

AGGO – Colocalización

1. Introducción

AGGO es la sigla de “Argentina-Germany Geodetic Observatory”, es decir, del “Observatorio Geodésico Argentino-Alemán”. Se trata de un Observatorio Geodésico fundamental, lo que significa que reúne todas las técnicas de medición fundamentales de la Geodesia.

Cuenta con instrumental de última tecnología, como un radiotelescopio, un telescopio láser y receptores satelitales que permitirán obtener datos georreferenciados esenciales para la investigación científica nacional e internacional. Mayor detalle puede encontrarse en <http://www.aggo-conicet.gob.ar/> para tener una idea de las características del lugar y de los instrumentos que se aluden en esta nota.

Desde el GGSR veníamos colaborando en la georreferenciación y tareas conexas previas a la construcción de las instalaciones de AGGO.

Posteriormente el Dr. Claudio Brunini, director científico de AGGO, nos solicitó colaboración para realizar las tareas necesarias para efectuar lo que se denomina colocalización, las que pasamos a describir.

El marco de referencia terrestre internacional ITRF es el resultado del cálculo combinado de cuatro redes, las que son medidas mediante cuatro técnicas diferentes: VLBI, SLR, GNSS y DORIS.

Aquellos observatorios que cuentan con más de una de esas técnicas, como es el caso de AGGO, resultan fundamentales. Esto exige que los puntos principales de tales instrumentos estén debidamente vinculados entre sí. Gracias a la posibilidad de medir, mediante métodos terrestres, la posición relativa de los instrumentos correspondientes con mejor precisión que la que brindan las técnicas mencionadas, se introducen tales valores diferenciales como observaciones en el cálculo combinado del ITRF.

Esa determinación de posición relativa es lo que se conoce como colocalización. Se trata de mediciones de alta precisión en espacios reducidos, aplicando microgeodesia.

OBJETIVO: medir los vectores con precisión de 1 mm (o mejor)

Para el caso particular de AGGO se trabajó sobre dos redes, una planimétrica y otra altimétrica, ambas de carácter “local”. Oportunamente deben realizarse las mediciones necesarias para expresar las componentes tridimensionales en el marco de referencia SIRGAS y los desniveles en la red vertical argentina.

2. Planimetría

Nos referimos a la planimetría de la red que vincula los instrumentos.

Efectuamos dos campañas de medición.

AGGO – Colocalización

2.1. Primera medición

En octubre de 2016, en la cual se adoptó como referencia un cuadrilátero con diagonales, del cual se midieron todos los ángulos y dos lados, datos que fueron utilizados para realizar un cálculo de ajuste. En la Figura 1 el cuadrilátero está compuesto por los puntos A', B', E y F.

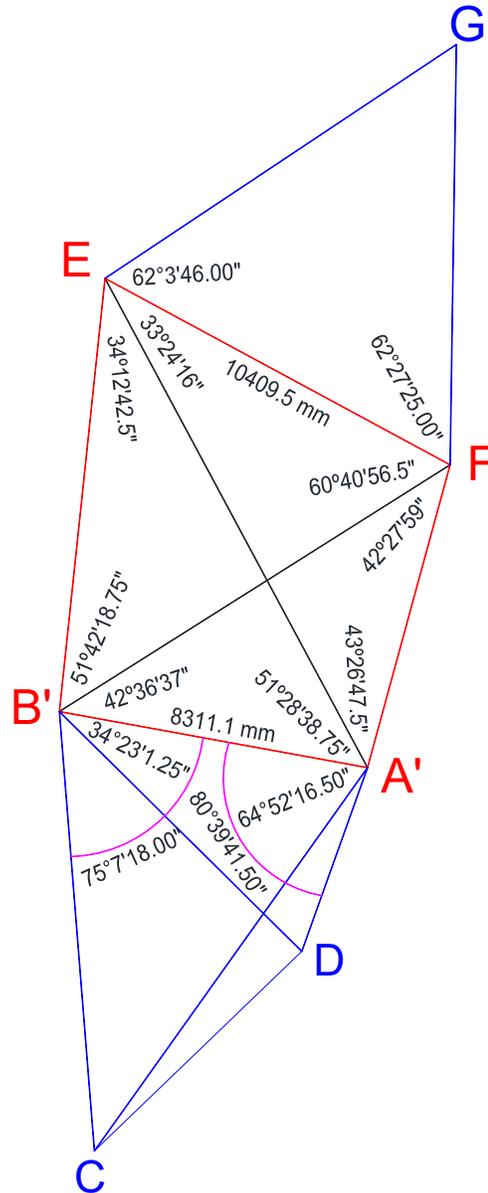


Figura 1: Croquis del cuadrilátero con diagonales donde constan valores observados

Se calculó el ajuste por mínimos cuadrados, método variación de coordenadas, considerando fijos los puntos A' y B', por lo cual se estableció un sistema de nueve ecuaciones, ocho angulares y una de lado, y cuatro incógnitas: las coordenadas planas de los puntos E y F.

