

Investigación de mini prismas flexibles de la compañía Rothbucher Systeme

02/06/2020

Geodätisches Prüflabor am Lehrstuhl für Geodäsie
der Technischen Universität München
(Laboratorio de Pruebas Geodésicas del
Departamento de Geodesia de la Universidad
Técnica de Múnich)

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil Thomas Wunderlich

Dr.-Ing. Peter Wasmeier

Realización de la investigación:

Geodätisches Prüflabor am Lehrstuhl für Geodäsie
Technische Universität München (Laboratorio de
Pruebas Geodésicas del Departamento de
Geodesia de la Universidad Técnica de Múnich)
Arcisstraße 21
80333 Múnich

Promotor:

Rothbucher Systeme
Reichenhaller Str. 109A
83435 Bad Reichenhall

1 Encargo de investigación

La empresa Rothbucher Systeme de Bad Reichenhall fabrica accesorios de topografía, entre los que se encuentran diversos adaptadores de mini prismas giratorios y rotatorios. En comparación con los reflectores estándar convencionales, estos adaptadores de prisma se caracterizan por su método de fijación (atornillado, pegado o inserción en las placas base), su manejo flexible y por último, aunque no por ello menos importante, su precio significativamente más bajo. Por otra parte, pueden fabricarse con materiales menos estables y poseen un cierto grado de precisión de centrado gracias a una mayor libertad de alineación del prisma y al consiguiente juego necesario del dispositivo de encaje.

En una serie de pruebas del Geodätischen Prüflabors am Lehrstuhl für Geodäsie der Technischen Universität München (Laboratorio de Pruebas Geodésicas del Departamento de Geodesia de la Universidad Técnica de Múnich), se examinaron las características de precisión de varias piezas de diferentes tipos de prismas y adaptadores.

El enfoque se centró específicamente en un ensayo desde el punto de vista de la aplicación práctica y el manejo, en el que se examinaron no casos de uso extremos, sino escenarios de aplicación más habituales. Esto significa, por ejemplo, que al apuntar a los prismas, éstos se han alineado deliberadamente como se utilizan en la práctica y no en los márgenes o fuera de las especificaciones. En principio, todos los prismas pueden medirse en un rango de $\pm 35^\circ$, aunque pueden producirse desviaciones en las coordenadas determinadas en los márgenes. Por un lado, esto es un efecto de un cambio en la geometría de la trayectoria de la luz en el prisma¹, pero por otro lado es causado principalmente por la detección del centro del prisma con algoritmos automatizados de reconocimiento de objetivos, ya que hoy en día se usan casi exclusivamente en la práctica. La alineación habitual de los prismas giratorios con el dispositivo de medición en una de las posiciones de encaje especificadas corresponde a las desviaciones direccionales sin problemas. Por consiguiente, los resultados que aquí se presentan son valores característicos del uso habitual de los prismas examinados y no representan valores límite para todo el intervalo de parámetros de los prismas.

2 Tipos de prismas sometidos a estudio

Para la serie de pruebas, se tomaron tres piezas de diferentes tipos de prismas de la producción actual de la empresa Rothbucher Systeme y se pusieron a disposición del Laboratorio de Pruebas Geodésicas. En la tabla 1 se presenta un resumen de estos tipos de prismas.

Considerando que el fabricante señala que los prismas recubiertos de cobre (abreviatura C) deben utilizarse preferentemente para los instrumentos Leica y los prismas recubiertos de plata (abreviatura S) para los instrumentos Trimble, la mayoría de las investigaciones se han realizado con ambos tipos de instrumentos. Se utilizaron los instrumentos actuales de mayor calidad y precio, concretamente una Leica TS60 y una estación total Trimble S9.

