



La Meridiana ALHAMBRA & ALBAICÍN

MARIO RUIZ MORALES

Prolegómenos legislativos: pertenencias mineras y demarcaciones

Aunque la Ley de Minas del año 1825 supusiera un avance indudable que pretendía superar el caos previo, es evidente que adolecía también de importantes defectos; que pretendió eliminar la nueva ley de minería, publicada el mes de abril de 1849, durante el gobierno de Juan Bravo Murillo y el reinado de Isabel II. Con ella cobraron merecido protagonismo el cuerpo de ingenieros de minas, cuyo reglamento apareció meses después para poderla hacer efectiva (31 de julio de 1849). Tales facultativos serían los encargados de marcar sobre el terreno los límites de las pertenencias, generalmente paralelogramos o rectángulos de extensión variable; si bien concretaba que las de arenas auríferas deberían ser fijas y de treinta mil varas cuadradas en figura rectangular. Sus cometidos estaban claramente marcados en la ley, sirva de ejemplo lo estipulado su artículo 49: la necesidad de que levantasen un plano topográfico exacto y “en escala de uno por cada tres mil y seiscientos del espacio que designen... en este plano han de estar marcados, no solo los principales objetos topográficos del espacio designado, sino también con perfecta exactitud todas las bocas, y los nombres de las minas concedidas o designadas anteriormente, que linden con aquel”. Mención especial merece la creación en su artículo 8º de la Junta Superior Facultativa de Minería, como órgano asesor del gobierno.

No obstante la liberalización del sector no se produjo de inmediato, pues hubo que esperar a que se aprobase la Ley de

Minas (6 de julio de 1859, reformada por la del 4 de marzo de 1868), durante el gobierno del general O’Donnel; con ella adquiere especial relevancia la autoridad de los Gobernadores civiles, ya que todos los expedientes serían puramente gubernativos. El protagonismo facultativo continuó recayendo en los Ingenieros de Minas, encargados de fijar la posición espacial de la bocamina, con relación a los objetos “fijos y perceptibles del terreno”, anotando los rumbos y distancias correspondientes; la demarcación de la mina también era potestad de los mismos, estando obligados los mineros a conservar “en el mejor estado sus mojoneras”. Las demarcaciones de las minas, o pertenencias, se definieron con cierto rigor en el artículo 13 de esta ley: “la pertenencia común de una mina es un sólido de base rectangular de 300 metros de largo por 200 de ancho, horizontalmente medidos al rumbo que designe el interesado, y de una profundidad vertical indefinida... En las minas de hierro...sulfato de sosa y sal gemma, tendrá cada pertenencia 500 metros de lado sobre 300... En las arenas auríferas o estanníferas...comprenderá la pertenencia 60000 metros cuadrados...y podrá estar formada, bien por un rectángulo, bien por un cuadrado, ó bien por una serie ó reunión de cuadrados de 20 metros al menos de lado cada uno”.

En sus artículos 32 y 33 se detallaban algunas de las misiones topográficas de los Ingenieros de minas, indicándose en el primero que debería demarcar la pertenencia y fijar los puntos en que se tendrían que situar los hitos o mojoneros, los cuales habrían de ser firmes, duraderos y bien perceptibles. En el segundo se prescribía el empleo de la



brújula para marcar los rumbos magnéticos, aunque se señalaba también la conveniencia de fijar la posición de la bocamina con respecto a objetos fijos y perceptibles del terreno, anotando sus distancias; quedando obligados los mineros a conservar en el mejor estado sus mojoneras. El reglamento que desarrollaba la ley anterior se publicó el 24 de junio de 1868. En su artículo número 6 admitía que la demarcación fuese poligonal, aunque con el menor número de lados que fuese posible y una superficie menor de 20000 metros cuadrados; aunque acto seguido se añadiera que la figura más perfecta y recomendable era la rectangular. En cada expediente se incluiría un plano levantado por el ingeniero, idéntico a la copia que se le entregaría al interesado. La representación de la pertenencia se orientaría con la exactitud posible, haciendo constar los límites del terreno concedido para la explotación.

El artículo 42 regulaba lo relativo a las solicitudes de cotos mineros, con un número de pertenencias comprendidas entre 20 y 60. Cada solicitud iría acompañada de un plano topográfico levantado a escala 1/10000, en el que figurasen todas las pertenencias debidamente numeradas. El artículo 51 señalaba la obligación de levantar dos planos de cada una de las demarcaciones, con el margen suficiente para poder ser unido al expediente. La escala del dibujo sería de 1/5000; si bien el Ministerio o el Gobernador podrían acordar otras diferentes, atendiendo a las posibles incidencias. Es subrayable la recomendación de que se dibujasen los planos con esmero y limpieza, empleándose variedad de tintas para mayor claridad⁽¹⁾.

⁽¹⁾La preocupación por imponer la uniformidad en la formación y presentación de los planos anteriores, se vio reflejada en las diecisiete reglas contempladas en la Real Orden del 25 de febrero de 1863.

Para la formación de los planos, y extensión de las catas de demarcación, los ingenieros se tenían que atener a lo dispuesto en la Real Orden de 25 de febrero de 1863. En efecto, ya se apuntó en la



Emblema de los Ingenieros de Minas y el edificio de su Escuela en Madrid (Calle de Río Rosas 21). El proyecto se debió al arquitecto Ricardo Vázquez Bosco y se inauguró en el año 1893; es destacable el mosaico lateral debido a Daniel Zuloaga Boneta, instalado entre 1888 y 1892.

primera la necesidad de que los perímetros de las pertenencias se dibujasen siempre con líneas negras y en la cuarta el empleo del color carmín para las pertenencias de escoriales y terreros, teniendo en cuenta que la pertenencia desmarcada se representaría con línea continua y con líneas de trazos las colindantes; también se añadía en esta regla la obligatoriedad de marcar con líneas de puntos las auxiliares de la triangulación dibujada para el cálculo de superficies. En la regla número 6 se ordenaba la representación de la topografía del terreno en todos los planos, reservando el color azul para los ríos, arroyos, cañadas y canales de navegación o riego. La orientación de los planos se realizaría de manera que la línea N.S. fuese paralela al lado mayor del papel, señalando el limbo de la brújula usada y los grados de los cuatro puntos cardinales. Para mejor comprensión de las reglas de esta R.O. se incluyó al final de la misma un modelo de plano con la explicación correspondiente.