AGGO – Colocalización

Ese cálculo arrojó los siguientes resultados preliminares:

Elipse Punto E	Elipse Punto F
$\sigma_{X'} = \pm 0.23 \text{ mm}$	$\sigma_{X'} = \pm 0.20 \text{ mm}$
$\sigma_{Y'} = \pm 0.14 \text{ mm}$	$\sigma_{Y'} = \pm 0.15 \text{ mm}$

A los efectos de control se efectuó el mismo cálculo, pero a partir de los puntos E y F, con diferencias en los resultados menores que 0.2 mm.

Desde los vértices del cuadrilátero se vincularon otros puntos utilizando intersección angular; esos puntos están materializados mediante bases de centración forzosa fijadas en elementos de la construcción de AGGO. Dos de ellos próximos al radiotelescopio, puntos C y D, y el otro al anteojo láser, punto G. Dado el método esos puntos carecen de control.

Por otra parte, se efectuaron mediciones que permitieron calcular la posición más probable del eje vertical del radiotelescopio, punto V, apelando también a intersección angular, estableciendo la relación entre ese eje y los puntos C y D.

A tal efecto, desde dos teodolitos, se fue observando la posición de una señal de puntería (Figura 2) adosada al brazo del radiotelescopio, el cual fue girando alrededor de 40° cada vez, de modo que se observaron nueve posiciones.

Posteriormente se calculó el centro de la circunferencia (punto V) que mejor se adapta a los nueve puntos observados. Ese cálculo indicó una precisión del orden de 0.3 mm.

La singularidad del método es que no requiere contar con medición de longitudes. Mediante ángulos se puede establecer la relación entre el punto V (obtenido del cálculo) y otros puntos, en este caso C y D. Como no se miden longitudes se trata de una relación geométrica prescindente de escala. Luego, escalando el triángulo CDV a partir del lado CD, que se obtiene de la medición de la red planimétrica, y “anexándolo” a la misma, se obtienen las coordenadas de V.

AGGO – Colocalización

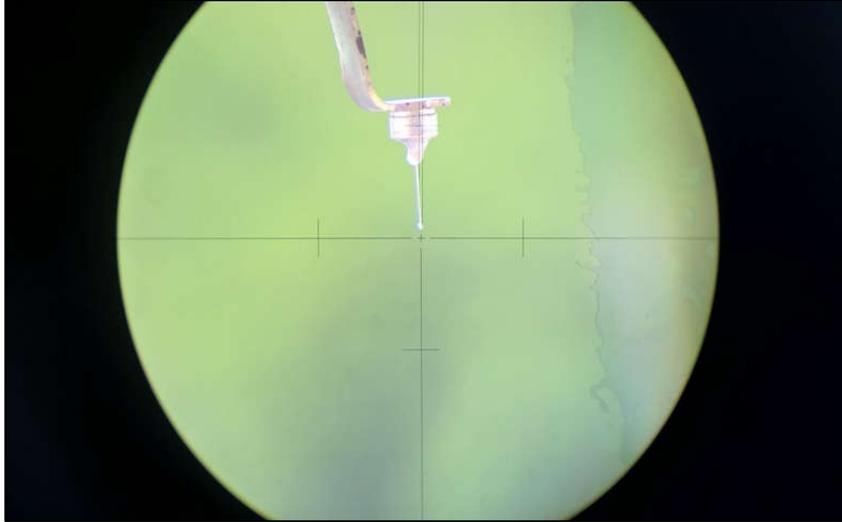


Figura 2: Foto de la señal de puntería (cabeza cilíndrica de alfiler) obtenida a través del anteojo del teodolito

Nota: Se carece de información respecto a la variabilidad de posición propia del eje mecánico a medida que se produce el giro.

