 & 0.219 & 0.001 & 1.476 \cdot 10^{-6} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & -8.5 \cdot 10^{-5} & 7.225 \cdot 10^{-9} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & -8.5 \cdot 10^{-5} & 7.225 \cdot 10^{-9} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & -2.85 \cdot 10^{-4} & 8.123 \cdot 10^{-8} \\ 1.389 & 1.171 & 0.218 & -1.85 \cdot 10^{-4} & 3.423 \cdot 10^{-8} \\ & & & \vdots & \end{bmatrix}$$

$$SumCuaRes45 := \sum_{s=1}^{20} M45_{s,5} = 0.00000229$$

Resultados Finales:

El calculo final se realiza, combinando las sumas de los cuadrados de los residuos en 30-0-30 con la suma de los cuadrados de los residuos en 27-0-33, y dividiendolo por el numero 38 que es el numero de grados de libertad menos dos. Se esta tomando la desviacion estandar combinada de los residuos en 30-0-30 y en 27-0-33.

Calculo del S_{1_2} :

$$S_{1_2} := \sqrt{\left(\frac{SumCuaRes30 + SumCuaRes27}{38}\right)} = 0.00050364$$

De acuerdo a la Formula de Becker:

La Precision por Kilometro doble vuelta en mm.

$$Precision_{Kilometro} := S_{1_2} \cdot 2.38 = 0.001199$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\left(\frac{1000}{60}\right)}} = 0.346$$

Se procede a Chequear la Precision en Lineas Largas, para lo cual lo mismo que hicimos anteriormente, se combinan las desviaciones estandar de los Residuos en 30-0-30, con las desviaciones estandar de los residuos en 45-0-55, y lo multiplicamos por el factor 2.8 para tener la precision del equipo en mm/Km doble vuelta, en este caso, aplicacion lineal de larga distancia. Observamos resultados muy similares al caso anterior.

Reciproco de la formula:

$$\frac{1}{0.346} = 2.89$$

$$S_{1_3} := \sqrt{\left(\frac{SumCuaRes30 + SumCuaRes45}{38}\right)} = 0.00047393$$

$$Precision_{Kilometro} := S_{1_3} \cdot 2.38 = 0.001128$$