La Comisión para el trazado de líneas meridianas: el problema de la orientación.

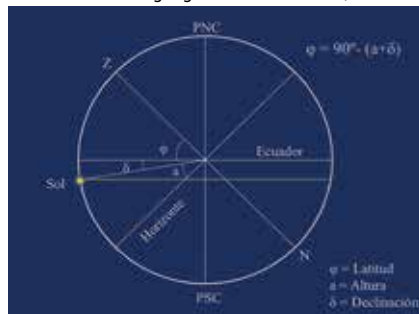
Siendo tan necesario el levantamiento de las pertenencias mineras, este sería incompleto si no se situaran las mismas sobre el globo terráqueo. La operación no era nada baladí, pues se necesitaban aplicar sobre el terreno los conocimientos astronómicos y geodésicos del ingeniero de turno. Los trabajos de campo correspondientes se dividían en dos partes bien diferenciadas: por un lado se debían calcular las coordenadas geográficas de algún punto significativo del recinto y por otro proceder a la orientación de la pertenencia, valiéndose

para ello del replanteo de la línea Norte-Sur, también conocida como línea meridiana o simplemente meridiana. La determinación de las dos coordenadas geográficas, latitud y longitud, requería observaciones astronómicas de cierta complejidad, dependiendo siempre de la exactitud requerida.

La obtención de la latitud se veía facilitada cuando se observaban estrellas (incluido el Sol) al pasar por el meridiano del lugar de observación, ya que entonces existe una relación lineal entre esa coordenada, la altura de la estrella sobre el plano del horizonte y la declinación de la misma.

La determinación de la longitud resultaba más dificultosa, por estar asociada a la medida del tiempo, en otras palabras, al cálculo de la hora local. De manera que para hallar la diferencia de longitudes entre dos lugares dados había que observar, en el mismo instante, un cierto fenómeno astronómico y anotar la hora del cronómetro en cada uno de ellos, para luego obtener su diferencia. No obstante, en aquellos supuestos en que se disponía de red geodésica, como fue el caso de Granada, se podría aprovechar el conocimiento de la longitud de un cierto vértice geodésico (el ubicado en la Torre Mocha de la Catedral⁽²⁾, por ejemplo) y

⁽²⁾Sus coordenadas geográficas eran: latitud (37° 10' 34")



Cálculo de la latitud del lugar por observaciones al Sol en el instante de su culminación superior. En la figura se ha supuesto una época del año en que su declinación es negativa (Otoño o Invierno). La altura se mediría con un teodolito, taquímetro o con brújula topográfica; la declinación solar la proporcionaban unas tablas astronómicas.

enlazar topográficamente con la estación incógnita para poder transportar allí el valor de esta segunda coordenada geográfica.

La orientación astronómica es otro problema de primer orden, pues se habría de calcular previamente el acimut de una cierta estrella (en estos supuestos mineros, solía elegirse el Sol o la estrella Polar), para que a partir de ese valor pudiese replantearse, sobre el terreno inmediato a la pertenencia minera, la intersección del plano meridiano con el del horizonte. El acimut de la estrella se obtendría resolviendo, mediante la trigonometría esférica, el triángulo de la esfera celeste⁽³⁾ formado por la proyección

y longitud (0h 0m21s E.M.)

⁽³⁾La esfera celeste es una superficie imaginaria centrada en el observador, sobre la que se proyectan todas las estrellas del cielo. Supongamos a uno dado situado sobre la Tierra y la línea de fuerza del campo gravitatorio que lo contiene, es decir la vertical del lugar materializada por la plomada física.

Pues bien esa línea cortarían a la esfera celeste asociada en dos puntos denominados Zenit y Nadir, el primero por encima del observador. El plano que pasando por el centro de la esfera, el lugar, es perpendicular a la vertical recibe el nombre de plano del horizonte, el cual divide a la esfera celeste en dos hemisferios, visible e invisible, perteneciendo el Zenit al primero de ellos. Todos los planos que contienen a la línea vertical cortan a la esfera según circunferencias máximas denominadas verticales, por el contrario todos aquellos planos que son paralelos al horizonte cortan a la esfera según circunferencias menores llamadas almecantarades. El eje de rotación terrestre corta a la esfera en los llamados polos celestes: polo norte y polo sur. El plano perpendicular al eje de rotación y que pasa por el centro de la esfera es el ecuador celeste. Un círculo máximo que contenga a dicho eje es



Cronómetro astronómico (ca. 1822)

de la estrella, por el cenit del lugar y por el polo celeste⁽⁴⁾. Una vez replanteada la línea meridiana, marcando sobre el terreno dos de sus puntos, podían determinarse los acimutes de cualquier dirección considerada de interés para la explotación minera: midiendo el ángulo horizontal formado por la meridiana anterior y la dirección en cuestión. La materialización de tales direcciones podía no ser evidente, tanto por la lejanía de la referencia elegida como por la reverberación atmosférica, de ahí que fuese relativamente frecuente la colocación de heliotropos, o heliostatos, que reflejaban la luz solar hacia el observador. No obstante, la mayor utilidad de estas meridianas radicaba en el hecho de que con ellas era casi inmediato el cálculo de la declinación magnética, estos es el ángulo formado por la dirección del norte astronómico y la del norte magnético⁽⁵⁾. Se entiende así que se pudiese calcular, en un momento dado, la declinación de las brújulas taquimétricas empleadas en los levantamientos de las repetidas pertenencias, siendo inmediata la obtención de los acimutes astronómicos a partir de los rumbos magnéticos proporcionados por las brújulas.