¹ver también: Vermessungsreflektoren – White Paper, Merkmale und Einflüsse. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Suiza, última actualización 2017

Tabla 1: Resumen de los tipos de prismas probados

1		<p>RSMP380 – Recubrimiento de plata \varnothing 25,4 mm offset -16,9 mm (Leica +17,5 mm)</p>
2		<p>RSMP380 – Recubrimiento de cobre \varnothing 25,4 mm offset -16,9 mm (Leica +17,5 mm)</p>
3		<p>RSMP280 – Recubrimiento de plata \varnothing 17,5 mm offset -11,0 mm (Leica +23,4 mm)</p>
4		<p>RSMP390 – Recubrimiento de cobre \varnothing 25,4 mm offset -16,9 mm (Leica +17,5 mm)</p>
5		<p>RSMP390 – Recubrimiento de plata \varnothing 25,4 mm offset -16,9 mm (Leica +17,5 mm)</p>
6		<p>RSMP12 – Recubrimiento de cobre \varnothing 17,5 mm offset -5,4 mm (Leica +29,0 mm)</p>
7		<p>RSMP10 – Recubrimiento de plata \varnothing 12,7 mm offset -5,6 mm (Leica +28,8 mm)</p>

3 Constante de adición

La medición electrónica de la distancia (EDM) en prismas reflectantes está sujeta a un offset constante si el cero electrónico de una unidad de medición no coincide con su punto de referencia y/o el punto cero del reflector no coincide con el punto de medición. Este offset se denomina constante de adición y supone un valor de corrección para la correspondiente combinación de unidad de medida (por ejemplo, taquímetro) y reflector. En la práctica, se suele descuidar la influencia de la unidad de medida y la constante de adición se considera un parámetro específico del reflector; sin embargo, esto no es correcto desde un punto de vista estricto. En particular, en el caso de los reflectores de fabricación precisa, la proporción de la unidad de medida puede incluso predominar.

En el caso de los reflectores con disposición móvil (giratorios), pueden existir constantes de adición para ambas posiciones del reflector, siempre que el eje de pivote se encuentre delante o detrás del eje vertical del reflector con respecto al punto de referencia. Si las constantes de adición se determinan por medición con secciones desconocidas en todas las combinaciones (método de Schwendener², Figura 1) y el prisma se inclina con arreglo a ello, esta influencia se expresa en la magnitud de la desviación típica de la constante de adición determinada en cada caso.

También hay que tener en cuenta el nivel de precisión básica de la EDM aplicada, que también debe permitir la determinación del desplazamiento del eje giratorio con respecto a su resolución. En la determinación de la precisión de los reflectores, las influencias de la constante de adición, la desviación del eje de inclinación y otras tolerancias geométricas de fabricación suelen integrarse en la *precisión de centrado 3D*; no se observan valores directos para el intervalo de las constantes de adición. Si, para una mayor simplicidad, se supone que la proporción de la precisión de centrado de las especificaciones del fabricante es la misma en todos los componentes espaciales, los valores esperados de las constantes de adición con efecto longitudinal son aproximadamente 0,58 mm para una precisión de centrado de 1 mm, y 1,15 mm para una precisión de centrado de 2 mm, lo que proporciona una indicación de la magnitud esperada.

En este caso, para determinar la constante de adición se utilizó una estación total calibrada Leica TS60 con una precisión direccional de 0,15 mgon y una precisión absoluta de medición de distancia de

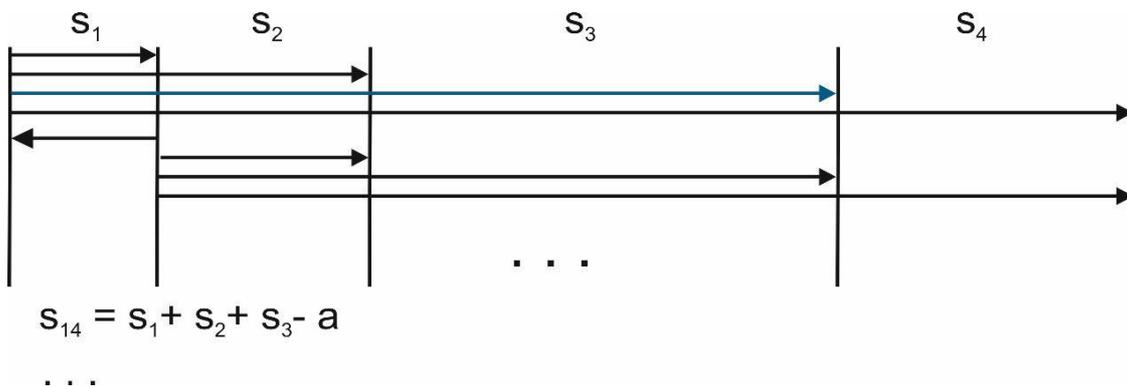


Figura 1: Principio de determinación de la constante de adición en todas las combinaciones. La constante de adición a forma parte de cada medición individual en el sistema de evaluación sobredeterminado; en el ejemplo la medición de 1 a 4, que consiste en las secciones S_1 bis S_3 y a .

