



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Nombre del Centro

Trabajo Fin de Grado

CALIBRACIÓN SEGÚN NORMA ISO 17123 DE LA ESTACIÓN TOTAL TCRA 1203 Y EN RTK DEL LEICA SYSTEM 1200

Alumna: Rosa Lerma Fernández

Tutor: Prof. D. José Luís de la Cruz González
Dpto: Ingeniería Cartográfica, Geodésica y
Fotogrametría

Noviembre, 2017

Índice

1. OBJETIVO	4
2. LOCALIZACIÓN Y ZONA DE TRABAJO	4
3. INSTRUMENTACIÓN Y MATERIAL UTILIZADO	6
4. METODOLOGÍA	9
5. ISO 17123	9
5.1. Introducción	9
5.2. Configuración del test de campo	10
5.3. Mediciones	10
5.4. Cálculos	12
5.4.1. Precisión de las coordenadas X e Y	12
5.4.2. Precisión de la coordenada Z	14
5.5. Test estadístico	15
5.5.1. General	15
5.5.2. Respuesta a la pregunta a)	16
5.5.3. Respuesta a la pregunta b)	16
6. ISO 17123-8	17
6.1. Introducción	17
6.2. RTK	18
6.3. Requisitos	18
6.4. Características de las pruebas	18
6.5. Cálculos	19
6.5.1. Cálculo de los valores estadísticos	19
6.6. Test estadístico	21
6.6.1. Cálculo de los valores estadísticos	21
6.6.2. Respuesta a la pregunta a)	22
6.6.3. Respuesta a la pregunta b)	22
6.6.4. Respuesta a la pregunta c)	23
6.6.5. Respuesta a la pregunta d)	23
ANEXO I: DATOS DE CAMPO	24
7. ISO 17123-5	25
7.1 Datos de campo	25
8. ISO 17123-8	26
8.1 Datos de campo	26
ANEXO II: CÁLCULOS Y TEST ESTADÍSTICO	27

9. ISO 17123-5	28
9.1 Cálculos	28
9.2 Test estadístico	31
9.2.1 Test estadístico de acuerdo con la pregunta a)	31
10. ISO 17123-8	33
10.1 Cálculos	33
10.2 Test estadístico	34
10.2.1 Test estadístico de acuerdo con la pregunta a)	34
10.2.2 Test estadístico de acuerdo con la pregunta b)	34
CONCLUSIONES	35
Bibliografía	37
PRESUPUESTO	38

MEMORIA

1. OBJETIVO

El objetivo de este proyecto es la calibración de la Estación Total TCRA-1203 a una distancia de 55 metros y del GPS Leica System 1200. Para ello, se aplicará la norma ISO 17123 en sus apartados 5 y 8.

2. LOCALIZACIÓN Y ZONA DE TRABAJO

La toma de los datos, tanto los obtenidos con la Estación Total TCRA-1203 como con el GPS Leica System 1200, será realizada en el Campus Las Lagunillas de la Universidad de Jaén (Jaén), junto a los aparcamientos del rectorado.

A continuación, se puede observar las imágenes de la zona respecto a España (ver imagen 2.1), respecto a Jaén (ver imagen 2.2) y respecto a la universidad (ver imagen 2.3 y 2.4).

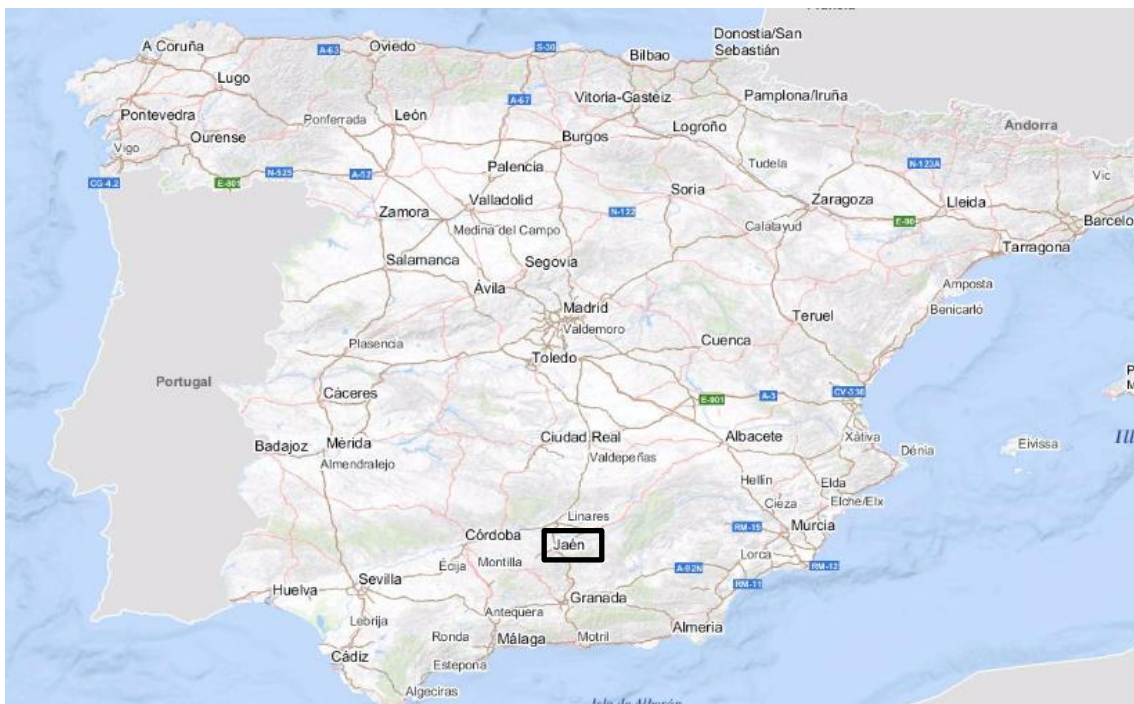


Imagen 2.1. Situación y emplazamiento. Fuente: IGN.

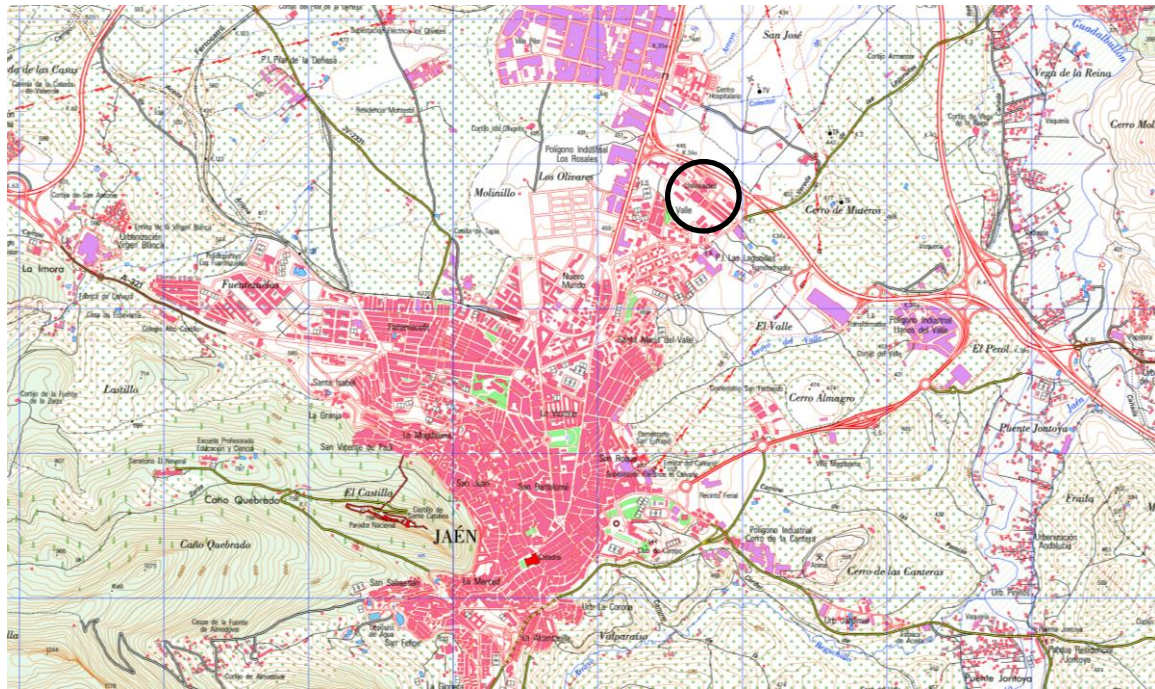


Imagen 2.2. Situación y emplazamiento. Fuente: IGN.



Imagen 2.3. Situación y emplazamiento. Fuente: Google Maps.