La importancia concedida a la meridiana replanteada, en el entorno de las explotaciones mineras, fue tal

que finalmente hubo de crearse, en el seno de la Junta Superior Facultativa de Minería, una Comisión para el trazado de las meridianas⁽⁶⁾. En efecto, la Gaceta de Madrid nº 115 del 25 de abril de 1881 publicó el Real Decreto de su creación, el cual fue presentado al Consejo de Ministros por el titular de Fomento y avalado por S.M. el rey Alfonso XII tres días antes. Las dificultades inherentes a la problemática planteada hicieron que la exposición de motivos fuese excepcionalmente larga. Tras glosar la importancia de la minería española y la excelencia de la administración del ramo, reconocía el ministro que en su gestión habían existido dos periodos claramente diferenciados. En el primero, se administraba de una forma un tanto patriarcal y gozaban de exagerado protagonismo los inspectores de minas, en el segundo se atendía más a la letra que al espíritu de la ley, requiriéndose la participación frecuente de las Diputaciones y del Consejo de Estado.

Se mencionaba después que durante la primera época era menor tanto el número de minas como el de las dimensiones de sus pertenencias, constatándose la extrema facilidad con que desaparecían o cambiaban de posición los hitos de la demarcación. Tales irregularidades

comenzaron a verse superadas a partir del 31 de diciembre de 1851, justamente cuando las tramitaciones se debían realizar ante los Gobernadores civiles. Igual de novedosa fue la obligación de que cada uno de los expedientes fuese acompañado de un plano de la demarcación correspondiente. Más relevante aún fue la cláusula incluida en la representación cartográfica, puesto que se afirmaba lo siguiente: “era asimismo la voluntad de S.M. que para evitar dudas y todo género de suplantación, como por desgracia había tenido lugar repetidas veces, con gran perjuicio y menoscabo de la industria minera, la labor legal, punto de partida para la demarcación, además de referirse a una de las estacas o mojonera de la pertenencia, se relacionase o refiriese a un punto inalterable y fijo del terreno o bocamina limítrofe, con la mayor claridad y muy circunstancialmente, para que en ningún tiempo hubiese dudas de cuál era su verdadera situación”.

Acto seguido se subrayó el hecho de que fue en la R.O. del 12 de diciembre de 1857 cuando se tuvo constancia formal del caos imperante al orientar las demarcaciones, dando lugar a “cuestiones que no deberían existir, o se confundan y compliquen otras de por sí muy sencillas”. Para tratar de evitarlo se dispuso, en ese precepto legal, que las demarcaciones venideras se orientasen con relación al Norte verdadero o al magnético”, a voluntad del interesado; sin que los ingenieros pudiesen aprobar ninguna que incumpliese tal requisito. Sin embargo, esa disposición más razonable, encontró pronto reparos que la volvieron impracticable, derivados principalmente de que los distritos mineros no contasen con meridianas materializadas sobre el terreno sin ambigüedad en su dirección.

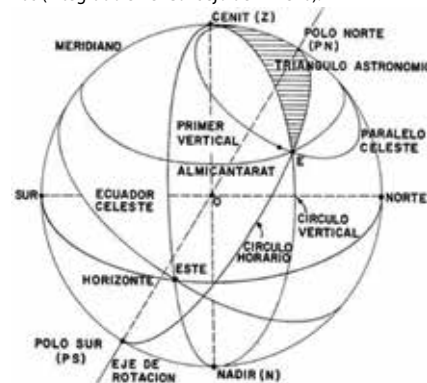
Hasta tal extremo llegó la confusión, que se dictó otra R.O. el 18 de enero de 1858, reformando la anterior y apostando por la orientación magnética asociada a los rumbos proporcionadas por las brújulas empleadas en los trabajos de campo. El contrasentido fue tan evidente

normal al ecuador y recibe el nombre de círculo horario. Las circunferencias menores, intersecciones de la esfera con planos paralelos al ecuador, se denominan círculos de igual declinación o simplemente paralelos. La esfera celeste queda así dividida por el plano del ecuador en el hemisferio septentrional o boreal y en el meridional o austral.

⁽⁴⁾ Los vértices del triángulo de posición son los siguientes: el Polo Norte celeste (P), el Cenit (Z) y la estrella (S). Sus lados son arcos del meridiano del lugar (PZ, colatitud), del círculo horario (PE, distancia polar) y del vertical (ZE, distancia cenital); respectivamente complementarios de la latitud (ϕ) de la declinación (δ) y de la altura sobre el horizonte (a). El ángulo en el Polo permite calcular el ángulo horario de la estrella y la hora de la observación. El ángulo en el Cenit permite calcular el acimut de la estrella y el de cualquier referencia del horizonte a través del ángulo horario de la estrella.

⁽⁵⁾ La declinación magnética puede definirse también como el acimut astronómico del norte magnético. En la actualidad, este norte se sitúa al este del norte astronómico o geográfico.

⁽⁶⁾ Transformada años después en el Servicio de Meridianas (integrado en el Consejo de Minería).



