

Topografía Minera

Práctica 2. Red de bases a partir de GPS estático relativo por diferencia de fase



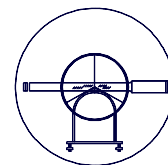
Julio Manuel de Luis Ruiz
Raúl Pereda García

Departamento de Ingeniería Geográfica
y Técnicas de Explotación de Minas

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)





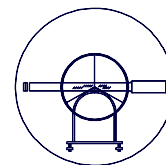
TOPOGRAFÍA MINERA

Práctica Número 2.-

RED DE BASES A PARTIR DE GPS ESTÁTICO RELATIVO POR DIFERENCIA DE FASE

Alumnos que forman el Grupo:

1.-	
2.-	
3.-	
4.-	
Grupo:	Fecha:
Observaciones:	



1.- JUSTIFICACIÓN DE LA PRÁCTICA.

Antes de abordar la realización de un trabajo con instrumental GPS es conveniente hacer ciertas reflexiones como, por ejemplo, si ese trabajo debe ser abordado mediante esta técnica o no.

Los criterios a seguir a la hora de abordar un trabajo con GPS pueden ser, por orden de importancia, los que se indican a continuación:

- Accesibilidad a la señal (horizonte despejado).
- Acotar correctamente la precisión del trabajo a realizar con el fin de que el resultado final sirva para la finalidad que se había planteado. Teniendo en cuenta esto, se puede afirmar que una mayor precisión aumentaría el coste final inútilmente mientras que una precisión baja lo haría inadecuado para la finalidad perseguida.
- Seleccionar el instrumental, metodología y demás elementos requeridos para alcanzar la precisión establecida.
- Seleccionar de todas las opciones posibles aquella que ofrezca un mayor rendimiento con el menor coste posible.

El método **GPS en estático relativo** es uno de los más precisos y fiable que hay en Geodesia cuando se está trabajando en largas distancias, entendiéndose por largas distancias las que superan los 10 Km.

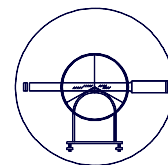
Este método se fundamenta en el uso de un receptor base situado en un punto de coordenadas conocidas y otro receptor sobre el punto a medir, permaneciendo ambos receptores durante un cierto periodo de tiempo sobre los puntos (referencia y móvil). Este método obtiene líneas base entre los receptores en el mismo intervalo de tiempo.

Las principales características de este método son:

- Más preciso, eficiente y económico que los métodos topográficos tradicionales.
- Método estándar para distancias superiores a los 10 Km.
- Se precisa de, como mínimo, un punto de coordenadas conocidas.
- Tiempos de observación largos (soluciones redundantes).
- Almacenamiento de datos y cálculo en tiempo diferido.

En Topografía clásica para un determinado sistema de referencia, instrumental y metodología, la geometría del trabajo hace que se obtengan unas determinadas precisiones u otras.

En Topografía mediante GPS la influencia de la geometría es menor. Esto se debe a que una observación GPS es un vector incremento de coordenadas topocéntricas, es decir, un vector orientado en el espacio siendo el acimut parte de la observación. Por tanto, las pérdidas de orientación a lo largo del trabajo son mucho menores que al efectuar una observación clásica.



Los datos son registrados en ambas estaciones en forma simultánea. Es importante que los datos sean registrados con la misma frecuencia en cada estación. El intervalo de registro de datos puede ser establecido en, por ejemplo, 5, 10, 15, 30 o 60 segundos.

Los receptores deben registrar datos durante un cierto periodo de tiempo. El tiempo de observación dependerá de la longitud de la línea, el número de satélites observados y la geometría (Dilución de la Precisión o DOP). Como regla general, el tiempo de observación deberá ser por lo menos de una hora para un línea de 20 Km. con 4 satélites y un GDOP menor que 5. Líneas más largas requieren tiempos de observación más largos.