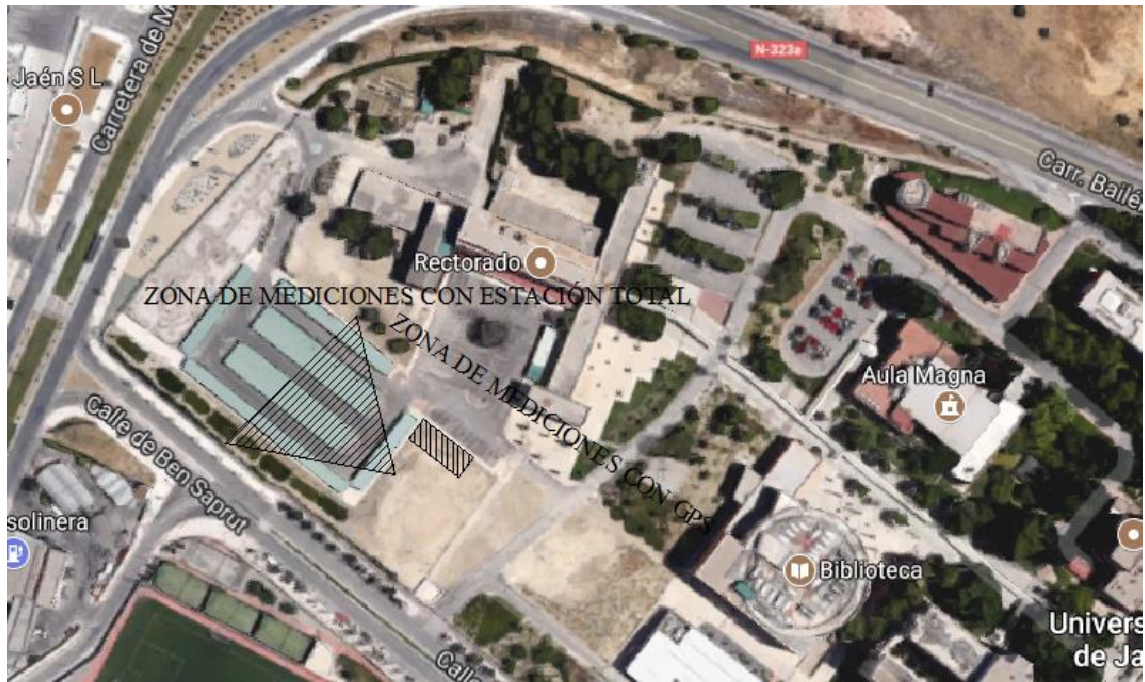


Imagen 2.4. Zonas de medición (ampliación de la zona marcada en la imagen 2.3). Fuente: Google Maps.

3. INSTRUMENTACIÓN Y MATERIAL UTILIZADO

La instrumentación y material utilizado en las mediciones para la calibración según norma ISO 17123-5 será una Estación Total TCRA 1203 (ver imágenes 3.1 y 3.2), un trípode de madera modelo A-20 (ver imagen 3.2), tres trípodes de pinzas (ver imagen 3.3), tres prismas (ver imagen 3.4), tres jalones (ver imagen 3.5), una cinta métrica (ver imagen 3.6), un flexómetro (ver imagen 3.6), tres estacas (ver imagen 3.7) y una maceta (ver imagen 3.8).



Imagen 3.1. Estación Total TCRA 1203. Fuente: Google imágenes.



Imagen 3.2. Estación Total TCRA 1203 y trípode. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.3. Trípode de pinzas. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.4. Prisma. Fuente: Google imágenes.



Imagen 3.5. Jalón. Fuente: Google imágenes.



Imagen 3.6. Flexómetro y cinta métrica. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 3.7. Estaca de madera. Fuente: Google imágenes.



Imagen 3.8. Maceta. Fuente: Elaboración propia.

La instrumentación y material utilizado en las mediciones para la calibración según norma ISO 17123-8 será un GPS Leica System 1200 (ver imagen 3.9), el cual estará compuesto por antena, receptor y jalón (ver imagen 3.10), dos estacas (ver imagen 3.7) y una maceta (ver imagen 3.8). Además se utilizará la Estación Total TCRA 1203 y un trípode de madera modelo A-20 (ver imagen 3.2), para determinar la distancia entre los puntos.



Imagen 3.9. GPS 1200. Fuente: Google imágenes.



Imagen 3.10. GPS Leica System 1200 (Antena, receptor y jalón). Fuente: Elaboración propia.

4. METODOLOGÍA

Se basará en la aplicación de la norma ISO 17123 en sus apartados 5 y 8 para la calibración de la Estación Total TCRA-1203 y en RTK del Leica System 1200. La interpretación de los resultados, tanto en el caso de la Estación Total como en el GPS, se llevará a cabo a partir de un test estadístico utilizando la desviación estándar experimental, S , de las coordenadas medidas en el triángulo, a las cuales, se les aplicará el test χ^2 al 95% de confianza para compararlos con los datos suministrados por el fabricante.

5. ISO 17123-5

5.1. Introducción

Esta parte de la norma especifica los procedimientos que se adoptarán para determinar y evaluar la precisión de las estaciones totales y los equipos auxiliares utilizados. Principalmente, estas pruebas pretenden ser verificaciones de campo de la idoneidad de un instrumento “en particular” para la tarea inmediata y satisfacer los

requisitos de otras normas. Por tanto, puede considerarse como uno de los primeros pasos en el proceso de evaluación de la incertidumbre de las mediciones.

Para la realización de la prueba se puede utilizar dos procedimientos, uno simplificado y otro completo. En este caso, se centrará en el proceso completo, el cual, se basa en medidas de coordenadas de un ensayo de campo sin valores nominales. La desviación estándar experimental de la medida de las coordenadas de un punto se determina a partir de un ajuste mínimo cuadrático.

5.2. Configuración del test de campo

Se formará un triángulo cuyas longitudes de los lados estén comprendidos entre 55 metros y 58 metros (ver imagen 5.1). En uno de los vértices se estacionará y en los restantes se pondrá dos trípodes de pinzas con los prismas de puntería forzando el centrado para eliminar la incertidumbre de centrado.



Imagen 5.1. Representación del triángulo. Fuente: Google Maps.

5.3. Mediciones

Antes de comenzar las mediciones, el instrumento se ajustará según lo especificado por el fabricante. Todas las medidas se tomarán el mismo día.

Se realizará tres series de medidas ($m = 3$, para $i = 1 \dots m$). Para ello, se estacionará en todos los puntos del triángulo ejecutándose las punterías a los vértices

restantes. El instrumento debe estar siempre nivelado cuidadosamente. El aire, la temperatura y la presión deben medirse, ya que pueden influir en los resultados. Las coordenadas (x_j, y_j, z_j) para cada configuración del instrumento se fijarán a cero $(0,0,0)$.

Las medidas se tomarán tanto en círculo directo como en círculo inverso:

$$x_{i,j,k,I}, y_{i,j,k,I}, z_{i,j,k,I}, x_{i,j,k,II}, y_{i,j,k,II}, z_{i,j,k,II}; i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3.$$

Para medir la diferencia entre las coordenadas Z de los puntos se hará mediante punterías a los prismas. Por tanto, es necesario que los prismas estén a la misma altura y sean del mismo tipo.

Para cálculos sencillos y sin errores, es necesario seguir la secuencia de medición dada en la tabla 5.1.

PUNTO	i	j	k
$S_1 \rightarrow S_2$	1	1	2
$S_1 \rightarrow S_3$	1	1	3
$S_2 \rightarrow S_1$	1	2	1
$S_2 \rightarrow S_3$	1	2	3
$S_3 \rightarrow S_1$	1	3	1
$S_3 \rightarrow S_2$	1	3	2

PUNTO	i	j	k
$S_1 \rightarrow S_2$	2	1	2
$S_1 \rightarrow S_3$	2	1	3
$S_2 \rightarrow S_1$	2	2	1
$S_2 \rightarrow S_3$	2	2	3
$S_3 \rightarrow S_1$	2	3	1
$S_3 \rightarrow S_2$	2	3	2

PUNTO	i	j	k
$S_1 \rightarrow S_2$	3	1	2
$S_1 \rightarrow S_3$	3	1	3
$S_2 \rightarrow S_1$	3	2	1
$S_2 \rightarrow S_3$	3	2	3
$S_3 \rightarrow S_1$	3	3	1
$S_3 \rightarrow S_2$	3	3	2

Tabla 5.1. Secuencia de medición. Serie 1 (izquierda), serie 2 (centro) y serie 3 (derecha). Fuente: ISO 17123-5.