Elementos geométricos de la esfera celeste, el triángulo de posición incluido. Obsérvese que la meridiana, o línea Norte Sur, es la intersección del plano del horizonte con el ecuador celeste

que en esta misma exposición se afirmó de inmediato que esa orden más que reforma o aclaración de la anterior “fue dictada como un medio de retroceder en el camino emprendido”; así fue en realidad, pues las cortapisas impuestas al uso del Norte astronómico⁽⁷⁾ se hicieron aún más patentes cuando se promulgó la nueva ley de 6 de julio de 1859. En su artículo 33 llegó a establecerse que los ingenieros se valieran del Norte magnético, pero determinando, cuando fuera posible, la posición de la boca-mina con relación a objetos fijos y perceptibles del terreno, “anotando sus distancias, y obligando a los mineros a conservar constantemente en lo sucesivo en el mejor estado sus mojoneras”. La situación fue tan insostenible, al emplear con exclusividad los rumbos magnéticos, que la Junta Superior Facultativa de Minas informó al gobierno, en septiembre del año 1870, sobre “los gravísimos inconvenientes que podían resultar para la propiedad minera,... fijando los rumbos de su perímetro por la orientación magnética.

El informe de la Junta fue más científico que político, abordando una materia tan compleja como el magnetismo terrestre, aunque se centrara exclusivamente en la enumeración de las impredecibles variaciones de la declinación magnética, dependiendo tanto del lugar de la observación como del tiempo. Su estudio, resumido en la exposición del Decreto, constó de seis puntos, tratándose de justificar en los cuatro primeros el contenido tan explícito de los dos últimos. Sirva de botón de muestra lo manifestado en el punto segundo, a propósito de la escasa relevancia de las variaciones diurnas y anuales de la declinación, “no sucede lo mismo con la variación secular y con las perturbaciones locales, cuya influencia en los deslindes puede ser muy grande; aumentando el error en razón del tiempo transcurrido y de las dimensiones

de la pertenencia minera”. El punto número cinco era muy ambicioso, ya que consideraba indispensable la adopción del Norte verdadero para designar las citadas pertenencias y consideraba imprescindible que se replanteasen las meridianas en las capitales de provincia, así como en centros mineros de singular importancia; “a fin de poder comparar los instrumentos que se emplean y facilitar las demarcaciones y deslindes”. El último punto fue más realista, al recomendar que en el ínterin se materializasen en las comarcas mineras dos puntos que pertenecientes a una misma meridiana, para poder relacionar con ella los rumbos magnéticos. Esa aportación de la Junta fue decisiva para que el Ministro del ramo presentase el proyecto de Real Decreto al Consejo de Ministros, que tras la preceptiva deliberación decidió el sometimiento del mismo al rey. Finalmente, y tras un breve preámbulo en el que se fijaba como objetivo la indispensable estabilidad de las pertenencias mineras, se imprimieron los cinco artículos de que constaba, a saber:

Artículo 1º. Se procederá a trazar en las capitales de provincia y centros importantes de las comarcas mineras líneas meridianas, terrestres, fijas y estables, de manera que en cualquier momento puedan los empleados del Gobierno y los particulares observar en ellas la declinación de la Brújula que

empleen en las observaciones mineras.

Art.2º para llevar a cabo el trazado de las meridianas, se formará una Comisión compuesta de un Ingeniero Jefe de Minas, Presidente, del Ingeniero Jefe de la provincia en que se trace la meridiana, y de un Ingeniero subalterno.

Art.3º Antes de proceder al trazado de las meridianas, el Presidente de la Comisión propondrá al Director general del ramo el sistema que le parezca más adecuado y el plan que crea conveniente seguir para llevarlo a cabo; sometiéndose ambos al examen de la Junta superior facultativa de Minería.

Art. 4º La aprobación y adopción de un sistema y de un plan no obstará para que se introduzcan sucesivamente las modificaciones que aconseje la experiencia, previa la correspondiente consulta.

Art. 5º Para atender a los gastos que ocasione el trazado de las meridianas, se consignará en el presupuesto la cantidad necesaria; pudiéndose entre tanto cubrir los que ocurran para dar principio desde luego, con una transferencia del cap. 37 del presupuesto de Fomento al artículo 2º del cap. 35 si no alcanzasen las partidas en éste señaladas.

La trascendencia de los trabajos anteriores se puso de manifiesto, años después, por una controversia surgida entre los miembros de la Comisión y el profesor de la asignatura de Topografía y Geodesia en la Escuela de Ingenieros de Minas; precisamente a propósito de la casuística de tales replanteos, recogida en la Memoria presentada por aquella en el año 1893. El profesor defendió con tesón el rigor teórico de sus planteamientos, centrados en la conveniencia de usar los acimutes astronómicos, y la existencia de algunos errores en las fórmulas presentadas en la memoria; la otra parte, por el contrario, postulaba que se trataba de simples erratas de los cajistas. Debe también señalarse que el lenguaje del profesor era mucho más académico que el de los miembros de la comisión, los cuales, aparentemente heridos en su



Portada de la memoria de la Comisión para el trazado de Líneas Meridianas (1893). En el centro de la imagen figuran sus dos principales artífices: 1) El Ministro de Fomento José Luis Albareda y Sezde, y 2) El Presidente del Consejo de Ministros Práxedes Mateo Sagasta. El Decreto Ley de su creación fue refrendado por ALFONSO (Su majestad el rey Alfonso XII)

⁽⁷⁾Hasta cierto punto razonables al no disponer de meridianas materializadas sobre el terreno.

honor, emplearon en su respuesta otro demasiado rimbombante; el caso es que de nuevo parece que surgía la dicotomía entre los acimutes astronómicos y los rumbos magnéticos, más acordes con la brújula topográfica, que era el instrumento generalmente empleado en los levantamientos de campo⁽⁸⁾.