Notación: los puntos señalados con letras se corresponden respectivamente con los indicados con números en el plano de planta general de AGGO del siguiente modo:

Punto	Identificación Plano
C	103
D	101
E	300
G	201
V	100
S	200

Método e instrumental:

Se utilizaron dos teodolitos, un Wild T2 de 1" y un Wild T1610 de 1.5", trípodes de madera, bases nivelantes de centración forzosa, señales de puntería y una mira base de invar de longitud entre marcas 2000.4 mm, calibrada al 0,015 mm en el laboratorio de metrología del INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial), en su laboratorio de la ciudad de Córdoba (ver mira en Figura 3).

AGGO – Colocalización

Salvo algunos trípodes y bases nivelantes, AGGO no cuenta con el instrumental mencionado, el que fue facilitado por quienes efectuamos la medición.



Figura 3: Foto de la mira invar montada sobre el trípode ubicado en primer plano

Para la medición de longitudes se apeló a la intersección angular sobre la mira calibrada.

Las condiciones atmosféricas fueron favorables, con cielo nublado y temperatura cercana a los 20 grados.

Resultados:

El cálculo preliminar, previo ajuste del cuadrilátero, permite estimar que la precisión de la componente horizontal del vector (centro de VLBI [punto 100, o V] – base de centración GNSS [punto 300, o E]), es del orden de 0.6 mm.

2.2. Segunda medición

Se efectuó en marzo de 2017.

El método fue similar al de la primera medición, pero con la variante de utilizar como vértices del cuadrilátero los puntos C, D, E y G (Figura 4).

La ventaja consiste en que los cuatro puntos están materializados por bases de centración forzosa; la desventaja es que la configuración es menos adecuada.

Se calculó el ajuste por mínimos cuadrados, método variación de coordenadas, considerando fijos los puntos C y D, con un sistema de nueve ecuaciones, ocho angulares y una de lado, y cuatro incógnitas: las coordenadas planas de los puntos E y G.

AGGO – Colocalización

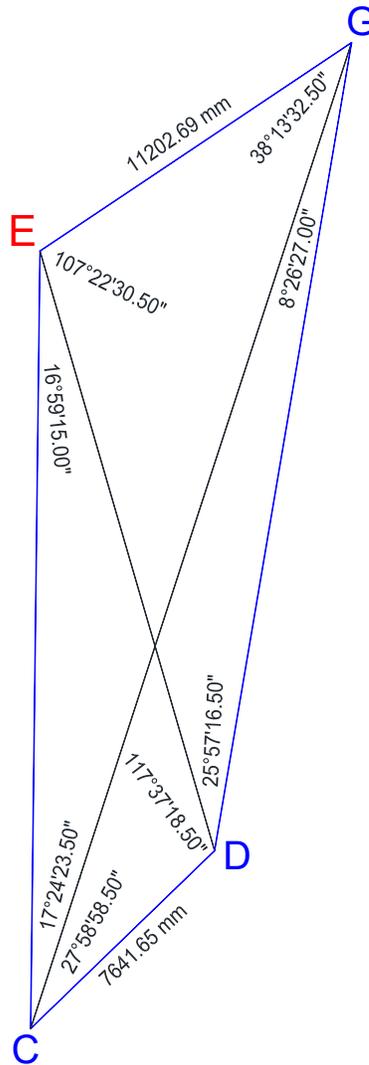


Figura 4: Croquis del cuadrilátero con diagonales donde constan valores observados

Resultados:

El cálculo arrojó los siguientes resultados preliminares, indicando una precisión algo inferior a la obtenida anteriormente.

Elipse Punto E	Elipse Punto F
$\sigma_{X'} = \pm 0.83 \text{ mm}$	$\sigma_{X'} = \pm 0.85 \text{ mm}$
$\sigma_{Y'} = \pm 0.40 \text{ mm}$	$\sigma_{Y'} = \pm 0.47 \text{ mm}$

AGGO – Colocalización

Se repitió el procedimiento y cálculo de la primera medición para determinar el punto V (o 100, eje vertical del radiotelescopio), el que se obtuvo con precisión estimada en 0.1 mm, obteniendo un nuevo triángulo CDV.

Se efectuó un procedimiento similar para determinar el eje vertical del anteojo Láser (punto S ó 200), y en este caso la precisión estimada es de 0.05 mm.

El triángulo que vincula S con el cuadrilátero de referencia es el EGS.

En esta medición se utilizó el mismo instrumental salvo el teodolito WildT2 que fue sustituido por una estación total Stonex R2-2, únicamente por razones de disponibilidad del equipo. Si bien la estación es de menor precisión angular también es de menor error en la lectura, por ser electrónica, por lo que, en principio, significaría que no se trata de una diferencia esencial.