Es muy importante que exista redundancia en la red que está siendo medida. Esto significa que los puntos se deben medir por lo menos dos veces.

En el caso que nos ocupa y dado que la distancia entre el Receptor de Referencia y el Receptor Móvil es muy pequeña se observara cada punto durante un tiempo de entre 13 y 15 minutos.

2.- OBJETIVOS.

El objetivo de esta práctica es, por tanto, el de establecer una red de bases en la zona del campus utilizando para ello el método de observación GPS estático relativo por diferencia de fase.

Dichas bases constituirán el marco referencial de trabajo para posteriores actuaciones a llevar a cabo en la Escuela de Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, Escuela de Fisioterapia y su área de influencia.

El alumno desarrollará esta primera práctica sin tener en cuenta que en su zona de trabajo hay disponible una Estación Permanente de Referencia y sin subir a ningún vértice geodésico (Dobra, Garita Collado, Ibio,...) para establecer la referencia/fijo de las observaciones.

3.- DESARROLLO DE LA PRÁCTICA Y CONTENIDO.

Para el desarrollo de la práctica se realizaran observaciones de campo centradas en la determinación de una Red Fundamental formada por los Vértices Topográficos ya señalizados en el territorio mediante clavos y las oportunas marcas de pintura, cuya ubicación aproximada se puede apreciar en la siguiente figura.

La determinación de las coordenadas de la red de vértices se realizará atendiendo a los siguientes criterios de observación: se situará el Receptor de Referencia en el vértice B10, vértice de coordenadas WGS84 conocidas, a partir del cual se radiarán el resto de bases presentes en la zona de trabajo.

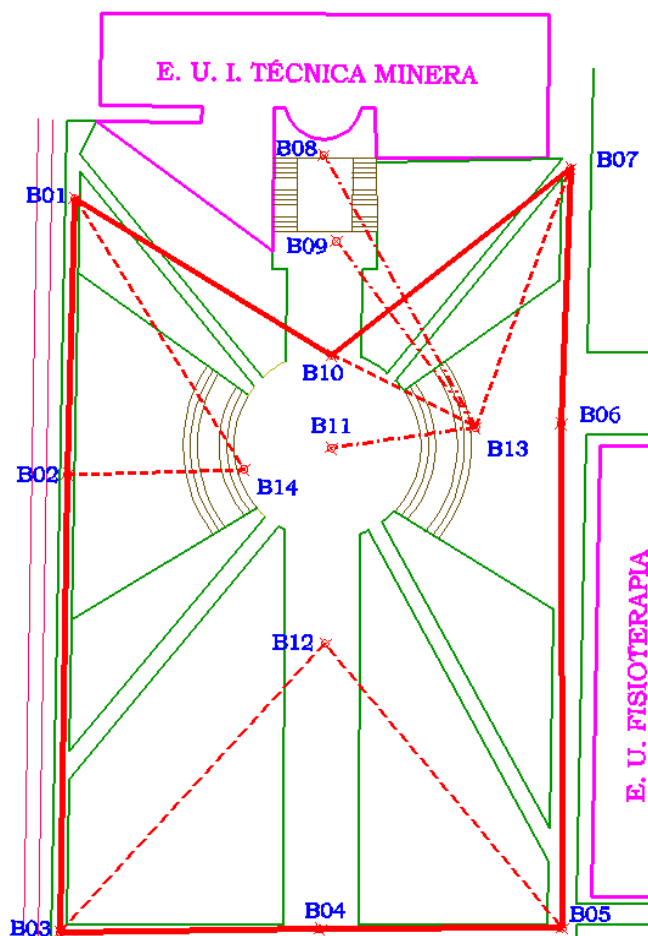
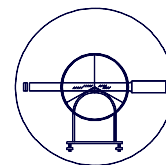


Figura 1.- Ubicación aproximada de la red de vértices topográficos.