Las observaciones astronómicas: cálculo de los acimutes y replanteo de la meridiana

Nueve años después de que se creara la Comisión de la meridiana, los ingenieros de minas Antonio Esteban Gómez y Justo Martín Lunas⁽⁹⁾ fueron comisionados a Granada para dar cumplimiento a lo establecido en el primer artículo del R.D. del 25 de abril de 1881 y replantear en nuestra ciudad un segmento de la línea Norte Sur. En el resumen que presentaron (pp. 99-118, de la memoria de 1893) manifestaban que desde un primer momento pensaron que una de las estaciones a replantear se debería encontrar en la Alhambra, enclavada en un emplazamiento privilegiado que permitiría efectuar una buena vuelta de

horizonte⁽¹⁰⁾. Tras reconocer los posibles emplazamientos, optaron finalmente por situarla en la Torre de la Vela; una vez desechada la idea de construir un pilar de observación se materializó por una placa circular de mármol blanco con 25 cm de diámetro⁽¹¹⁾. Contando ya con la preceptiva autorización se trasladó allí todo el instrumental material de observación, efectuada entre los días 19 y 23 de junio del año 1890, ambos inclusive. No obstante, ha de reseñarse que en la noche del 18 ya determinaron, a modo de comprobación, un valor aproximado de la latitud de la estación⁽¹²⁾; prácticamente coincidente con el que ya contaban (37° 11' 10"), también disponían del valor de la longitud (0h 0m 12s E. M.)⁽¹³⁾.

La comprensión cabal de las operaciones practicadas por los dos ingenieros es muy complicada sin el concurso de ciertos conocimientos de astronomía geodésica. Con el objeto de facilitarle la tarea al posible lector, interesado en el asunto, parece razonable enunciar en este momento una serie de conceptos propios de esa disciplina. La localización de las estrellas⁽¹⁴⁾, sobre

la esfera celeste, se logra por medio de sus coordenadas astronómicas, un par de valores angulares que dependen del sistema de referencia elegido. De entre todas las posibles, solo se citaran las siguientes: horizontales, horarias y ecuatoriales; respectivamente asociadas al campo gravitatorio terrestre, a la rotación diaria de la Tierra y a su traslación anual alrededor del Sol. Comenzaremos describiendo el sistema horizontal, en el que son planos fundamentales el del horizonte y el vertical de la estrella. Las coordenadas de la proyección estelar, o simplemente de la estrella, son el acimut y la altura. El acimut se define como el ángulo diedro formado por el vertical de la estrella y el meridiano del lugar, se mide sobre el horizonte a partir del norte y en sentido retrógrado, su valor estará pues comprendido entre 0 y 360°. Se define la altura como el ángulo formado por la visual a la estrella y el plano del horizonte, su valor variará entre 0 y 90°. Suele emplearse asimismo la distancia cenital, un ángulo complementario del anterior. Este par de coordenadas puede medirse directamente con el teodolito, pero su principal inconveniente es que varían con el lugar y con el tiempo.

En el sistema horario son planos básicos el del ecuador y el círculo horario de la estrella. Los parámetros que localizan la estrella son en este caso la declinación y el ángulo horario. La declinación es el ángulo formado por la visual a la estrella y el plano del ecuador, se mide sobre el círculo horario y varía entre 0 y 90°, siendo positiva para el hemisferio boreal y negativa para el austral. Puede usarse con frecuencia la distancia polar que es un ángulo complementario del anterior. El ángulo horario es la medida del diedro formado por el horario de la estrella y el meridiano, se cuenta sobre el ecuador en sentido retrógrado y a partir del meridiano

lejana (=431 años luz); en cambio el Sol está a solo 8 minutos luz aproximadamente; no debe olvidarse que la velocidad de la luz es de alrededor de 300000 km/s.

⁽⁸⁾La controversia fue editada en Madrid (1897. 117 pp) con el título siguiente: Discusión habida entre el profesor de la asignatura de Topografía y Geodesia de la Escuela de Ingenieros de Minas y la Comisión nombrada para el trazado de líneas meridianas sobre la Memoria publicada por ésta en 1893. Eusebio el Busto era el profesor citado. Los miembros que firmaron las aportaciones de la Comisión fueron: Manuel Malo de Molina, Antonio Esteban Gómez, Ramón Pérez Bringas, Federico Cobo de Guzmán, Justo Martín Lunas y Juan García del Castillo.

⁽⁹⁾Se da la circunstancia de que estos dos ingenieros, junto a sus compañeros Manuel Malo de Molina (presidente de la Comisión de la Meridiana), Ramón Pérez Bringas, Federico Cobo de Guzmán y Juan García de Castillo, son los que mantendrían la controversia con el profesor Eusebio del Busto en el año 1897; ya referida al final del epígrafe anterior.

⁽¹⁰⁾Por indicaciones del Conservador del monumento, se pidió previamente la autorización correspondiente, llegando del Ministerio de Fomento a los pocos días de haber sido solicitada. La elección de la Alhambra fue además coherente por encontrarse esta en las proximidades de las tan celebradas minas de oro.

⁽¹¹⁾En la placa se materializó la posición de su centro, grabándose la palabra MERIDIANA en el borde superior. Por encima del centro se grabó el emblema del Cuerpo de Ingenieros de Minas y en la mitad inferior el año de 1890, así como el rótulo ESTACIÓN SUR paralelo a la circunferencia exterior.

⁽¹²⁾Midiendo cuatro veces la altura de la estrella α de la constelación de Escorpio. Es probable que usasen el método de alturas correspondientes, es decir observando la estrella en posiciones simétricas con relación al meridiano del lugar, ya que de ese modo se facilitaba sobremano la obtención de la latitud.

⁽¹³⁾Aunque no se especifique la procedencia de ambas coordenadas, no sería aventurado suponer que las obtuviesen en función de las del vértice geodésico existente en la catedral de Granada (como ya quedó dicho).