Los valores medios de las lecturas en ambas posiciones (círculo directo y círculo inverso) se señalan como las cuasi-observaciones:

$$\begin{cases} x_{i,j,k} = \frac{1}{2}(x_{i,j,k,I} + x_{i,j,k,II}), \\ y_{i,j,k} = \frac{1}{2}(y_{i,j,k,I} + y_{i,j,k,II}), \\ z_{i,j,k} = \frac{1}{2}(z_{i,j,k,I} + z_{i,j,k,II}), \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3. \quad (5.3.1)$$

5.4. Cálculos

5.4.1. Precisión de las coordenadas X e Y

Dado que el punto S_1 obtendrá las coordenadas (0,0), deberá realizarse una traslación para cada conjunto:

$$\begin{cases} x'_{i,j,k} = x_{i,j,k} - x_{i,j,k,1}, \\ y'_{i,j,k} = y_{i,j,k} - y_{i,j,k,1}, \end{cases} \quad i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3. \quad (5.4.1)$$

Para el primer conjunto de medidas, ($i = 1, j = 1$), no es necesaria ninguna rotación. Por lo tanto, las coordenadas transformadas para la rotación de los dos vértices restantes, S_2 y S_3 , del triángulo son obtenidos directamente de la traslación de coordenadas del conjunto $j = 1$ de la serie $i = 1$:

$$\begin{cases} x''_{1,1,k} = x'_{1,1,k}, \\ y''_{1,1,k} = y'_{1,1,k}, \end{cases} \quad k = 2, 3. \quad (5.4.2)$$

Para cada uno de los conjuntos, $j = 1, 2, 3$ de las series $i = 1, 2, 3$, es necesario la realización de una rotación $\varphi_{i,j}$ con el centro en S_1 .

La forma más factible de rotación son las coordenadas polares. Para cada punto, $k = 2, 3$, las coordenadas rectangulares se transforman en coordenadas polares mediante el uso de las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} t'_{i,j,k} &= \text{atan} \frac{y'_{i,j,k}}{x'_{i,j,k}}, \\ s_{i,j,k} &= \sqrt{x'^2_{i,j,k} + y'^2_{i,j,k}}. \end{aligned} \quad (5.4.3)$$

La orientación de cada conjunto j de la serie i se puede expresar por el valor medio:

$$t'_{i,j,k} = \frac{1}{2} (t'_{i,j,2} + t'_{i,j,3}) \quad (5.4.4)$$

Por lo tanto, la rotación del ángulo es

$$\varphi_{i,j} = t'_{1,1} - t'_{i,j}, \quad i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3,$$

y la nueva orientación es

$$t_{i,j,k} = t'_{i,j,k} + \varphi_{i,j}, i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3. \quad (5.4.5)$$

La coordenadas transformadas se calculan por

$$\begin{cases} x''_{i,j,k} = S_{i,j,k} \cdot \cos t_{i,j,k}, \\ y''_{i,j,k} = S_{i,j,k} \cdot \sin t_{i,j,k}, \end{cases} i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3. \quad (5.4.6)$$

Las coordenadas ajustadas de S_2 y S_3 se obtienen por

$$\begin{cases} x''_k = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 x''^2_{i,j,k}, \\ y''_k = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 y''^2_{i,j,k}, \end{cases} k = 2, 3. \quad (5.4.7)$$

Con los 36 residuos del ajuste:

$$r_{x,i,j,k} = \overline{x''}_k - x''_{i,j,k}, i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3,$$

$$r_{y,i,j,k} = \overline{y''}_k - y''_{i,j,k}, i = 1, 2, 3, j = 1, 2, 3, k = 1, 2, 3.$$

La suma de los residuos al cuadrado es:

$$\sum r_{XY}^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 (r_{x,i,j,k}^2 + r_{y,i,j,k}^2). \quad (5.4.8)$$

Dado que hay 8 parámetros de rotación y 4 coordenadas promedio de los vértices (S_2 y S_3) de los triángulos, el número de parámetros desconocidos en el ajuste es $u = 8 + 4 = 12$. Por lo que, el número de grados de la libertad es

$$V_{XY} = 36 - 12 = 24.$$

La desviación estándar de una coordenada X o Y observada tanto en círculo directo como en círculo inverso es

$$S_{XY} = \sqrt{\frac{\sum r_{XY}^2}{24}}, \quad (5.4.9)$$

y, finalmente

$$S_{\text{ISO-XY}} = S_{XY}.$$

5.4.2. Precisión de la coordenada Z

Puesto que la coordenada Z de S_1 se pone a cero, las incógnitas del ajuste son las coordenadas, Z_2 y Z_3 , de los puntos, S_2 y S_3 , y la diferencia de altura, δ , la altura del instrumento y la altura del punto. Un ajuste de mínimos cuadrados da un sistema de ecuaciones normales con la solución explícita de acuerdo con las ecuaciones

$$\begin{aligned} Z_2 &= \frac{1}{18} \begin{pmatrix} 2z_{1,1,2} + z_{1,1,3} - 2z_{1,2,1} - z_{1,2,3} - z_{1,3,1} + z_{1,3,2} \\ +2z_{2,1,2} + z_{2,1,3} - 2z_{2,2,1} - z_{2,2,3} - z_{2,3,1} + z_{2,3,2} \\ +2z_{3,1,2} + z_{3,1,3} - 2z_{3,2,1} - z_{3,2,3} - z_{3,3,1} + z_{3,3,2} \end{pmatrix}, \\ Z_3 &= \frac{1}{18} \begin{pmatrix} z_{1,1,2} + 2z_{1,1,3} - z_{1,2,1} + z_{1,2,3} - 2z_{1,3,1} - z_{1,3,2} \\ +z_{2,1,2} + 2z_{2,1,3} - z_{2,2,1} + z_{2,2,3} - 2z_{2,3,1} - z_{2,3,2} \\ +z_{3,1,2} + 2z_{3,1,3} - z_{3,2,1} + z_{3,2,3} - 2z_{3,3,1} - z_{3,3,2} \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (5.4.10)$$

y la diferencia, δ :

$$\delta = \frac{1}{18} \begin{pmatrix} -z_{1,1,2} - z_{1,1,3} - z_{1,2,1} - z_{1,2,3} - z_{1,3,1} - z_{1,3,2} \\ -z_{2,1,2} - z_{2,1,3} - z_{2,2,1} - z_{2,2,3} - 2z_{2,3,1} - z_{2,3,2} \\ -z_{3,1,2} - z_{3,1,3} - z_{3,2,1} - z_{3,2,3} - 2z_{3,3,1} - z_{3,3,2} \end{pmatrix}$$

Con estos tres parámetros, se calculan los 18 residuos, $r_{i,j,k}$ del ajuste:

$$\begin{aligned} r_{1,1,2} &= z_2 - \delta - z_{1,1,2}, & r_{2,1,2} &= z_2 - \delta - z_{2,1,2}, & r_{3,1,2} &= z_2 - \delta - z_{3,1,2}, \\ r_{1,1,3} &= z_3 - \delta - z_{1,1,3}, & r_{2,1,3} &= z_3 - \delta - z_{2,1,3}, & r_{3,1,3} &= z_3 - \delta - z_{3,1,3}, \\ r_{1,2,1} &= -z_2 - \delta - z_{1,2,1}, & r_{2,2,1} &= -z_2 - \delta - z_{2,2,1}, & r_{3,2,1} &= -z_2 - \delta - z_{3,2,1}, \\ r_{1,2,3} &= -z_2 + z_3 - \delta - z_{1,2,3}, & r_{2,2,3} &= -z_2 + z_3 - \delta - z_{2,2,3}, & r_{3,2,3} &= -z_2 + z_3 - \delta - z_{3,2,3}, \\ r_{1,3,1} &= -z_3 - \delta - z_{1,3,1}, & r_{2,3,1} &= -z_3 - \delta - z_{2,3,1}, & r_{3,3,1} &= -z_3 - \delta - z_{3,3,1}, \\ r_{1,3,2} &= z_2 - z_3 - \delta - z_{1,3,2}, & r_{2,3,2} &= z_2 - z_3 - \delta - z_{2,3,2}, & r_{3,3,2} &= z_2 - z_3 - \delta - z_{3,3,2}. \end{aligned} \quad (5.4.11)$$

La suma de los residuos al cuadrado se obtienen por

$$\sum r_z^2 = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^3 r_{i,j,k}^2. \quad (5.4.12)$$

Con el número de grados de libertad

$$v_z = 18 - 3 = 15.$$

Finalmente, la desviación estándar de la coordenada z medida en círculo directo y círculo inverso es

$$S_{\text{ISO-Z}} = \sqrt{\frac{\sum r_z^2}{15}}. \quad (5.4.13)$$

5.5. Test estadístico

5.5.1. General

Para la interpretación de los resultados, el test estadístico se llevará a cabo utilizando la desviación estándar experimental de una coordenada medida en el triángulo, con el fin de responder a las siguientes preguntas (ver tabla 5.2):

- ¿Es la desviación estándar experimental calculada, S , menor o igual que un valor correspondiente, σ , indicado por el fabricante o menor que otro valor predeterminado, σ ?
- ¿Pueden dos desviaciones experimentales estándares S y $\tilde{S}$, ser determinadas mediante dos muestreos diferentes de medidas pertenecientes a la misma población, asumiendo que ambas muestras tienen el mismo número de grados de libertad ν ?

Las desviaciones experimentales estándares S y $\tilde{S}$, pueden ser obtenidas mediante:

- Dos muestras de la medición por el mismo instrumento pero diferentes observadores;
- Dos muestras de la medición por el mismo instrumento en diferentes momentos;
- Dos muestras de la medición por diferentes instrumentos.