En definitiva, el triángulo integrado por las componentes horizontales de los vectores que vinculan los tres instrumentos quedó con las siguientes medidas:

1ª Medición

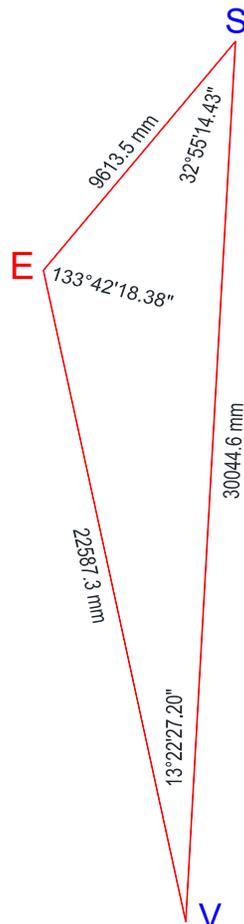


Figura 5: Croquis resultado de la primera medición agregando el punto S obtenido en la segunda medición.

AGGO – Colocalización

2ª Medición

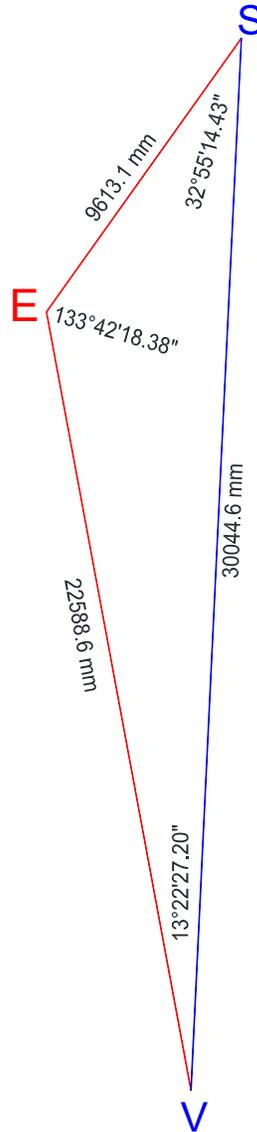


Figura 6: Croquis resultado de la segunda medición.

Comentario N°1:

En el equipamiento original de AGGO estaba previsto el uso de una Estación Total con precisión de 1 mm en medición de distancia; pensamos que aún si estuviera disponible no es la mejor solución, dado que mediante intersección angular se pueden obtener mejores precisiones cuando se trata de distancias que no exceden los 50 metros.

AGGO – Colocalización

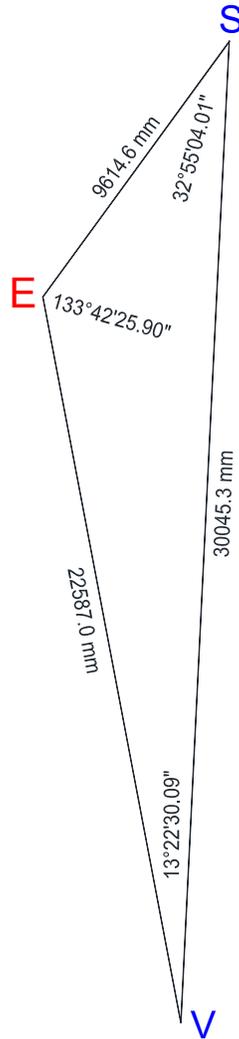


Figura 8: Medidas obtenidas con instrumental Láser-Tracker correspondientes al triángulo VES.

El instrumento que se utilizó brinda una precisión angular de $\pm 0.07''$ y longitudinal de $\pm(0.015 + 0.006/m)$ mm, según las especificaciones del fabricante.

El problema es que no contamos con otra información que esos resultados, es decir que nos encontramos frente al típico caso de “caja negra”.

Comentario N° 3:

Podemos considerar la medición con Láser Tracker como un control externo, de mejor calidad, con respecto al cual estimamos la exactitud de los resultados obtenidos. A tales efectos comparamos las componentes horizontales mediante la siguiente tabla (con datos de Figuras 5, 6 y 8)

AGGO – Colocalización

Tabla comparativa de resultados

Vector	Láser Tracker [mm]	1 ^a . Medición [mm]	Diferencia [mm]	2 ^a . Medición [mm]	Diferencia [mm]	Diferencia entre 1 ^a y 2 ^a [mm]
	(1)	(2)	(2) – (1)	(3)	(3) – (1)	(3) - (2)
GNSS - VLBI EV	22587.0	22587.3	+ 0.3	22588.6	+ 1.6	+ 1.3
GNSS - SLR ES	9614.6	9613.5	- 1.1	9613.1	- 1.5	+ 0.4
VLBI - SLR VS	30045.3	30044.6	- 0.7	30044.6	- 0.7	0

3. Nuevo cálculo

Posteriormente se efectuó el cálculo combinando las observaciones de ambas mediciones, obteniendo un sistema de 26 ecuaciones (22 angulares y 4 lineales) y 14 incógnitas, apelando a un ajuste por mínimos cuadrados, método variación de coordenadas, red libre, matriz pseudoinversa (Moore-Penrose) [Márquez, R. (2009)].