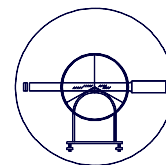
Es necesario indicar que este es el único método que se puede aplicar teniendo en consideración cuales son los supuestos de partida y que sólo se dispone de dos receptores GPS.

Para una determinada línea base B11B01, se obtienen por pseudodistancias las coordenadas absolutas del punto B11 (o se conocen previamente como es el caso) y por medida de fase se calculan los incrementos de coordenadas ΔX , ΔY y ΔZ entre la base B11 y la B01.

Las coordenadas para el Receptor de Referencia son las siguientes:

ESTACIÓN	COORD_X	COORD_Y	COORD_Z
B11	414.964,674	4.798.956,820	42,502

Si se dispusiera de un tercer receptor, el método de observación consistiría en estacionar el aparato fijo en un vértice (estación de referencia permanentemente midiendo en modo de posicionamiento estático) y los otros dos receptores se configuran para el método de posicionamiento estático rápido, con un intervalo de grabación de 10-15 minutos, y se hacen tomas de datos simultáneos.



Cuando la grabación concluye, uno de los aparatos móviles se sitúa en un nuevo vértice y se repite la toma de datos simultánea entre los tres receptores. Así se realiza para todos los vértices de la red.

Los tiempos de observación dependen de las características del equipo, pero si se quiere estar seguro de que se van a resolver ambigüedades, deben de estar entorno a los periodos de tiempo que se muestran a continuación.

MÉTODO DE OBS.	Nº. SATS. GDOP<5	LONGITUD LÍNEA BASE	TIEMPO OBSERV. DÍA	TIEMPO OBSERV. NOCHE
ESTÁTICO	4 o más	15 a 30 Km	1 a 2 hrs	1 hr
	4 o más	Más de 30 Km	2 a 3 hrs	2 hrs
ESTÁTICO RÁPIDO	4 o más	Hasta 5 Km	5 a 10 min	5 min
	4 o más	5 a 10 Km	10 a 20 min	5 a 10 min
	5 o más	10 a 15 Km	Más de 20 min	5 a 20 min

Las precisiones que se obtienen aplicando este método serán de 5 mm + 1 ppm, y si se aplicase el método estático rápido 5-10 mm + 1 ppm.

Los parámetros que hay que fijar son:

PARÁMETROS DE OBSERVACIÓN	
INTERVALO ENTRE ÉPOCAS (intervalo grabación de datos)	1 segundos
MÁSCARA DE ELEVACIÓN (ángulo mínimo de elevación sobre el horizonte)	10°-20°

4.- MATERIAL E INSTALACIONES.

4.1.- Material.

El material utilizado para observar una red básica mediante GPS puede estar formado por dos o tres receptores, en este caso se emplearán dos receptores **Leica Viva GS10**. Además el alumno dispondrá de sensor, terminal, antena, batería, tarjeta de memoria y cableado.

Otros de los complementos que constituyen el sistema son trípode o bastón, base nivelante con soporte (si se trabaja sobre trípode), flexómetro, cuaderno de campo para tomar datos adicionales, cartografía (si fuera precisa), reseñas, etc.

Todo ello es propiedad del Departamento de Ingeniería Geográfica y Técnicas de Expresión Gráfica de la Universidad de Cantabria.

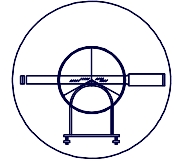


Figura 2.- Instrumental topográfico para realizar las observaciones.

Los receptores utilizados son bifrecuencia y registran el código C/A y P de L1 y fase de L1 y L2.

El GS10 funciona como referencia y móvil en cualquier modo, desde estático a RTK. Es pequeño, ligero y soporta todos los formatos y dispositivos de comunicación. Puede usarse en bastón, minimochila, sobre trípode, etc.

Los datos de campo se almacenan todos en la tarjeta PCMCIA de los sensores,

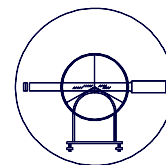
4.2.- Instalaciones.