Se supone para el siguiente test, un nivel de confianza de $1 - \alpha = 0,95$ y, según el diseño de las medidas, un número de grados de libertad de $\nu_{XY} = 24$ para las coordenadas “x” e “y” y para la coordenada “z”, el número de grados de libertad es $\nu_z = 15$.

Pregunta	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
a)	$S \leq \sigma$	$S > \sigma$
b)	$S = \tilde{\sigma}$	$S \neq \tilde{\sigma}$

Tabla 5.2. Hipótesis. Fuente: ISO 17123-5.

5.5.2. Respuesta a la pregunta a)

La hipótesis nula que indica que la desviación estándar experimental, S , es menor o igual a un valor teórico o un valor predeterminado, σ , no se rechaza si se cumple las siguientes condiciones:

$$\text{Para } x \text{ e } y \left\{ \begin{array}{l} S \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v_{XY})}{v_{XY}}}, \\ S \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(24)}{24}}, \\ \chi^2_{0,95}(24) = 36,42, \\ S \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{36,42}{24}}, \\ S \leq \sigma \cdot 1,23. \end{array} \right. \quad (5.4.13)$$

$$\text{Para } z \left\{ \begin{array}{l} S \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v_z)}{v_z}}, \\ S \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{\chi^2_{0,95}(15)}{15}}, \\ \chi^2_{0,95}(15) = 25,00, \\ S \leq \sigma \cdot \sqrt{\frac{25,00}{15}}, \\ S \leq \sigma \cdot 1,29. \end{array} \right. \quad (5.4.14)$$

En otro caso, se rechaza la hipótesis.

5.5.3. Respuesta a la pregunta b)

En el caso de dos muestras diferentes, el test indica si las desviaciones estándar experimentales, S y $\tilde{S}$ pertenecen a la misma población. La correspondiente hipótesis, σ y $\tilde{\sigma}$, no es rechazada si se cumple las siguientes condiciones:

$$\text{Para } x \text{ e } y \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v_{XY}, v_{XY})} \leq \frac{S^2}{\tilde{S}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v_{XY}, v_{XY}), \\ \frac{1}{F_{0,975}(24,24)} \leq \frac{S^2}{\tilde{S}^2} \leq F_{0,975}(24,24), \\ F_{0,975}(24,24) = 2,27, \\ 0,44 \leq \frac{S^2}{\tilde{S}^2} \leq 2,27. \end{array} \right. \quad (5.4.15)$$

$$\text{Para } z \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v_z, v_z)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v_z, v_z), \\ \frac{1}{F_{0,975}(15,15)} \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq F_{0,975}(15,15), \\ F_{0,975}(15,15) = 2,86, \\ 0,35 \leq \frac{s^2}{\bar{s}^2} \leq 2,86. \end{array} \right. \quad (5.4.16)$$

En otro caso, se rechaza la hipótesis.

El número de grados de libertad y, por lo tanto, los valores del test correspondientes $\chi^2_{1-\alpha}(v)$, $F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v, v)$ y $t_{1-\frac{\alpha}{2}}(v)$ (tomado como referencia los manuales estadísticos), cambia si se analiza con un número diferente de medidas.

6. ISO 17123-8

6.1. Introducción

Esta parte de la norma especifica los procedimientos de campo que deben adoptarse para determinar y evaluar la precisión (repetibilidad) del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) en las mediciones de campo (estos incluye GPS, GLONASS y futuros sistemas como GALILEO) en tiempo real cinemática (GNSS RTK) y sus equipos auxiliares cuando se utilizan en la construcción, levantamientos y en mediciones industriales. Principalmente, estas pruebas pretenden ser verificaciones de la idoneidad de un instrumento para la aplicación requerida, y para satisfacer los requisitos de otros estándares. No se proponen como pruebas para la aceptación o evaluación del funcionamiento.

Esta parte de ISO 17123 puede considerarse como uno de los primeros pasos en el proceso de evaluación de la incertidumbre de las medidas. La incertidumbre del resultado de una medición depende de una serie de factores. Estos incluyen, entre otros, la repetibilidad, la reproducibilidad (entre la repetibilidad diaria) y una evaluación completa de todas las posibles fuentes, según lo prescrito en la Guía ISO para la expresión de la incertidumbre en la medición (GUM).

Los procedimientos de campo se han desarrollado específicamente para aplicaciones *in situ* sin la necesidad de equipos auxiliares especiales y están diseñados a propósito para minimizar las influencias atmosféricas.

6.2. RTK

El método de posicionamiento cinemático en tiempo real es un procedimiento de medición relativa que utiliza receptores de referencia (*base*) y móvil (*rover*). Para aplicaciones RTK de red no se requiere un receptor de referencia. Ambos receptores realizan las observaciones simultáneamente y combinan sus resultados mediante transmisión inalámbrica. Por lo tanto, el móvil mostrará las coordenadas de la antena instantáneamente.

6.3. Requisitos

Antes de comenzar la observación, es importante comprobar que el receptor GNSS y la antena tenga una precisión suficiente para la tarea requerida.

Para la operación y tiempo de observación se seguirán los consejos del manual del fabricante.

En lo que respecta a los requisitos de posicionamiento tales como el número mínimo de satélites, el valor máximo PDOP, el tiempo mínimo de observación y ocasionalmente otras condiciones previas necesarias, el operador seguirá el manual del fabricante.

La observación se realizará después de la solución de la ambigüedad. Además, se tendrá especial cuidado al colocar el jalón del móvil y en la medición de su altura, teniendo un error de 1mm tanto en el centrado máximo como en la medición de la altura.

6.4. Características de las pruebas

La observación de campo constará de un punto fijo y dos puntos de medición. La separación entre los puntos de medición será de 10 a 20 metros (ver imagen 6.1).

La distancia entre los puntos medidos será determinada, al igual que la diferencia de altura, por otro método y/o equipo diferente con una precisión $\geq 3\text{mm}$. Estos valores son nominales y se usan como primer paso en los dos procedimientos de la prueba, y con ellos, se asegura la inexistencia de sistematismos.

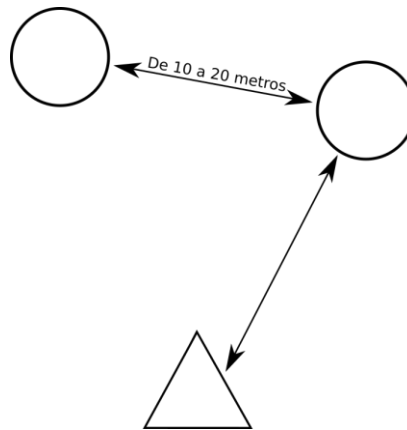


Imagen 6.1. Configuración de la red de campo. Fuente: Elaboración propia.

Una serie de medidas consiste en cinco juegos de medidas (medidas a los dos puntos móviles). Cada serie de medidas estarán separadas 5 minutos en el tiempo. Por tanto, cada serie durará 25 minutos, lo cual supera el posible efecto multisenda típico que duraría 20 minutos.

El número de series será en función del tipo de procedimiento. En el procedimiento simplificado, sólo se hará una serie y servirá para asegurar la falta de sistematismos del equipo. Sin embargo, el procedimiento completo constará de tres series de medidas, separadas cada una por 90 minutos. Éste se usará para el cálculo de la precisión del equipo bajo unas condiciones dadas, incluyendo el término de influencia largo, o la comparación de precisión de un equipo bajo condiciones similares. En este caso, se centrará en el proceso completo.

6.5. Cálculos

Los cálculos se realizan en dos etapas. En el primer paso, las medidas se compararán directamente con los valores disponibles para detectar cualquier medida con error grosero. En el segundo paso, se calcularán los valores estadísticos de interés.

6.5.1. Cálculo de los valores estadísticos

En primer lugar, aplicando el ajuste de mínimos cuadrados en las mediciones globales de todas las series, las estimaciones de x , y y h para cada punto móvil k ($= 1,2$) se calculan como:

$$\begin{aligned}\bar{x}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 x_{i,j,k}, \\ \bar{y}_k &= \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 y_{i,j,k}, \quad k = 1,2.\end{aligned}\tag{6.5.1}$$

$$\bar{h}_k = \frac{1}{15} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 h_{i,j,k},$$

Posteriormente, los residuos de x , y y h para todas las mediciones de las 3 series se calculan como:

$$r_{x\ i,j,k} = \bar{x}_k - x_{i,j,k},$$

$$r_{y\ i,j,k} = y_k - y_{i,j,k}, \quad k = 1, 2, \quad j = 1, \dots, 5, \quad i = 1, 2, 3. \quad (6.5.2)$$

$$r_{h\ i,j,k} = \bar{h}_k - h_{i,j,k},$$

Los residuos anteriores al cuadrados y resumidos se expresan como

$$\begin{aligned} \sum r_x^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{x\ i,j,k}^2 \\ \sum r_y^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{y\ i,j,k}^2 \\ \sum r_h^2 &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 \sum_{k=1}^2 r_{h\ i,j,k}^2 \end{aligned} \quad (6.5.3)$$

Los grados de libertad para x , y y h son idénticos si no se detectan valores atípicos. Se calculan como

$$v_x = v_y = v_h = (m \cdot n - 1) \cdot p = (3 \cdot 5 - 1) \cdot 2 = 28, \quad (6.5.4)$$

donde $m = 3$ (número de serie), $n = 5$ (número de juego en la serie) y $p = 2$ (número de punto de móvil).