² Schwendener, H.R.: Elektronischer Distanzmesser für kurze Strecken – Genauigkeitsfragen und Prüfverfahren. Schweizerische Zeitschrift für Vermessungswesen, Photogrammetrie und Kulturtechnik, S. 59ff, Winterthur, 1971

0,6 mm + 2 ppm en condiciones meteorológicas conocidas y consideradas. Para comprobar la constante de adición en una proporción del dispositivo, se realizó primero una medición de referencia en la pista de ensayo del laboratorio, de cuatro partes y con una longitud de 25 m, utilizando un reflector de precisión Leica GPH1P. En este caso, el fabricante especifica una precisión de centrado de 0,3 mm. La calibración se llevó a cabo midiendo cuatro veces la distancia desde cada perspectiva hasta cada punto de destino (medición en todas las combinaciones), dando como resultado una constante de adición de $+0,16 \text{ mm} \pm 0,08 \text{ mm}$ para el prisma de referencia. Esto es ligeramente significativo, aunque se encuentra dentro de las especificaciones de la EDM y el prisma. Describe la suma de las proporciones del dispositivo y del reflector. A partir de la red de medición horizontal posterior, se calculó una constante de adición específica del dispositivo de $+0,11 \text{ mm}$ (no significativa). Por tanto, no existe ningún indicio de que la unidad de EDM de la TS60 utilizada tenga por sí misma una proporción significativa de cualquier constante de adición calculada. Así pues, las proporciones de adición de las pruebas posteriores sólo pueden asignarse a los prismas examinados en cada caso. Para la Trimble S9 también se determinó una constante de adición específica para el dispositivo, con un valor de $-0,46 \text{ mm} \pm 0,08 \text{ mm}$, muy significativa. En consecuencia, se tuvo en cuenta en las pruebas con respecto a los prismas objeto de ensayo. Así pues, la constante de adición restante puede relacionarse exclusivamente con el prisma que se examina.

A continuación se examinaron las constantes de adición de los tipos de prismas 1 a 3; los tipos 4 y 5 son básicamente idénticos en su construcción y sólo se diferencian en la placa base giratoria adicional. En la tabla 2 se muestran los resultados.

Las constantes de adición determinadas difieren en la muestra aleatoria en grupos en función del diámetro del reflector y tienen una magnitud de hasta 0,5 mm. La precisión de los prismas examinados está dentro de los límites de los prismas estándar convencionales.

Hay que tener en cuenta que la determinación de la constante de adición sobre la base de Schwendener sólo considera dos muescas para cada prisma y los resultados pueden ser diferentes si se tienen en cuenta otras muescas. Para ello se puede realizar una comprobación exhaustiva de todas las orientaciones dentro de una cuadrícula de ajuste calculando las constantes de adición, como se suele hacer en las pruebas de los prismas giratorios antes de su lanzamiento al mercado. Entonces, la corrección de adición se incluye como valor medio para todas las alineaciones.

Tabla 2: Constantes de adición restantes de los tipos de prismas probados

Tipo de prisma	Nº	Constante de adición [mm]	Desviación típica [mm]
1 – RSMP380 - S	1	-0,38	0,06
	2	-0,39	0,07
	3	-0,34	0,07
2 – RSMP380 - C	4	-0,33	0,07
	5	-0,49	0,07
	6	-0,38	0,07
3 – RSMP280 - S	7	-0,02	0,05
	8	+0,04	0,05
	9	+0,16	0,05

4 Precisión de centrado de prismas giratorios

Además de la investigación propiamente dicha de las constantes de adición, también se puede investigar más de cerca la variación de la posición espacial representada al oscilar los prismas.