Las prácticas se desarrollarán íntegramente en la zona del Campus Universitario y dentro del área que indiquen los profesores responsables, siguiendo las instrucciones de los mismos.



Figura 3.- Recinto utilizado para el desarrollo de la práctica.

El volcado y posterior procesado de la información se realizará en el Gabinete de Topografía de la propia Escuela tal y como se ha venido realizando en las diferentes asignaturas que se imparten de Topografía en este Grado.



5.- MODO OPERATIVO.

5.1.- Identificación de los elementos constitutivos.

El profesor explicará los elementos constitutivos del GS10 así como la forma de operar en campo con dicho instrumental. Previamente se habrá visto en gabinete cómo se produce el volcado de los datos de campo y cómo se importa dicha información en el programa Leica Geo Office.

Además enseñará a los alumnos a configurar el GPS con el fin de establecer cuál será la Referencia y qué metodología de observación se va a utilizar para obtener las coordenadas de las bases.

Para almacenar e identificar posteriormente los observables, el alumno seguirá las indicaciones que el profesor le indique durante el desarrollo de la práctica.

5.2.- Parámetros del proceso de observación

En el proceso de observación influyen una serie de parámetros:

- **Máscaras de Refracción y Azimuth**

Es el ángulo de elevación mínimo que tendrán los satélites para que se reciba información de ellos. Este ángulo es configurable y se considera como mínimo ideal de 15° de elevación, ya que, por debajo de este ángulo, la señal recibida de los satélites, está muy influenciada por la refracción atmosférica.

- **Modelo Troposférico**

Usar el modelo de Hopfield o el de Saastamoinen, no produce diferencias sustanciales en los resultados. Lo que no debe hacerse es calcular sin tener en cuenta ningún modelo, pues esto sí producirá errores.

- **Modelo Ionosférico**

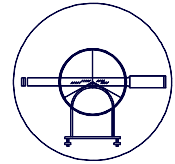
El uso de un modelo ionosférico, sólo afecta apreciablemente al cálculo de líneas base de más de 20 Km. Normalmente se usa un modelo empírico, basado en el comportamiento de la ionosfera. Con el uso del modelo ionosférico se aplican correcciones a todas las observaciones de fase, que varían con el ángulo horario solar y con la elevación del satélite recibido.

Un modelo ionosférico incorrecto, o no usar un modelo ionosférico, introduce un error de factor de escala de las bases calculadas. Si no hemos aplicado modelo las líneas base serán más cortas.

Para líneas base largas, más de 20 Km, los efectos ionosféricas se suelen cancelar, pues en estos casos el tipo de cálculo está basado en el observable L3, que es una combinación de L1 y L2.

- **Efemérides**

El **Almanaque** es transmitido por todos los satélites en el mensaje. Su objetivo fundamental es proporcionar a los usuarios unos parámetros orbitales y estados de los osciladores aproximados con dos objetivos. El primero es permitir a los receptores, en tiempo real, efectuar una búsqueda



optimizada de satélites. El segundo es permitir, antes de salir a campo a observar, la planificación de las ventanas de observación favorables.

En las **Efemérides Transmitidas** se transmiten predicciones de los parámetros reales. La predicción de estas órbitas se hace a partir de las pseudodistancias registradas en las cinco estaciones del segmento de control. Su precisión es difícil de cuantificar y además suele estar intencionalmente degradadas mediante la *disponibilidad selectiva* (S/A). Estudios comparativos actuales entre las efemérides transmitidas y las precisas permiten estimar su precisión en valores entre 1-5 m.

Las efemérides transmitidas contienen seis parámetros que definen una órbita media u órbita normal, referida a una determinada época y nueve parámetros adicionales que permiten determinar las correcciones para modelar el movimiento perturbado.