Finalmente las desviaciones estándares de una medición de x , y y h se calculan como:

$$\begin{aligned} S_x &= \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{v_x}} = \sqrt{\frac{\sum r_x^2}{28}}, \\ S_y &= \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{v_y}} = \sqrt{\frac{\sum r_y^2}{28}}, \\ S_h &= \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{h}} = \sqrt{\frac{\sum r_h^2}{28}}, \end{aligned} \quad (6.5.5)$$

y están relacionados con las desviaciones estándares ISO como

$$S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} = \sqrt{S_x^2 + S_y^2},$$

$$S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}} = S_h, \quad (6.5.6)$$

donde $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ y $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ son la desviación experimental estándar de una posición (x, y) y de una altura h , respectivamente.

6.6. Test estadístico

6.6.1. Cálculo de los valores estadísticos

En el caso del proceso completo, la interpretación de los resultados se realizará mediante pruebas estadísticas, utilizando las desviaciones estándares globales $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ y $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$, obtenidas a partir de las mediciones y de sus grados de libertad y así, poder responder a las siguientes preguntas (ver tabla 6.1):

- ¿Es la desviación estándar experimental, $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ de una posición (x, y) menor o igual que un valor correspondiente σ_{xy} , indicado por el fabricante u otro valor predeterminado, σ_{xy} ?
- ¿Es la desviación estándar experimental, $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ de una altura (h) menor o igual que un valor correspondiente σ_h , indicado por el fabricante u otro valor predeterminado, σ_h ?
- ¿Son iguales dos desviaciones estándares experimentales, $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ y $\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, de una posición (x, y) determinada a partir de dos muestras diferentes de la misma población, suponiendo que ambas muestras tienen el mismo número de grado de libertad, $v_x + v_y$ y $\tilde{v}_x + \tilde{v}_y$ correspondientes a $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ y $\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ respectivamente?
- ¿Son iguales dos desviaciones estándar experimentales, $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ y $\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$, de una altura (h) determinada a partir de dos muestras diferentes de la misma población, suponiendo que ambas muestras tienen el mismo número de grado de libertad, v_h y $\tilde{v}_h$ correspondientes a $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ y $\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ respectivamente?

Las desviaciones estándar experimentales, $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ y $\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$, se pueden obtener de:

1. Dos muestras de medidas del mismo equipo.
2. Dos muestras de medidas de diferente equipo.

Para las siguientes pruebas se asume un nivel de confianza de $1 - \alpha = 0,95$ y grados de libertad de $v_x + v_y = 56$ o $v_h = 28$ según el diseño de las medidas.

Pregunta	Hipótesis nula	Hipótesis alternativa
a)	$S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} \leq \sigma_{xy}$	$S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} > \sigma_{xy}$
b)	$S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}} \leq \sigma_h$	$S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}} > \sigma_h$
c)	$\sigma_{xy} = \tilde{\sigma}_{xy}$	$\sigma_{xy} \neq \tilde{\sigma}_{xy}$
d)	$\sigma_h = \tilde{\sigma}_h$	$\sigma_h \neq \tilde{\sigma}_h$

Tabla 6.1. Test estadístico. Fuente: ISO 17123-8.

6.6.2. Respuesta a la pregunta a)

La hipótesis nula que indica que la desviación estándar experimental $S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}}$ de una posición (x,y) es menor o igual a un valor teórico predeterminado, σ_{xy} , no es rechazado si se cumple la condición siguiente:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(v_x+v_y)}{v_x+v_y}}, \\ S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(56)}{56}}, \\ \chi_{0,95}^2(56) = 74,47 \\ S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} \leq \sigma_{xy} \cdot \sqrt{\frac{74,47}{56}} \\ S_{\text{ISO-GNSS RTK-xy}} \leq \sigma_{xy} \cdot 1,15. \end{array} \right. \quad (6.6.1)$$

En otro caso, se rechaza la hipótesis.

6.6.3. Respuesta a la pregunta b)

La hipótesis nula que indica que la desviación estándar experimental $S_{\text{ISO-GNSS RTK-h}}$ de una posición (h) es menor o igual a un valor teórico o predeterminado, σ_h , no es rechazado si se cumple la condición siguiente:

$$\left\{ \begin{array}{l} S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h} \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(v_h)}{v_h}}, \\ S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h} \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{\chi_{0,95}^2(28)}{28}}, \\ \chi_{0,95}^2(28) = 41,34, \\ S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h} \leq \sigma_h \cdot \sqrt{\frac{41,34}{28}}, \\ S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h} \leq \sigma_h \cdot 1,22. \end{array} \right. \quad (6.6.2)$$

En otro caso, se rechaza la hipótesis.

6.6.4. Respuesta a la pregunta c)

En el caso de dos muestras diferentes, el test indica si las desviaciones estándar experimentales, $S_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}$ y $\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}$, de una posición (x,y) pertenecen a la misma población. La correspondiente hipótesis, $\sigma_{xy} = \tilde{\sigma}_{xy}$, no es rechazada si se cumple la siguiente condición:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(\tilde{v}_x + \tilde{v}_y, v_x + v_y)} \leq \frac{S_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}^2}{\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(\tilde{v}_x + \tilde{v}_y, v_x + v_y), \\ \frac{1}{F_{0,975}(56,56)} \leq \frac{S_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}^2}{\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}^2} \leq F_{0,975}(56,56), \\ F_{0,975}(56,56) = 1,70, \\ 0,59 \leq \frac{S_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}^2}{\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-xy}^2} \leq 1,70. \end{array} \right. \quad (6.6.3)$$

En otro caso, se rechaza la hipótesis.

6.6.5. Respuesta a la pregunta d)

La hipótesis en la que dos desviaciones estándar experimentales $S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}$ y $\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}$, de una altura (h) que pertenecen a una misma población no se rechaza si se cumple la siguiente condición:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{F_{1-\frac{\alpha}{2}}(\tilde{v}_h, v_h)} \leq \frac{S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}^2}{\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}^2} \leq F_{1-\frac{\alpha}{2}}(v_h, \tilde{v}_h), \\ \frac{1}{F_{0,975}(28,28)} \leq \frac{S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}^2}{\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}^2} \leq F_{0,975}(28,28), \\ F_{0,975}(28,28) = 2,13, \\ 0,47 \leq \frac{S_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}^2}{\tilde{S}_{\text{ISO-GNSS RTK}-h}^2} \leq 2,13. \end{array} \right. \quad (6.6.4)$$

En otro caso, se rechaza la hipótesis.

ANEXO I: DATOS DE CAMPO

7. ISO 17123-5**7.1 Datos de campo**

Serie	Est.	Punto	m [m]	CD			CI		
				H [g]	V [g]	Dg [m]	H [g]	V [g]	Dg [m]
1	1	2	1,3	190,3916	99,6196	58,020	390,3909	300,3791	58,020
		3	1,3	122,6230	99,5417	54,987	322,6200	300,4594	54,987
2	1	2	1,3	80,2023	99,5771	58,021	280,2019	300,4229	58,021
		3	1,3	12,4249	99,4946	54,987	212,4259	300,5044	54,987
3	1	2	1,3	83,4342	99,5746	58,020	283,4308	300,4241	58,020
		3	1,3	15,6522	99,4949	54,987	215,6546	300,5058	54,987
1	2	1	1,3	18,4305	100,3286	58,025	218,4281	299,6695	58,024
		3	1,3	81,6423	99,7382	57,410	281,6431	300,2639	57,412
2	2	1	1,3	22,1070	100,3296	58,025	222,1090	299,6707	58,025
		3	1,3	85,3147	99,7366	57,412	285,3140	300,2641	57,412
3	2	1	1,3	152,5606	100,2917	58,024	352,5625	299,7084	58,024
		3	1,3	215,7699	99,7037	57,411	15,7687	300,2968	57,411
1	3	1	1,3	336,8861	100,3051	54,986	136,8868	299,6960	54,986
		2	1,3	267,8636	99,7509	57,411	67,8650	300,2474	57,411
2	3	1	1,3	351,8344	100,2966	54,984	151,8340	299,7028	54,985
		2	1,3	282,8097	99,7477	57,411	82,8120	300,2519	57,411
3	3	1	1,3	367,3043	100,2871	54,984	167,3024	299,7142	54,984
		2	1,3	298,2813	99,7407	57,410	98,2788	300,2598	57,410

Tabla 7.1. Datos tomados con la Estación Total TCRA-1203.