En este caso, en comparación con los prismas estándar, hay que señalar que la trascendencia de la precisión de centrado es ligeramente diferente en ambos casos:

- Un prisma convencional se suele fijar mediante una clavija para prismas o similar a lo largo de un eje definido (de pie) y a una distancia definida sobre un punto de referencia. Si se supone que el centrado del soporte del prisma (por ejemplo, un trípode, una tribraca, un soporte de prisma sobre un punto del suelo, o sencillamente un perno de rosca en un perno de pared) es correcto y sus dimensiones son correctas, la precisión de centrado 3D responde a la desviación del centro óptico del prisma en relación a la representación del punto de referencia teórico. Aquí, además de las desviaciones axiales del centro de rotación y la constante de adición, también encontramos errores geométricos en las dimensiones del prisma.
- Los prismas giratorios examinados aquí no suelen señalar un punto de referencia, ya que no existe la opción de montaje precisa en cuanto a dimensiones. En cambio, su centro prismático representa el punto de referencia. Por lo tanto, no se da el requisito para determinadas medidas de distancia, pero el centro del prisma permanece constante incluso cuando el prisma se mueve en función de los grados de libertad (inclinación / oscilación o rotación adicional con la correspondiente placa base).

Para evaluar la calidad de los prismas giratorios simples, basta, pues, con montarlos firmemente y después realizar mediciones desde diferentes perspectivas con diferentes orientaciones.

Al hacerlo, los prismas se alinean deliberadamente a la perspectiva correspondiente y se evita la orientación oblicua, ya que en la práctica éste es el procedimiento de medición habitual en la práctica.

La comparación de las orientaciones de los prismas individuales se realiza comparando las coordenadas de los puntos de destino medidos. Para ello, a modo de esquema de medición se crea una cuadrícula que consta de cuatro perspectivas, cada una con puntos de observación mutuos en prismas estándar, a partir de las cuales se miden y coordinan las orientaciones de cada uno de los objetos de prueba como puntos individuales (Figura 2). Las desviaciones de las coordenadas individuales determinan la estabilidad del centrado del punto y, por lo tanto, una medida de la estabilidad de los respectivos ejes de rotación, así como la influencia de las constantes de adición antes descritas.

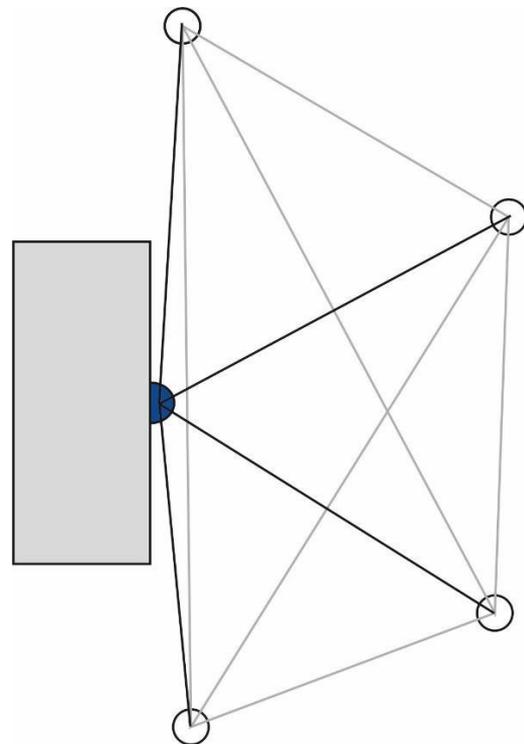


Figura 2: Distribución reticular para el estudio de la estabilidad del centro durante el desplazamiento lateral (vista superior)

En un primer ensayo, los nueve tipos de prismas giratorios 1 - 3 (RSMP280 y RSMP380) se volvieron a examinar. Los prismas se fijaron a una pared con un eje vertical giratorio, simulando así la aplicación más común.

Así, las perspectivas forman prácticamente un semicírculo para representar todas las posibles líneas visuales en el plano Hz. Las investigaciones se llevaron a cabo en estructuras separadas para la Leica TS60 y la Trimble S9.