⁽¹⁴⁾En realidad se trata de las proyecciones de las mismas sobre la esfera celeste, puesto que es sabido que se encuentran a distancias variables. La más cercana se encuentra en la constelación de Centauro, a poco más de 4 años luz, la estrella polar en cambio es mucho más

superior, semicircunferencia que contiene al cenit. Su valor estará comprendido entre 0 y 90°, si bien es usual expresarlo en horas, variando entonces entre 0 y 24 horas. Estas coordenadas no pueden medirse más que con telescopios⁽¹⁵⁾. La relación geométrica de estas coordenadas con las anteriores es evidente a la vista del triángulo de posición ya citado, pues el ángulo en el cenit es el acimut o su complemento a 360°, siendo el ángulo en el Polo Norte Celeste el ángulo horario o su complemento a 360° (equivalentes a 24 horas). Evidentemente el acimut está indefectiblemente unido al concepto de orientación de una dirección, como el de ángulo horario lo está a la hora local. La relación analítica entre los dos sistemas se puede obtener a través de fórmulas propias de la trigonometría esférica, partiendo de que conocidos tres elementos del triángulo anterior son inmediatos los tres restantes.

De entre todos los elementos geométricos relacionados con la traslación terrestre o con el movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra, el más importante es la eclíptica, que se define como el plano que contiene al centro del Sol, al baricentro del sistema Tierra-Luna y a su vector velocidad heliocéntrica. La

intersección del ecuador y del plano de la eclíptica es la línea equinoccial, que corta a la esfera en los puntos equinociales, el punto Aries (comienzo de la primavera) y el punto Libra (comienzo del otoño). Se define la línea de los solsticios como una recta perpendicular a la anterior y contenida en el plano de la eclíptica, esta línea corta a la esfera celeste en los solsticios de verano e invierno, según se encuentre el Sol por encima o por debajo del ecuador. El plano de este y el de la eclíptica forman un ángulo llamado oblicuidad de la eclíptica, cuyo valor actual es próximo a los 23° 26'. En el tercer sistema coordenado siguen siendo planos principales el del ecuador y el horario de la estrella. Las coordenadas que localizarían la estrella son ahora la declinación, ya definida, y la ascensión recta, la cual coincide con el valor del diedro formado por el círculo horario del equinoccio de primavera y el círculo horario de la estrella, o dicho de otro modo, es la distancia angular, medida sobre el ecuador y en sentido directo, entre el punto Aries y el círculo horario anterior. Suele expresarse la ascensión recta en medida horaria, variando a tenor de su definición, entre 0 y 24 horas⁽¹⁶⁾.

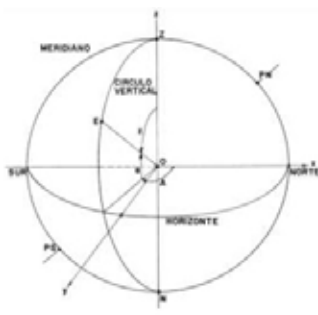
El estudio del tiempo en esta rama de la Astronomía es transcendental puesto que de él depende el hecho de fijar sin ambigüedad el instante en que se realiza cualquier observación. En el vocabulario científico y técnico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales se dice que el tiempo es la coordenada de referencia en el universo físico que, en un lugar determinado, permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro. En la medida del tiempo se consideran dos tipos de escalas, una astronómica, ligada a la rotación de la Tierra en torno a su eje, y otro grupo que podríamos calificar de físicas en cuanto pretenden cuantificar un tiempo rigurosamente uniforme, el tiempo de Newton. El tiempo astronómico depende, en lo que se refiere a su denominación, de la estrella elegida. Así definiremos la hora solar verdadera como el valor que resulta de sumar doce horas al ángulo horario del Sol, tomando como origen (cero horas) la culminación⁽¹⁷⁾ inferior del mismo. Como la velocidad de la traslación aparente del Sol no es constante y además se realiza esta por la eclíptica, la duración de los días verdaderos no es uniforme. Por ello se recurre a un Sol medio que desplazándose, imaginariamente, por el ecuador celeste es tal que la duración

⁽¹⁵⁾Aunque el valor de la declinación permanece prácticamente constante pues el movimiento aparente de la estrella, asociado al de rotación terrestre, hace que su proyección sobre la esfera celeste describa un paralelo, no ocurre lo mismo con el ángulo horario que varía con el lugar y con el tiempo, si bien de manera uniforme por el carácter relativo del movimiento de las estrellas, también denominado diurno.

⁽¹⁶⁾La ventaja fundamental de este sistema es que ambas coordenadas son independientes del lugar y del tiempo (despreciando las variaciones debidas a la precesión de los equinoccios), de ahí que sean las usadas en los catálogos y cartas celestes. Se miden estas coordenadas mediante telescopios conectados a relojes muy exactos, de modo que el montaje adecuado de los anteojos y el giro que le imprime al instrumento un mecanismo de relojería permite que la estrella se mantenga perma-

nentemente en su campo visual.

⁽¹⁷⁾Se denomina culminación a cualquiera de los pasos de la estrella por el meridiano del lugar. Hay dos tipos de culminaciones: superior e inferior, la primera se sitúa más cerca del cenit y la segunda del plano del horizonte.



Coordenadas horizontales: Acimut (A) y altura (a); y coordenadas horarias: Ángulo horario (h) y Declinación.



El plano de la eclíptica, los equinoccios y los solsticios. Las dos coordenadas del sistema ecuatorial: Ascensión recta (a) y Declinación.

de los días es constante; definiéndose la hora media como el valor resultante de sumar doce horas al ángulo horario del Sol medio en el instante considerado. La relación entre ambos tipos de tiempo está fijada por la llamada ecuación de tiempo, cuyo valor absoluto máximo es del orden de los 16 minutos. Al estar asociadas las definiciones al ángulo horario habrá que hablar de tiempo local, pues bien, el tiempo solar medio, o simplemente medio, del meridiano de Greenwich se denomina tiempo universal; comprobándose que la duración de un segundo de este tipo de tiempo es prácticamente igual que la del físico ya citado.