8. ISO 17123-8

8.1 Datos de campo

Serie	Set	Point						
<i>i</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>x</i> [m]	<i>y</i> [m]	<i>h</i> [m]	<i>r_x</i> [mm]	<i>r_y</i> [mm]	<i>r_h</i> [mm]
1	1	1	431310,450	4182703,279	492,885	5,0	4,2	10,0
1	1	2	431299,531	4182716,363	492,886	5,0	4,2	10,1
1	2	1	431310,450	4182703,279	492,888	5,3	4,4	11,0
1	2	2	431299,525	4182716,363	492,886	5,8	4,8	12,9
1	3	1	431310,451	4182703,286	492,880	4,4	3,6	10,2
1	3	2	431299,526	4182716,367	492,886	5,5	4,5	13,6
1	4	1	431310,452	4182703,285	492,880	4,9	3,9	13,2
1	4	2	431299,529	4182716,367	492,888	4,0	3,2	11,2
1	5	1	431310,450	4182703,284	492,886	4,2	3,4	12,3
1	5	2	431299,527	4182716,368	492,874	4,7	3,8	14
2	1	1	431310,448	4182703,277	492,887	5,9	3,8	9
2	1	2	431299,527	4182716,368	492,878	5,2	3,3	7,9
2	2	1	431310,449	4182703,286	492,886	1,8	5,7	2,7
2	2	2	431299,532	4182716,362	492,884	5,9	3,8	8,9
2	3	1	431310,452	4182703,280	492,881	6,1	3,9	9,2
2	3	2	431299,525	4182716,368	492,880	6,7	4,3	10,2
2	4	1	431310,450	4182703,279	492,889	6,4	4,1	9,7
2	4	2	431299,527	4182716,363	492,883	5,6	3,6	8,7
2	5	1	431310,449	4182703,287	492,888	6,8	4,3	10,7
2	5	2	431299,531	4182716,371	492,873	6	3,8	9,5
3	1	1	431310,448	4182703,281	492,885	5,7	4,5	12,9
3	1	2	431299,527	4182716,364	492,878	5	4	11,2
3	2	1	431310,452	4182703,280	492,889	4,2	3,4	9,3
3	2	2	431299,527	4182716,365	492,880	5	3,9	10,7
3	3	1	431310,441	4182703,287	492,887	4,7	3,7	10,1
3	3	2	431299,523	4182716,365	492,880	5,5	4,4	11,7
3	4	1	431310,443	4182703,287	492,886	4,9	3,9	10,2
3	4	2	431299,525	4182716,370	492,874	4,6	3,8	9,6
3	5	1	431310,446	4182703,284	492,884	0,3	2,1	0,8
3	5	2	431299,533	4182716,368	492,874	5,6	4,6	11,4

Tabla 8.1. Datos tomados con Leica GPS1200.

ANEXO II: CÁLCULOS Y TEST ESTADÍSTICO

9. ISO 17123-5

9.1 Cálculos

Ser.	Est.	Pto	H [g]	V [g]	Dg [m]	Azimet [g]	Dr [m]	X [m]	Y [m]	Z [m]
1	1	2	190,3913	99,6203	58,020	80,0000	58,019	55,179	17,929	0,478
		3	122,6215	99,5412	54,987	12,2303	54,986	10,499	53,974	0,528
2	1	2	80,2021	99,5771	58,021	80,0000	58,020	55,180	17,929	0,474
		3	12,4254	99,4951	54,987	12,2233	54,985	10,493	53,975	0,525
3	1	2	83,4325	99,5753	58,020	80,0000	58,019	55,179	17,929	0,477
		3	15,6534	99,4946	54,987	12,2209	54,985	10,491	53,975	0,527
1	2	1	18,4293	100,3296	58,025	280,0000	58,024	-55,184	-17,930	-0,490
		3	81,6427	99,7372	57,411	343,2134	57,411	-44,684	36,045	0,047
2	2	1	22,1080	100,3295	58,025	280,0000	58,024	-55,184	-17,930	-0,491
		3	85,3144	99,7363	57,412	343,2064	57,412	-44,689	36,041	0,047
3	2	1	152,5616	100,2917	58,024	280,0000	58,023	-55,184	-17,930	-0,490
		3	215,7693	99,7035	57,411	343,2078	57,410	-44,687	36,041	0,043
1	3	1	336,8865	100,3046	54,986	212,2356	54,985	-10,503	-53,973	-0,545
		2	267,8643	99,7518	57,411	143,2134	57,411	44,684	-36,046	-0,058
2	3	1	351,8342	100,2969	54,985	212,2368	54,984	-10,504	-53,971	-0,541
		2	282,8109	99,7479	57,411	143,2134	57,411	44,684	-36,046	-0,058
3	3	1	367,3034	100,2865	54,984	212,2367	54,983	-10,504	-53,971	-0,537
		2	298,2801	99,7405	57,410	143,2134	57,410	44,684	-36,045	-0,056

Tabla 9.1. Coordenadas X , Y y Z .

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>ijk</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x'</i>	<i>y'</i>	<i>t'</i>	<i>t</i>	<i>s</i>	<i>x''</i>	<i>y''</i>	<i>r_x</i>	<i>r_y</i>
	m	m	m	m	rad	rad	m	m	m	m	m
111	0,000	0,000	0,000	0,000				0,000	0,000		
2	55,179	17,929	55,179	17,929	0,3141593			55,179	17,929	0,0040	0,0003
3	10,499	53,974	10,499	53,974	1,378684			10,499	53,974	-0,0011	-0,0008
				$t'_{1,1} = 0,846422$							
121	-55,184	-17,930	0,000	0,000				0,000	0,000		
2	0,000	0,000	55,184	17,930	0,3141593	0,314165	58,023723	55,184	17,931	-0,0004	-0,0014
3	-44,684	36,045	10,500	53,976	1,3786731	1,378679	54,987518	10,499	53,976	-0,0017	-0,0027
				$t'_{1,2} = 0,846416$	$\varphi_{1,2} = 5,45\text{E} - 06$						
131	-10,503	-53,973	0,000	0,000				0,000	0,000		
2	44,684	-36,046	55,187	17,927	0,314093	0,314168	58,026190	55,186	17,932	-0,0027	-0,0024
3	0,000	0,000	10,503	53,973	1,378601	1,378676	54,985371	10,499	53,974	-0,0015	-0,0005
				$t'_{1,3} = 0,846347$	$\varphi_{1,3} = 0,00007$						

Tabla 9.2. Cálculos y residuos *x* e *y*. Serie 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>ijk</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>x'</i>	<i>y'</i>	<i>t'</i>	<i>t</i>	<i>s</i>	<i>x''</i>	<i>y''</i>	<i>r_x</i>	<i>r_y</i>
	m	m	m	M	rad	rad	m	m	m	m	m
211	0,000	0,000	0,000	0,000				0,000	0,000		
2	55,180	17,929	55,180	17,929	0,3141593	0,314105	58,019720	55,181	17,926	0,002	0,003
3	10,493	53,975	10,493	53,975	1,3787932	1,378739	54,985271	10,496	53,974	0,002	-0,001
				$t'_{3,1} = 0,846476$	$\varphi_{3,1} = -0,000055$						
221	-55,184	-17,930	0,000	0,000							
2	0	0	55,184	17,930	0,3141593	0,314134	58,024223	55,185	17,929	-0,001	0,000
3	-44,689	36,041	10,495	53,972	1,3787353	1,378710	54,982607	10,497	53,971	0,001	0,002
				$t'_{3,2} = 0,846447$	$\varphi_{3,2} = -0,000026$						
331	-10,504	-53,971	0,000	0,000							
2	44,684	-36,045	55,187	17,926	0,3140706	0,314166	58,025556	55,185	17,931	-0,002	-0,002
3	0,000	0,000	10,504	53,971	1,3785827	1,378678	54,983443	10,498	53,972	-0,001	0,001
				$t'_{3,3} = 0,8463$	$\varphi_{3,3} = 0,000095$						

Tabla 9.3. Cálculos y residuos *x* e *y*. Serie 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ijk	x	y	x'	y'	t'	t	s	x''	y''	r_x	r_y
	m	m	m	m	rad	Rad	m	m	m	m	m
311	0,000	0,000	0,000	0,000				0,000	0,000		
2	55,179	17,929	55,179	17,929	0,314159	0,314086	58,018709	55,180	17,925	0,003	0,004
3	10,491	53,975	10,491	53,975	1,378831	1,378757	54,985267	10,495	53,974	0,003	-0,001
				$t'_{3,1} = 0,846495$	$\varphi_{3,1} = -0,000073$						
321	-55,184	-17,930	0,000	0,000							
2	0,000	0,000	55,184	17,930	0,314159	0,314141	58,023391	55,184	17,929	-0,001	0,000
3	-44,687	36,041	10,496	53,972	1,378720	1,378702	54,982791	10,497	53,971	0,000	0,002
				$t'_{3,1} = 0,846439$	$\varphi_{3,2} = -0,000018$						
331	-10,504	-53,971	0,000	0,000							
2	44,684	-36,045	55,187	17,926	0,314071	0,314166	58,025556	55,185	17,931	-0,002	-0,002
3	0,000	0,000	10,504	53,971	1,378583	1,378678	54,983443	10,498	53,972	-0,001	0,001
				$t'_{3,3} = 0,8463$	$\varphi_{3,3} = 0,000095$						

Tabla 9.4. Cálculos y residuos x e y . Serie 3.