En el ajuste, la cuadrícula base utilizada para la Leica TS60 desde las cuatro perspectivas tiene una desviación típica media de 0,15 mm en posición y 0,04 mm en altura. Por lo tanto, la configuración de la medición es adecuada para determinar las coordenadas de las diversas orientaciones de los prismas a examinar con una precisión suficientemente alta sin la influencia de las mediciones de perspectivas. Todas las mediciones se llevaron a cabo en cuatro conjuntos y dos posiciones bajo condiciones meteorológicas controladas y consideradas, de manera que incluso la precisión de la medición de distancia de la TS60, que es más deficiente que la precisión de la medición direccional del rango cercano, podría mejorarse hasta unos 0,3 mm debido a la sobredeterminación estadística. Por tanto, para cada prisma se dispone de cuatro conjuntos de coordenadas diferentes, además de un conjunto de coordenadas compensadas en común.

La cuadrícula base utilizada para la Trimble S9 tiene una desviación típica media de 0,08 mm en posición y 0,05 mm de altura.

Los resultados de la Leica TS60 se muestran en la Tabla 3, y los de la Trimble S9, en la Tabla 4.

La variabilidad del centro del prisma, o las coordenadas representadas por él, está en un rango de $\pm 0,5$ mm cuando se mide con una Leica TS60. Cuando se mide con una Trimble S9, la variabilidad del centro del prisma está en un rango de ± 1 mm.

Para el tipo de prisma RSMP280 / RSMP380, las inexactitudes causadas por el giro y la precisión de medición de las estaciones totales utilizadas se superponen parcialmente a una corrección de adición restante, de modo que esta última no tiene que considerarse necesariamente por separado cuando se requiere una precisión de ± 1 mm.

En el caso de ambos fabricantes, no se puede determinar una dependencia de calidad significativamente perceptible del revestimiento del prisma en el rango cercano examinado, sino únicamente en el diámetro del prisma.

Al no haber ninguna desviación durante el desplazamiento lateral en el experimento, la desviación en la altura es naturalmente menor.

Tabla 3: Exactitud de reproducción del centro de los prismas examinados al oscilar alrededor de un eje vertical con Leica TS60 (máxima desviación del promedio)

Tipo de prisma	Nº	Posición máx. [mm]	Altura máx. [mm]	Desv. típica Posición [mm]	Desv. típica Altura [mm]
1 – RSMP380 - S	1	0,47	0,07	0,41	0,04
	2	0,36	0,05	0,32	0,02
	3	0,54	0,10	0,46	0,07
2 – RSMP380 - C	4	0,20	0,05	0,16	0,03
	5	0,49	0,05	0,38	0,04
	6	0,33	0,05	0,28	0,04
3 – RSMP280 - S	7	0,39	0,07	0,29	0,05
	8	0,35	0,06	0,29	0,05
	9	0,42	0,07	0,30	0,05

Tabla 4: Exactitud de reproducción del centro de los prismas examinados al oscilar alrededor de un eje vertical con Trimble S9 (máxima desviación del promedio)

Tipo de prisma	Nº	Posición máx. [mm]	Altura máx. [mm]	Desv. típica Posición [mm]	Desv. típica Altura [mm]
1 – RSMP380 - S	1	1,01	0,11	0,84	0,08
	2	0,89	0,10	0,81	0,09
	3	0,99	0,05	0,81	0,05
2 – RSMP380 - C	4	0,87	0,06	0,73	0,05
	5	1,22	0,08	0,98	0,06
	6	1,00	0,09	0,81	0,07
3 – RSMP280 - S	7	0,87	0,09	0,70	0,06
	8	0,84	0,06	0,65	0,05
	9	0,87	0,07	0,70	0,05

5 Precisión de centrado de prismas giratorios en placas giratorias

En un estudio posterior, se añadió un mayor grado de libertad a los prismas giratorios examinando la combinación con placas giratorias horizontales (tipo RSMP390). Para ello, la placa giratoria se fijó a un pilar utilizando el adaptador magnético de sujeción ofrecido por el fabricante y se apuntó desde cuatro posiciones taquimétricas, dispuestas en un cuadrado circundante (Figura 3).