Comprobación de los puntos observados

Hay que tener especial cuidado al fijar las estaciones de referencia y radiar desde ellas, con tiempos cortos de observación. Si la geometría de la constelación es mala, lo que se traduce en valores altos de GDOP, o si las turbulencias ionosféricas son agudas, puede ocurrir que el software de post-proceso no resuelva ambigüedades, o si las resuelve, que los resultados superen las especificaciones de precisión requeridas.

Dependiendo de la precisión requerida, el usuario debe comprobar de forma independiente los resultados obtenidos. Algunos de los métodos que se pueden utilizar para hacer dichas comprobaciones:

- Observar los puntos una segunda vez pero en ventanas diferentes. Esto proporciona una solución alternativa con condiciones atmosféricas y geometría diferentes.
- Cerrar un itinerario con una medición de la línea base desde el último punto observado hasta el punto de inicio.
- Medir líneas base independientes desde varios puntos de una red de estaciones temporales.

Se puede obtener una comprobación parcial usando dos estaciones de referencia, en lugar de una, y haciendo una bisección. Así tendremos fijación doble para cada punto, pero cada una estará basada en las mismas observaciones del receptor itinerante y en la misma configuración de la constelación observada.

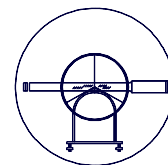
5.3.- Cálculo y Precisión de una Observación por métodos GPS.

Con el método de observación estático rápido, el cálculo de las coordenadas de los vértices se hace en postproceso.

El método de cálculo es el siguiente:

A.- Descarga de datos

Habitualmente en el proceso de descarga se generan tres ficheros por receptor:



- Fichero de navegación (binario) que contiene las efemérides radiotransmitidas.
- Fichero de datos (binario) con las observables registradas (pseudodistancias, medidas de fase de la portadora, etc.).
- Fichero de datos de campo (ascii) que contiene la altura de la antena, datos de la estación, parámetros meteorológicos, etc.

Se procederá al volcado de los datos GPS del equipo fijo, los equipos móviles y de las estaciones permanentes (si se hubieran incluido en el trabajo).

Merece la pena en este punto hacer un inciso y mencionar el **formato RINEX** (Formato Independiente de Intercambio) satisface la necesidad de combinar distintos tipos de receptores de distintas casas comerciales, de distintas versiones, en el mismo proyecto y calcular los datos con un mismo programa.

El formato es **SSSSDDDF.YYT** donde

SSSS → representan los cuatro primeros caracteres del nombre de la estación;

DDD → día del año, empezando a contar por el 1 de enero;

F → sesión;

YY → Los dos últimos dígitos del año;

T → tipo de fichero;

O → fichero de observación;

N → fichero de navegación;

M → fichero meteorológico.

B.- Creación de un proyecto nuevo e importación de las observaciones.

Los programas de cálculo, tal y como se expondrá más adelante, permiten obtener en pantalla el dibujo de las líneas base que forman los vértices observados.

C.- Procesado de las líneas base GPS.

Obtener un informe con los resultados del cálculo de todas las líneas base, indicando las que no entran en una tolerancia indicada de antemano.

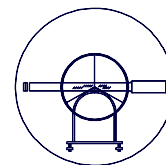
D.- Ajustar la red.

5.4.- Cálculo de líneas base.

En este punto y antes de proceder al cálculo de las líneas base es necesario repasar brevemente la combinación de observables entre diferentes receptores y satélites, es decir, las simples, dobles y triples diferencias.

5.4.1.- Simples diferencias

En el método de las simples diferencias se consideran dos receptores observando a un mismo satélite. Se denomina simple diferencia a la diferencia de observables correspondientes a la misma época y para el mismo satélite.



Los errores comunes con origen en los satélites como el error del oscilador del satélite, el error de retardo de hardware en el satélite y el error de fase inicial del satélite se cancelan.