$\bar{x}''$	$\bar{y}''$	$\sum r_x^2$	$\sum r_y^2$	$\sum r_{xy}^2$	V_{xy}	S_{iso-xy}
55,183 m	17,929 m	0,0709 mm	0,1 mm	0,138 mm	24	2,4 mm
10,497 m	53,973 m					

Tabla 9.5. Desviación estándar S_{iso-xy} .

i	j	k	$Z[m]$	$r_{i,j,k}$
1	1	2	0,478	-0,0016
		3	0,528	-0,0007
	2	1	-0,490	0,0005
		3	0,047	-0,0026
	3	1	-0,545	0,0040
		2	-0,058	0,0003
2	1	2	0,474	0,0021
		3	0,525	0,0026
	2	1	-0,491	0,0014
		3	0,047	-0,0024
	3	1	-0,541	0,0004
		2	-0,058	-0,0002
3	1	2	0,477	-0,0006
		3	0,527	0,0011
	2	1	-0,490	0,0000
		3	0,043	0,0011
	3	1	-0,537	-0,0036
		2	-0,056	-0,0019

Tabla 9.6. Residuos coordenada z.

Z_2	Z_3	δ	$\sum r_z^2$	V_z	S_{iso-z}
0,483 m	0,534 m	0,007 m	0,064 mm	15	2,1 mm

Tabla 9.7. Desviación estándar Siso-z.

9. 2 Test estadístico

9.2.1 Test estadístico de acuerdo con la pregunta a)

Test para x e y :

$$\sigma = 4,9 \text{ mm}$$

$$S_{ISO-xy} = 2,4 \text{ mm}$$

$$v_{XY} = 24$$

$$2,4 \text{ mm} \leq 4,9 \cdot 1,23$$

$$2,4 \text{ mm} \leq 6,03 \text{ mm}$$

Dado que se cumple la condición anterior, la hipótesis nula que indica que la desviación estándar experimental $S_{\text{ISO-xy}} = 2,4 \text{ mm}$ es menor o igual al valor del fabricante $\sigma = 4,9 \text{ mm}$, no se rechaza al nivel de confianza del 95%.

Test para z:

$$\sigma = 3,1 \text{ mm},$$

$$S_{\text{ISO-z}} = 2,1 \text{ mm}$$

$$v_z = 15$$

$$2,1 \text{ mm} \leq 3,1 \cdot 1,29$$

$$2,1 \text{ mm} \leq 4,0 \text{ mm}.$$

Dado que se cumple la condición anterior, la hipótesis nula que indica que la desviación estándar experimental $S_{\text{ISO-z}} = 2,1 \text{ mm}$ es menor o igual al valor del fabricante $\sigma = 3,1 \text{ mm}$, no se rechaza al nivel de confianza del 95%.

10. ISO 17123-8**10.1 Cálculos**

Serie	Set	Point						
i	j	k	x [m]	y [m]	h [m]	r_x^2 [mm ²]	r_y^2 [mm ²]	r_h^2 [mm ²]
1	1	1	431310,450	4182703,279	492,885	25	17,64	100
1	1	2	431299,531	4182716,363	492,886	25	17,64	102,01
1	2	1	431310,450	4182703,279	492,888	28,09	19,36	121
1	2	2	431299,525	4182716,363	492,886	33,64	23,04	166,41
1	3	1	431310,451	4182703,286	492,880	19,36	12,96	104,04
1	3	2	431299,526	4182716,367	492,886	30,25	20,25	184,96
1	4	1	431310,452	4182703,285	492,880	24,01	15,21	174,24
1	4	2	431299,529	4182716,367	492,878	16	10,24	125,44
1	5	1	431310,450	4182703,284	492,886	17,64	11,56	151,29
1	5	2	431299,527	4182716,368	492,874	22,09	14,44	196
2	1	1	431310,448	4182703,277	492,887	34,81	14,44	81
2	1	2	431299,527	4182716,368	492,878	27,04	10,89	62,41
2	2	1	431310,449	4182703,286	492,886	3,24	32,49	7,29
2	2	2	431299,532	4182716,362	492,884	34,81	14,44	79,21
2	3	1	431310,452	4182703,280	492,881	37,21	15,21	84,64
2	3	2	431299,525	4182716,368	492,880	44,89	18,49	104,04
2	4	1	431310,450	4182703,279	492,889	40,96	16,81	94,09
2	4	2	431299,527	4182716,363	492,883	31,36	12,96	75,69
2	5	1	431310,449	4182703,287	492,888	46,24	18,49	114,49
2	5	2	431299,531	4182716,371	492,873	36	14,44	90,25
3	1	1	431310,448	4182703,281	492,885	32,49	20,25	166,41
3	1	2	431299,527	4182716,364	492,878	25	16	125,44
3	2	1	431310,452	4182703,280	492,889	17,64	11,56	86,49
3	2	2	431299,527	4182716,365	492,880	25	15,21	114,49
3	3	1	431310,441	4182703,287	492,887	22,09	13,69	102,01
3	3	2	431299,523	4182716,365	492,880	30,25	19,36	136,89
3	4	1	431310,443	4182703,287	492,886	24,01	15,21	104,04
3	4	2	431299,525	4182716,370	492,874	21,16	14,44	92,16
3	5	1	431310,446	4182703,284	492,884	0,09	4,41	0,64
3	5	2	431299,533	4182716,368	492,874	31,36	21,16	129,96
	Promedio	1	431310,449	4182703,283	492,885			
	de las series	2	431299,528	4182716,366	492,880			
$\sum$ de los residuos al cuadrado [mm ²]						806,730	482,290	3277,030

Tabla 10.1. Residuos de las coordenadas al cuadrado.

S_x	S_y	S_h	$S_{\text{ISO-GNSS RTK } XY}$	$S_{\text{ISO-GNSS RTK } h}$
5,37 mm	4,15 mm	10,82 mm	6,79 mm	10,82 mm

Tabla 10.2. Desviación estándar de las coordenadas.

10.2 Test estadístico

10.2.1 Test estadístico de acuerdo con la pregunta a)

$$S_{\text{ISO-GNSS RTK } -xy} = 6,79 \text{ mm}$$

$$\sigma_{xy} = 10,21 \text{ mm}$$

$$6,79 \leq 10,21 \cdot 1,15$$

$$6,79\text{mm} \leq 11,74\text{mm}.$$

Dado que la desviación estándar experimental calculada, $S_{\text{ISO-GNSS RTK } -xy}$, de una posición (x, y) es menor o igual a un valor correspondiente, σ_{xy} , indicado por el fabricante o por otro valor predeterminado de σ_{xy} , la hipótesis es aceptada.

10.2.2 Test estadístico de acuerdo con la pregunta b)

$$S_{\text{ISO-GNSS RTK } -h} = 10,82 \text{ mm}$$

$$\sigma_h = 20,14 \text{ mm}$$

$$10,82 \leq 20,21 \cdot 1,22$$

$$10,82\text{mm} \leq 24,66\text{mm}.$$

Dado que la desviación estándar experimental calculada, $S_{\text{ISO-GNSS RTK } -h}$, de una altura (h) es menor o igual a un valor correspondiente, σ_h , indicado por el fabricante o por otro valor predeterminado de σ_h , la hipótesis es aceptada.

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados se puede llegar a la conclusión de que los test de calibración son irrefutables, ya que las hipótesis planteadas anteriormente se cumplen ostensiblemente.

En el caso de la calibración de la E.T. Leica TCRA1203 se ha aplicado el test χ^2 con un nivel de confianza del 95%, donde se obtiene: $2,4 \text{ mm} \leq 6,03 \text{ mm}$ para x e y , y $2,1 \text{ mm} \leq 4,0 \text{ mm}$ para z , siendo $6,03 \text{ mm}$ y $4,0 \text{ mm}$ las desviaciones típicas proporcionadas por el fabricante multiplicadas por un factor de distribución.

Para la calibración del GPS Leica System se ha aplicado el test de χ^2 con un nivel de confianza del 95% donde se obtiene: $6,79 \text{ mm} \leq 11,74 \text{ mm}$ para x e y , y $10,82 \text{ mm} \leq 24,66 \text{ mm}$ para z , siendo $11,74 \text{ mm}$ y $24,66 \text{ mm}$ las desviaciones típicas proporcionadas por el fabricante multiplicadas por un factor de distribución.