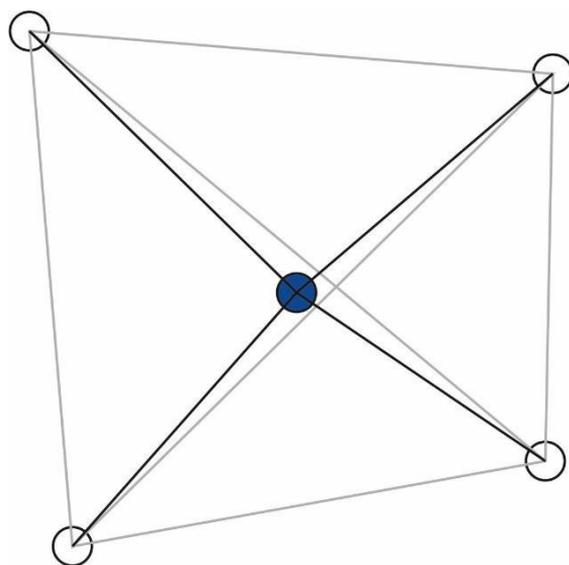


Figura 3: Distribución reticular desplazamiento lateral la inclinación (vista superior)

La orientación se llevó a cabo en ambas posiciones del prisma para cada perspectiva en 4 conjuntos y 2 posiciones del dispositivo. La cuadrícula base resultante para la Leica TS60 alcanzó una desviación típica media de 0,12 mm en posición y 0,03 mm en altura, mientras que para la Trimble S9 fue de 0,13 mm en posición y 0,10 mm en altura. Por lo tanto, también aquí la configuración de la medición es adecuada para determinar las coordenadas de las diversas orientaciones de los prismas a examinar con una precisión suficientemente alta sin la influencia de las mediciones de perspectivas. Los resultados se muestran en las tablas 5 y 6.

El orden de magnitud de las desviaciones ya determinadas para este tipo de prisma se confirma en la cuadrícula de ajuste, con una influencia adicional de hasta 1 mm debido a la medición en dos posiciones (o sea, cuando la placa base se gira en 180° y el prisma gira simultáneamente alrededor de su eje de inclinación). Esto puede interpretarse como una proporción de excentricidad del punto de referencia del prisma a partir del eje de rotación de los adaptadores de la placa.

La variabilidad del centro del prisma o las coordenadas representadas por él es del orden de ± 1 mm para todos los prismas en la Leica TS60, y ligeramente superior, hasta $\pm 1,5$ mm para la Trimble S9.

En el caso de ambos fabricantes, no se puede determinar una dependencia de calidad significativamente perceptible del revestimiento del prisma en el rango cercano examinado.

Tabla 5: Exactitud de reproducción del centro de los prismas examinados al utilizar una placa de giro horizontal con Leica TS60 (máxima desviación del promedio)

Tipo de prisma	Nº	Posición máx. [mm]	Altura máx. [mm]	Posición estándar [mm]	Altura estándar [mm]
4 – RSMP390 - C	11	0,99	0,12	0,52	0,07
	12	0,69	0,37	0,52	0,24
	13	0,72	0,10	0,48	0,06
5 – RSMP390 - S	14	0,72	0,28	0,51	0,23
	15	0,64	0,34	0,42	0,24
	16	0,62	0,27	0,42	0,24

Tabla 6: Exactitud de reproducción del centro de los prismas examinados al utilizar una placa de giro horizontal con Trimble S9 (máxima desviación del promedio)

Tipo de prisma	Nº	Posición máx. [mm]	Altura máx. [mm]	Posición estándar [mm]	Altura estándar [mm]
4 – RSMP390 - C	11	1,31	0,17	0,80	0,11
	12	1,03	0,30	0,65	0,23
	13	0,96	0,16	0,63	0,10
5 – RSMP390 - S	14	1,08	0,34	0,62	0,21
	15	0,85	0,35	0,57	0,26
	16	1,19	0,31	0,78	0,22

6 Precisión de los mini prismas insertables

Los tipos de prisma 6 y 7 (RSMP12 y RSMP10) están diseñados como prismas insertables para agujeros y perforaciones. Por consiguiente, hay offsets para los dos posibles puntos de apoyo, la punta y la parte posterior del receptáculo, según las especificaciones del fabricante. Para lograr un resultado de medición correcto, el fabricante señala que los prismas deben estar alineados con el instrumento de medición.