Además de cancelarse la mayor parte de los errores con origen en el satélite, en las simples diferencias se minimizan otros.

La determinación de la distancia geométrica entre los receptores y el satélite se efectúa a partir de las coordenadas del satélite en el instante "t" y las coordenadas aproximadas de cada una de las estaciones.

Los errores de retardo ionosférico y troposférico prácticamente se cancelan para las líneas cortas y condiciones troposféricas homogéneas. El retardo ionosférico y troposférico para dos receptores será el mismo, ya que, frente a 20000 Km. que orbita el satélite, la distancia entre receptores es mucho menor por lo que, se considera que la onda recorre el mismo camino para los dos receptores. Dichos errores se minimizan para distancias entre receptores menores de 15 Km.

5.4.2.- Dobles diferencias

En el método de las dobles diferencias se consideran dos receptores y dos satélites observados desde ambos receptores en el mismo instante.

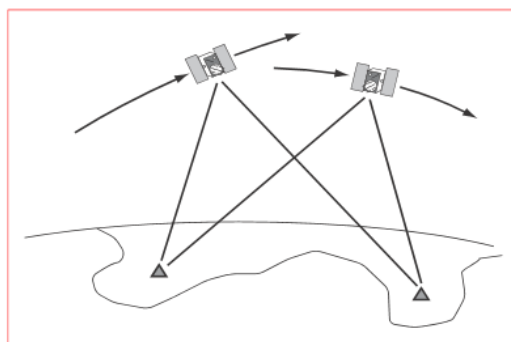


Figura 4.- Dobles diferencias.

Además de los errores que se cancelaban en las simples diferencias se cancelan aquellos con origen en los receptores y que son comunes:

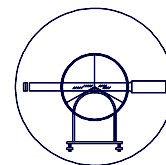
- la diferencia de retardo de hardware entre los receptores;
- la diferencia de fase en el instante inicial o error de cero.

Se minimiza en gran medida la influencia de los errores de los osciladores de los receptores sobre la fase observada.

En dobles diferencias existe más ruido que en simples diferencias porque se trata de la composición de cuatro observaciones. Por lo tanto, será más complicado determinar las ambigüedades. La solución es flotante.

5.4.3.- Triples diferencias

Se consideran dos receptores y dos satélites observados desde ambos receptores en dos épocas de tiempo (t_1 y t_2 respectivamente). Se denominan

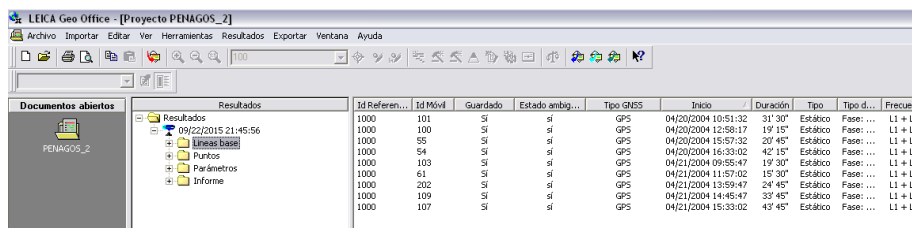


triples diferencias a la diferencia de dobles diferencias correspondientes a las épocas t1 y t2.

La característica fundamental de las triples diferencias es que se cancela la ambigüedad de las dobles diferencias. Algunos errores residuales de las dobles diferencias tienden a cancelarse como la influencia del error del oscilador de los receptores que es prácticamente nula al igual que la variación de los errores residuales por retardo ionosférico y troposférico en épocas consecutivas.

5.4.4.- Cálculo de líneas base

Como el método utilizado para la observación es relativo por diferencia de fase y se parte de un vértice de referencia del cual se conocen sus coordenadas, se arrastrarán las coordenadas al resto de la red a través de incrementos calculados para la observación. El cálculo de incrementos se denomina cálculo de líneas base.