Hay otra medida del tiempo asociada a la rotación diurna de las estrellas, conocida como tiempo sidéreo, de modo que 24 horas sidéreas es el periodo de rotación de la Tierra en torno a su eje. Al igual que en el caso anterior se eligió al Sol, ahora se elige una estrella ficticia, tal que su ascensión recta y su declinación sean cero, es decir el punto Aries. Con ese criterio se define la hora sidérea como el ángulo horario del punto Aries, tomándose como origen (cero horas) la culminación superior de este; es entonces inmediato comprobar que la relación entre las coordenadas horarias y ecuatoriales, esto es entre el ángulo horario de una estrella y su ascensión recta, es tal que la suma de ambas coordenadas coincidirá con la hora sidérea del lugar, o lo que es lo mismo con el ángulo horario del equinoccio de primavera. Precisamente en ese instante del año coincidiría el Sol con el punto Aries. La transformación del incremento de tiempo solar medio a su homólogo sidéreo, o viceversa, se logra teniendo en cuenta la variación diaria de la ascensión recta del Sol, la única estrella en que esto ocurre, ya que por esa circunstancia un año trópico tiene 365.2422 días medios ó 366.2422 días sidéreos.

El problema del replanteo de la línea meridiana es obvio una vez conocido el acimut de la estrella, pues bastaría llevar ese ángulo en sentido contrario al de las

agujas del reloj y bascular el anteojo del teodolito, ya que en tal supuesto estaría materializando el plano del meridiano del lugar y podrían estaquillarse cuantos puntos se desearan localizar. Sin embargo surge un problema que impide proceder de esa forma, ya que la estrella no permanecería inmóvil entre el instante de su observación y el del replanteo, debido al movimiento relativo asociado al de la rotación terrestre. En cualquier caso la solución es obvia, pues bastaría elegir una referencia suficientemente alejada de la estación y medir el ángulo formado entre esa dirección y la que fija el vertical de la estrella. De esa forma, cuando se obtuviese el acimut de la estrella se obtendría después el de la referencia (sumando o restando el ángulo anterior); como esta si permanecería fija, se volvería a visar y a llevar el valor de su acimut en sentido contrario en que se evalúa esta coordenada.

La última reflexión que ha de efectuarse se refiere a la medida del tiempo, o si se quiere a la hora local (sea solar o sidérea). Al calcular el acimut de una estrella en función de su ángulo horario ha de hallarse este restando de la hora sidérea la ascensión recta de dicha estrella, la cual aparece listada en cualquier anuario astronómico. La dificultad surge al leer la hora en el cronómetro, pues no sabemos de antemano cuál sería su estado, esto es



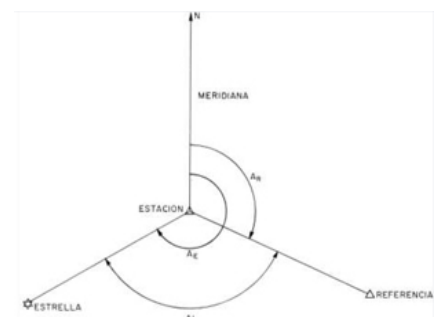
Proyección ortográfica de la esfera celeste sobre el plano del ecuador. La hora sidérea del lugar es el ángulo horario del punto Aries, es decir la suma del ángulo horario de la estrella (h) y de la ascensión recta de la misma (α). En la figura es el ángulo PNC Z.

si está adelantado o retrasado con relación a la hora real. Ese hecho es el que explica que en la mayoría de las observaciones astronómicas haya que evaluarse con cierta regularidad el estado del cronómetro, pues de esa manera podríamos deducir si su marcha es regular o no.

Las observaciones propiamente dichas comenzaron en la noche del día 19, una vez encendida la referencia roja que habían colocado por la tarde en el pretil que rodeaba la explanada de la Ermita de San Miguel Alto⁽¹⁸⁾, situada a suficiente distancia para que pudiese visarse después la estrella polar sin necesidad de tener que ajustar el enfoque del anteojo del teodolito Troughon, estacionado en la vertical del centro de la placa circular. En la memoria se resume perfectamente el proceder de los dos operadores: "a las diez aproximadamente se dio principio al trabajo, determinándose por cuatro series el acimut de la visual a la luz roja, observando la Polar; y terminado esto, y después de media hora de descanso, se enfilaron sucesivamente la luz y la α de la Virgen⁽¹⁹⁾, midiéndose cuatro alturas de la estrella y leyendo también el círculo

⁽¹⁸⁾La referencia sería perfectamente visible, habida cuenta de que la contaminación lumínica debió ser nula; aún no había llegado a Granada la luz eléctrica.

⁽¹⁹⁾También llamada Espiga, es la más brillante de la constelación de Virgo, se encuentra a unos 260 años luz del Sistema Solar.



Proyección ortográfica de la esfera celeste sobre el plano del horizonte. El acimut de la referencia se obtiene, en este supuesto, restandole al de la estrella el ángulo formado por ella, la estación y la propia referencia: $AR = AE - \Delta L$

acimutal. Resultó, por tanto, una serie para determinación del estado del cronómetro y otra de acimut²⁰”.

En la memoria se acompañan los estadillos en que figuran observables, cálculos⁽²⁰⁾ y resultados parciales de las observaciones de esa noche; uno para la determinación del estado del cronómetro y cinco más para el cálculo del acimut de la polar, cuatro para la observación de la estrella polar y otro para la estrella α Virginis. Centrándonos en la primera cuestión se constata que para cada altura (transformada de inmediato en distancia cenital) se efectúa la misma secuencia: se corrige en primer lugar por los efectos de la refracción atmosférica, se determina después la distancia meridiana⁽²¹⁾ (en el instante de la culminación superior), se obtiene la semisuma y semidiferencia de ambos valores, para calcular acto seguido la hora local. Obtenida esta se comparó con la que marcó el cronómetro en el instante de la observación y se obtuvo un primer valor de su estado. Procediendo de igual forma con las otras tres alturas se obtuvieron otros tantos valores del estado, que una vez promediados permitieron concluir que el cronómetro iba atrasado 0m 57s en el instante de la observación.