En un examen con un punto de referencia medido y la fijación manual de las puntas del prisma en este punto, se encontraron desviaciones de offset de un máximo de 0,7 mm para ambos tipos de prismas con un taquímetro Leica para las seis piezas examinadas, lo que

corresponde a un valor de repetitividad para el montaje permanente.

Para el estudio de la precisión del centro con diferentes orientaciones (correspondientes a un movimiento del prisma alrededor del punto de detención), los dos tipos de prismas se fijaron en un adaptador giratorio y oscilante, cuyas dimensiones se conocen y se tienen en cuenta. Sin embargo, es inevitable una inexactitud de hasta 0,5 mm. La referencia de la medición fue siempre la parte posterior del receptáculo, que teóricamente debería tener un offset de 10 mm del centro del prisma.

La orientación se realizó en la misma cuadrícula que en el estudio de los prismas de las placas giratorias y de nuevo en ambas posiciones de los prismas para cada perspectiva y en 4 conjuntos y 2 posiciones de dispositivos cada uno. Sólo la Leica TS60 fue usada en este estudio, no la Trimble S9. Los resultados se muestran en la Tabla 7.

La variabilidad del centro del prisma cuando se utiliza un prisma insertable RSMP10 o RSMP12 con alineación al taquímetro puede establecerse en ± 2 mm. En el caso de fijación repetitiva o permanente (alineación direccional mediante perforación) el valor mejora hasta ± 1 mm.

Tabla 7: Exactitud de reproducción del centro de los prismas examinados al utilizar una unidad giratoria y oscilante con Leica TS60 (máxima desviación del promedio)

Tipo de prisma	Nº	Posición máx. [mm]	Altura máx. [mm]	Posición estándar [mm]	Altura estándar [mm]
6 – RSMP12 - C	21	0,86	2,21	0,52	1,60
	22	0,98	2,13	0,73	1,32
	23	1,31	1,48	1,01	1,16
7 – RSMP10 - S	31	1,87	2,01	1,09	1,03
	32	1,69	1,24	1,37	1,35
	33	1,73	2,25	1,08	1,42

7 Distancias de medición factibles

Se analizó la identificabilidad (automática) de los tipos de prismas RSMP380 con recubrimiento de cobre y recubrimiento de plata y RSMP280 con revestimiento de plata a una distancia cada vez mayor del taquímetro. De nuevo se utilizaron la Trimble S9 y la Leica TS60. La prueba en condiciones atmosféricas normales y con el cielo nublado dio como resultado las

distancias de medición factibles que figuran en la Tabla 8.

El factor principal para el alcance operativo factible es el diámetro del prisma. El instrumento de Leica únicamente muestra que se puede orientar un prisma revestido de cobre a distancias ligeramente mayores a partir de 1.000 m utilizando ATR.

Además, hay que tener en cuenta que, según las condiciones meteorológicas, las distancias factibles pueden ser muy diferentes (especialmente en casos de radiación solar intensa o niebla, las distancias pueden ser mucho más cortas).

Tabla 8: Distancias de medición factibles en prismas de prueba en condiciones promedio

Tipo de prisma	Medición con Trimble S9	Medición con Leica TS60
1 – RSMP380 – S	hasta aprox. 550 m con AutoLock hasta aprox. 1200 m sin AutoLock	hasta aprox. 1100 m con ATR hasta aprox. 1300 m sin ATR
2 – RSMP380 – C	hasta aprox. 550 m con AutoLock hasta aprox. 1200 m sin AutoLock	hasta aprox. 1250 m con ATR hasta aprox. 1300 m sin ATR
3 – RSMP280 – S	hasta aprox. 500 m con AutoLock hasta aprox. 1200 m sin AutoLock	hasta aprox. 900 m con ATR hasta aprox. 1300 m sin ATR

Responsable de la realización de las mediciones y de la redacción de este informe:



Dr.-Ing. Peter Wasmeier
Director del Geodätischen Prüflabors am Lehrstuhl für
Geodäsie Technische Universität München (Laboratorio de
Pruebas Geodésicas del Departamento de Geodesia de la
Universidad Técnica de Múnich)