Id Referen...	Id Móvil	Guardado	Estado ambig...	Tipo GNSS	Inicio	Duración	Tipo	Tipo d...	Preque...
1000	101	SI	SI	GPS	04/20/2004 10:51:32	31' 30"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	100	SI	SI	GPS	04/20/2004 12:58:17	19' 15"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	55	SI	SI	GPS	04/20/2004 15:57:32	20' 45"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	54	SI	SI	GPS	04/20/2004 16:33:02	42' 15"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	103	SI	SI	GPS	04/21/2004 09:55:47	19' 30"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	61	SI	SI	GPS	04/21/2004 11:57:02	15' 30"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	202	SI	SI	GPS	04/21/2004 13:59:47	24' 45"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	109	SI	SI	GPS	04/21/2004 14:45:47	33' 45"	Estático	Fase: ...	L1 + L2
1000	107	SI	SI	GPS	04/21/2004 15:33:02	43' 45"	Estático	Fase: ...	L1 + L2

Figura 5.- Ambigüedades resueltas en el cálculo de líneas base del trabajo de Penagos.

Se debe verificar siempre que las desviaciones estándar en el cálculo de las líneas base estén dentro de una tolerancia del orden milimétrico y que las ambigüedades estén resueltas.

En el caso en el que se hayan resuelto las ambigüedades se guardan los datos procesados y se procede a realizar el ajuste de la red (con todas las líneas de base calculadas y dentro de tolerancia).

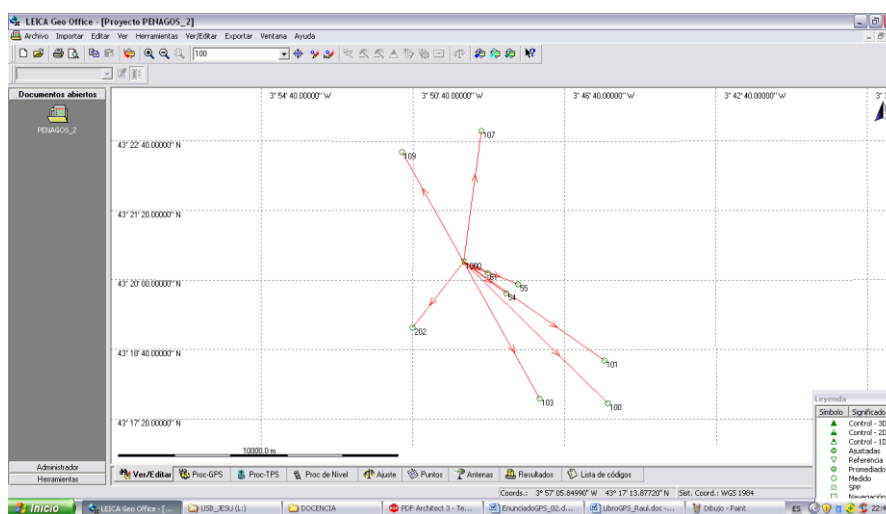
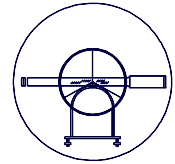


Figura 6.- Cálculo de las líneas base desde una estación de referencia.



5.4.5.- Ajuste de la red

El alumno deberá tener en cuenta que se ha fijado un único vértice como control por lo que se está realizando un ajuste libre de la red.

El ajuste libre se realiza por mínimos cuadrados. Con esto se consigue una red de precisión homogénea pero es necesario realizar tests de control en el ajuste con respecto a un valor crítico de referencia

En el caso de que sea preciso ajustar la red se deben eliminar las observaciones de una en una, es decir, no se deben de eliminar más de una línea base en un mismo ajuste. Este proceso es iterativo y acaba, bien cuando se eliminen todas las observaciones con valores groseros o bien porque no se pueda eliminar más observaciones debido a que no se tienen suficiente redundancia. En este último caso de deberían repetir observaciones.