Bibliografía

ISO 17123-5 Procedimiento de campo para pruebas geodésicas de instrumentos de medición-Parte 5: Taquímetros electrónicos. (2005).

ISO 17123-8 Procedimiento de campo para pruebas geodésicas de instrumentos de medición-Parte 8: Sistema de medición de campo GNSS en RTK. (2001).

Base de costes de la construcción de la Junta de Andalucía para la generación del presupuesto:

https://ws147.juntadeandalucia.es/obraspublicasyvivienda/davwebviv/Banco%20de%20precios/BCCA_2017/Clasi_Sistematica_2017.pdf

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO Y MEDICIÓN

CAPÍTULO 01 TRABAJO DE CAMPO

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
E02	Toma de datos para calibración de GPS Toma de datos en campo para calibración según la norma ISO17123-8 de GPS Leica System 1200	1,00	610,00	610,00
E01	Toma de datos para calibración de Estación Total Toma de datos en campo para calibración según la norma ISO17123-5 de Estación Total TCRA1203	1,00	605,00	605,00
TOTAL CAPÍTULO 01 TRABAJO DE CAMPO.....				1.215,00

CAPÍTULO 02 TRABAJO DE GABINETE

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
E04	Cálculos para calibración de GPS Cálculos en gabinete para calibración según la norma ISO17123-8 de GPS Leica System 1200			
		1,00	190,00	190,00
E05	Redacción del Informe Redacción del informe de la calibración según la norma ISO17123 de GPS Leica System 1200 y Estación Total TCRA1203			
		1,00	760,00	760,00
E03	Cálculos para calibración de Estación Total Cálculos en gabinete para calibración según la norma ISO17123-5 de Estación Total TCRA1203			
		1,00	380,00	380,00
TOTAL CAPÍTULO 02 TRABAJO DE GABINETE				1.330,00

CAPÍTULO 03 COSTES INDIRECTOS

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
E08	Gastos generales			
	Gastos generales del 10% del total del presupuesto total			
		1,00	261,60	261,60
E09	Alojamiento			
	Habitación Doble de Hotel o Pensión para pasar la noche			
		1,00	50,00	50,00
E07	Beneficio industrial			
	Beneficio Industrial del 7% del presupuesto total			
		1,00	183,12	183,12
E06	Visado colegial			
	Visado de certificación por el Ilustre colegio oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía de Tipo 1.- Informes, dictámenes y certificados, estudios previos e informes sin planos (informes de georreferen- ciación sin levantamiento topográfico)			
		1,00	21,00	21,00
TOTAL CAPÍTULO 03 COSTES INDIRECTOS				515,72
TOTAL.....				3.060,72

CUADRO DE DESCOMPUESTOS**CAPÍTULO 01 TRABAJO DE CAMPO**

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
E02		Toma de datos para calibración de GPS			
		Toma de datos en campo para calibración según la norma ISO17123-8 de GPS Leica System			
1200					
P16	1,000 u	Material Fungible (Estacas, clavos etc.)	5,00	5,00	
P14	2,000 u	Dietas	20,00	40,00	
P13	1,000 d	Vehículo para transporte	135,00	135,00	
P04	1,000 d	Ayudante en Topografía	150,00	150,00	
P05	1,000 d	Ingeniero en Geomática y Topografía	190,00	190,00	
P06	1,000 d	Alquiler de instrumentación GPS (Antena, Receptor, Jalón, etc)	90,00	90,00	
TOTAL PARTIDA					610,00
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS DIEZ EUROS					
E01		Toma de datos para calibración de Estación Total			
		Toma de datos en campo para calibración según la norma ISO17123-5 de Estación Total			
TCRA1203					
P16	1,000 u	Material Fungible (Estacas, clavos etc.)	5,00	5,00	
P14	2,000 u	Dietas	20,00	40,00	
P13	1,000 d	Vehículo para transporte	135,00	135,00	
P02	1,000 d	Ayudante en Topografía	150,00	150,00	
P01	1,000 d	Ingeniero en Geomática y Topografía	190,00	190,00	
P03	1,000 d	Alquiler de Instrumentación (Est. Total, Trípode, Prisma, etc)	85,00	85,00	
TOTAL PARTIDA					605,00
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SEISCIENTOS CINCO EUROS					

CAPÍTULO 02 TRABAJO DE GABINETE

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
E04		Cálculos para calibración de GPS			
		Cálculos en gabinete para calibración según la norma ISO17123-8			
		de GPS Leica System 1200			
P08	1,000 d	Ingeniero en Geomática y Topografía	190,00	190,00	
TOTAL PARTIDA					190,00
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO NOVENTA EUROS					
E05		Redacción del Informe			
		Redacción del informe de la calibración según la norma ISO17123			
		de GPS Leica System 1200 y Estación Total			
P09	4,000 d	Ingeniero en Geomática y Topografía	190,00	760,00	
TOTAL PARTIDA					760,00
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de SETECIENTOS SESENTA EUROS					
E03		Cálculos para calibración de Estación Total			
		Cálculos en gabinete para calibración según la norma ISO17123-5			
		de Estación Total TCRA1203			
P07	2,000 d	Ingeniero en Geomática y Topografía	190,00	380,00	
TOTAL PARTIDA					380,00
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de TRESCIENTOS OCHENTA EUROS					

CAPÍTULO 03 COSTES INDIRECTOS

CÓDIGO	CANTIDAD UD	RESUMEN	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
E08		Gastos generales			
		Gastos generales del 10% del total del presupuesto total			
P12	1,000 u	Gastos Generales	261,60	261,60	
TOTAL PARTIDA					261,60
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de DOSCIENTOS SESENTA Y UN EUROS con SESENTA CÉNTIMOS					
E09		Alojamiento			
		Habitación Doble de Hotel o Pensión para pasar la noche			
P15	1,000 u	Habitación Doble	50,00	50,00	
TOTAL PARTIDA					50,00
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CINCUENTA EUROS					
E07		Beneficio industrial			
		Beneficio Industrial del 7% del presupuesto total			
P11	1,000 u	Beneficio Industrial	183,12	183,12	
TOTAL PARTIDA					183,12
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de CIENTO OCHENTA Y TRES EUROS con DOCE CÉNTIMOS					
E06		Visado colegial			
		Visado de certificación por el Ilustre colegio oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía de Tipo 1.- Informes, dictámenes y certificados, estudios previos e informes sin planos (informes de georreferenciación sin levantamiento topográfico)			
P10	1,000 u		21,00	21,00	
TOTAL PARTIDA					21,00
Asciende el precio total de la partida a la mencionada cantidad de VEINTIUN EUROS					

CUADRO DE PRECIOS**CAPÍTULO 01 TRABAJO DE CAMPO**

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
E02		Toma de datos para calibración de GPS	
		Toma de datos en campo para calibración según la norma ISO17123-8 de GPS Leica System 1200	
		Mano de obra	340,00
		Maquinaria.....	225,00
		Resto de obra y materiales	45,00
		TOTAL PARTIDA	610,00
E01		Toma de datos para calibración de Estación Total	
		Toma de datos en campo para calibración según la norma ISO17123-5 de Estación Total TCRA1203	
		Mano de obra	340,00
		Maquinaria.....	220,00
		Resto de obra y materiales	45,00
		TOTAL PARTIDA	605,00

CAPÍTULO 02 TRABAJO DE GABINETE

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
E04		Cálculos para calibración de GPS	
		Cálculos en gabinete para calibración según la norma ISO17123-8 de GPS Leica System 1200	
		Mano de obra	190,00
		TOTAL PARTIDA	190,00
E05		Redacción del Informe	
		Redacción del informe de la calibración según la norma ISO17123 de GPS Leica System 1200 y	
		Estación Total TCRA1203	
		Mano de obra	760,00
		TOTAL PARTIDA	760,00
E03		Cálculos para calibración de Estación Total	
		Cálculos en gabinete para calibración según la norma ISO17123-5 de Estación Total TCRA1203	
		Mano de obra	380,00
		TOTAL PARTIDA	380,00

CAPÍTULO 03 COSTES INDIRECTOS

CÓDIGO	UD	RESUMEN	PRECIO
E08		Gastos generales	
		Gastos generales del 10% del total del presupuesto total	
		Resto de obra y materiales	261,60
		TOTAL PARTIDA	261,60
E09		Alojamiento	
		Habitación Doble de Hotel o Pensión para pasar la noche	
		Resto de obra y materiales	50,00
		TOTAL PARTIDA	50,00
E07		Beneficio industrial	
		Beneficio Industrial del 7% del presupuesto total	
		Resto de obra y materiales	183,12
		TOTAL PARTIDA	183,12
E06		Visado colegial	
		Visado de certificación por el Ilustre colegio oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía de Tipo 1.- Informes, dictámenes y certificados, estudios previos e informes sin planos (informes de geo-referenciación sin levantamiento topográfico)	
		Resto de obra y materiales	21,00
		TOTAL PARTIDA	21,00