Como resultado se obtuvo la siguiente tabla, después de efectuar un traslado para que las coordenadas del punto E fueran X = 100 m e Y = 100 m y redondear a la centésima de mm

XE Ajust. [m]	YE Ajust. [m]	XD Ajust. [m]	YD Ajust. [m]	XC Ajust. [m]	YC Ajust. [m]	XG Ajust. [m]	YG Ajust. [m]
100	100	82.13084	105.22317	76.83058	99.71845	106.21093	109.32333

Precisión (en mm)

0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Se estima que el error en la componente horizontal de los vectores es < 1 mm en el 95% de los casos.

AGGO – Colocalización

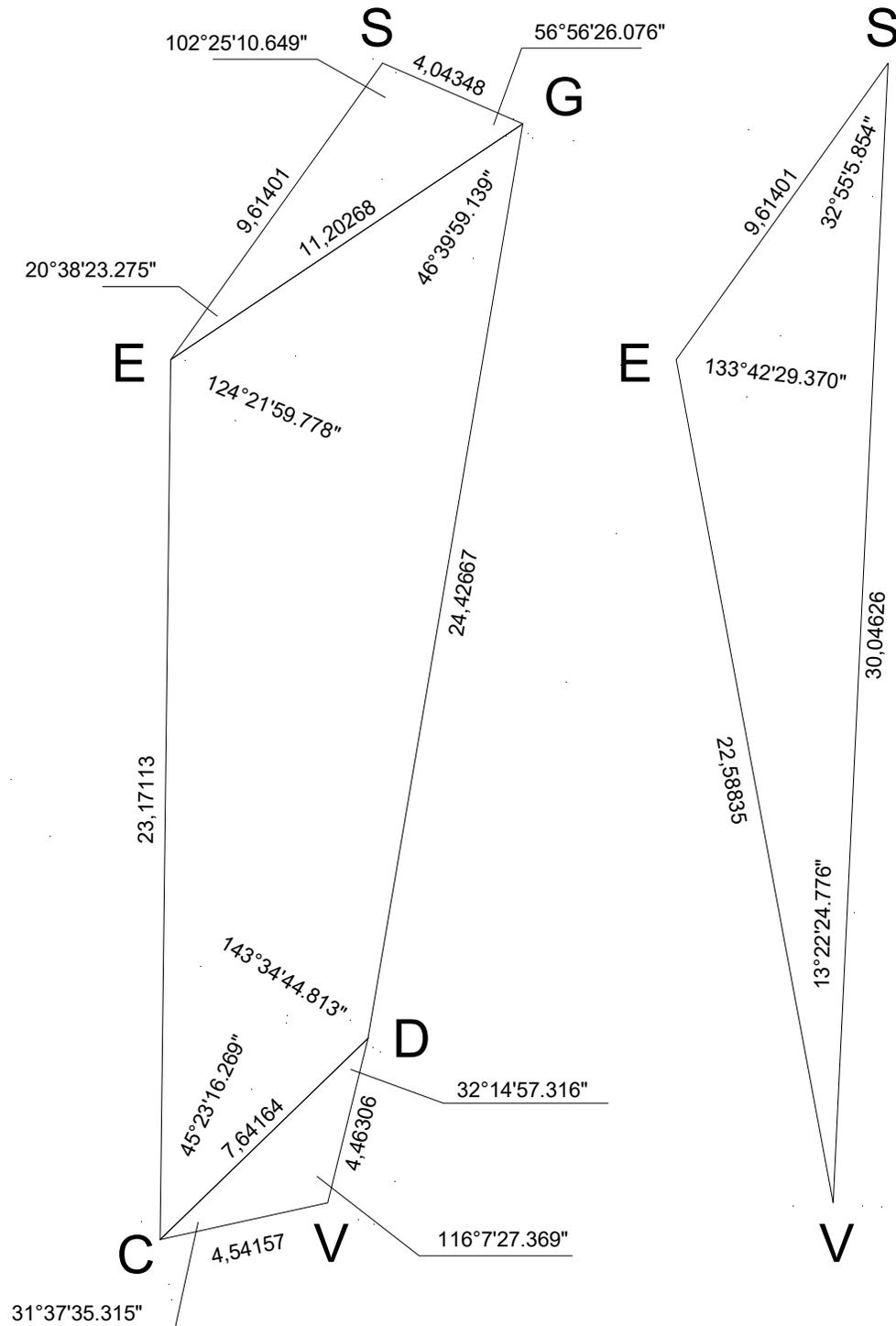


Figura 9: Red de puntos con coordenadas locales definitivas.

AGGO – Colocalización

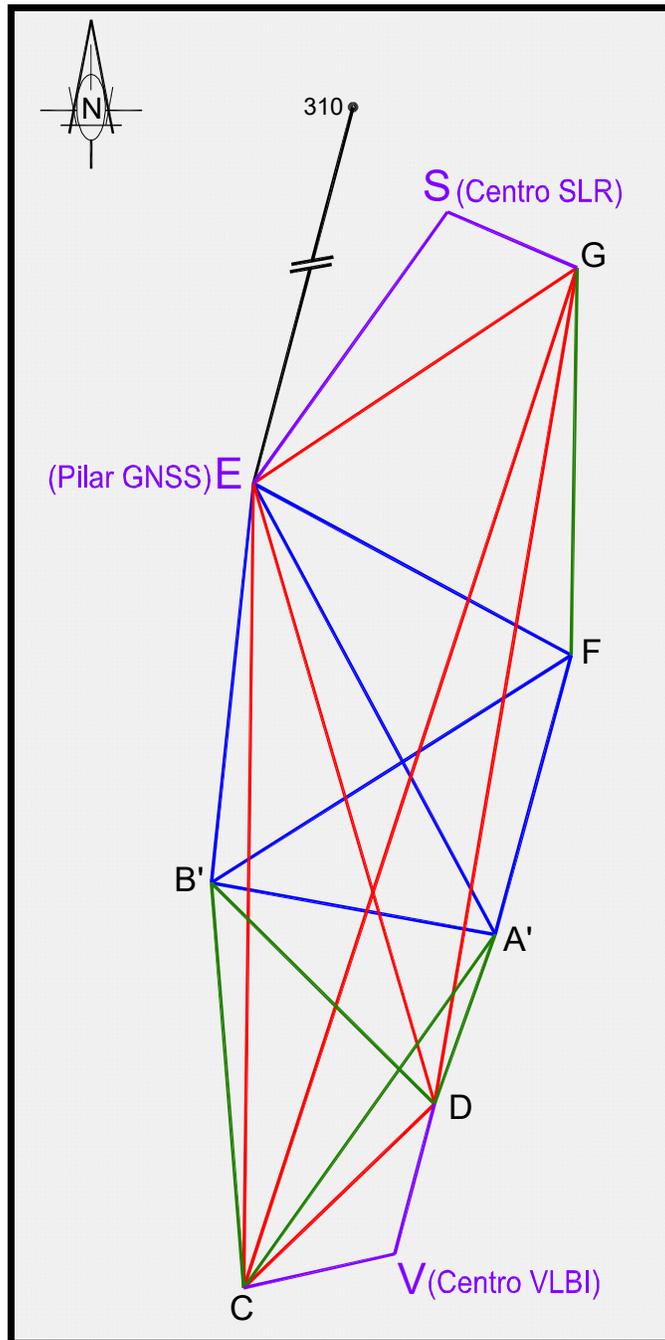


Figura 10: Red compuesta por el conjunto de los puntos empleados en ambas mediciones y por V (centro de VLBI) y S (centro de SLR)

AGGO – Colocalización

4. Integrantes del equipo de medición y cálculo:

Calvo Manuel, Calvo Pascual, Cornaglia Laura, Mangiaterra Aldo, Noguera Gustavo.

5. Pasos siguientes

- a) Efectuar las mediciones necesarias para establecer la excentricidad planimétrica de V y S con respecto a las respectivas marcas ubicadas en la base del instrumento.
- b) Combinar los resultados de la planimetría con los que provienen de la altimetría para obtener las coordenadas espaciales, en el sistema local, de los puntos C(103), D(101), E(300), G(201), S(200) y V(100).
- c) Efectuar el cálculo de las coordenadas geocéntricas de esos puntos y de las componentes de los vectores VE, VS y ES.