Una vez localizada la estrella polar⁽²²⁾,

se procedió a su observación en la misma noche del 19 de junio. Para ello se realizaron cuatro punterías, dos en posición normal (C.D. círculo directo o anteojo a la izquierda) y otras dos en posición inversa (C.I. círculo inverso o anteojo a la derecha)⁽²³⁾. En todos los casos se anotó la hora marcada por el cronómetro y se corrigieron por el estado del reloj (sumándole 57 s). Seguidamente se determinó la hora sidérea correspondiente a cada puntería y se les sumó la ascensión recta de la estrella, para obtener cuatro valores de su ángulo horario. Aunque en el estadillo incluido en la memoria no se dice la fórmula empleada para calcular el acimut de la Polar, es obvio que sería una transformada de la que liga directamente el acimut con el ángulo horario, con la

declinación y con la latitud de la estación:

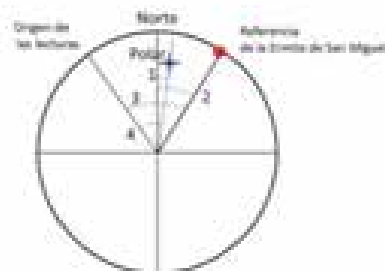
$$\operatorname{tg} A = -\frac{\cos \delta \operatorname{senh}}{\operatorname{sen} \delta \cos \varphi - \cos \delta \operatorname{sen} \varphi \operatorname{cosh}}$$

previamente transformada para poder ser calculada por logaritmos. Con los cuatro valores del acimut se procedió a evaluar los correspondientes a la referencia de la Ermita de San Miguel, una tarea inmediata al conocerse las lecturas que fijaban su posición sobre el horizonte (ver figura anterior); resultando un acimut medio de 240° 0' 44". He aquí los datos relativos a estas últimas observaciones:

Las restantes series observaciones a la estrella polar se efectuaron en torno a las 22h, a las 22h 20m y a las 23h, siguiendo el protocolo anterior tanto en la toma de datos como en los cálculos. Los valores promedios para el acimut de la referencia fueron, respectivamente, de 24° 0' 47", 24° 0' 40" y 24° 0' 36". La determinación del acimut de la Polar, y por tanto de la referencia, mediante la observación de la estrella de la Espiga (α Virgo), se realizó de acuerdo con otro procedimiento, pues intervino su altura sobre

Se añade a título de curiosidad, que la palabra septentrion procede de las siete estrellas de la Osa menor.

⁽²³⁾Cuando se procede de ese modo, siempre recomendable en la práctica de la topografía, se dice que se ha aplicado la regla de Bessel; en tal supuesto se eliminan la mayoría de los errores instrumentales.



La estrella Polar y las constelaciones que ayudan a identificarla. Se expone además el teodolito Troughton, en sus dos posiciones, y una proyección ortográfica de la esfera celeste sobre el horizonte; destacan en ella la posición de la estrella con su acimut (1), la referencia con el suyo (2) y las distancias angulares: de la referencia (3) y de la estrella (4).



⁽²⁰⁾El apartado relativo a los cálculos merece un comentario aparte, pues aunque parecen que se complican innecesariamente es obligado recordar que en aquella época no existían medios automáticos que los realizaran; de modo que ante la imposibilidad de multiplicar o dividir números con más de seis decimales, se transformaron las fórmulas trigonométricas que relacionaban unas coordenadas con otras para que se les pudiesen aplicar logaritmos. La simplificación introducida de esa manera era sobresaliente, pues las multiplicaciones se transformaban en sumas, los cocientes en restas y las potencias en un sencillo producto de un número entero por el logaritmo de la base; de ahí que figuren logaritmos en todos los estados de cálculo.

⁽²¹⁾Ese valor se obtenía directamente como diferencia entre la latitud de la estación (37° 11' 10") y la declinación de la estrella (-10° 35' 20"), al ser esta negativa la diferencia se transformaría en suma: 47° 46' 30".

⁽²²⁾La estrella polar es la más brillante de su entorno y extremo de la Osa menor, también puede considerarse que forma una línea recta con las estrellas Rucba y Mizar. Otra de las posibilidades para localizar la Polar es prolongar unas cinco veces las dos de la Osa Mayor sensiblemente alineada con ella.

DETERMINACIÓN DEL ACIMUT DE LA ESTRELLA POLAR Y DE LA REFERENCIA				
Conceptos	Anteojo a la izquierda		Anteojo a la derecha	
Hora local media	9 ^h 43 ^m 26 ^s	9 ^h 47 ^m 0 ^s	9 ^h 49 ^m 24 ^s	9 ^h 51 ^m 6 ^s
Hora corregida	9 ^h 44 ^m 23 ^s	9 ^h 47 ^m 57 ^s	9 ^h 50 ^m 21 ^s	9 ^h 52 ^m 3 ^s
Hora sidérea local	15 ^h 36 ^m 40 ^s	15 ^h 40 ^m 15 ^s	15 ^h 42 ^m 39 ^s	15 ^h 44 ^m 21 ^s
Ascensión recta	1 ^h 18 ^m 10 ^s	1 ^h 18 ^m 10 ^s	1 ^h 18 ^m 10 ^s	1 ^h 18 ^m 10 ^s
Ángulo horario	14 ^h 18 ^m 30 ^s	14 ^h 22 ^m 5 ^s	14 ^h 24 ^m 29 ^s	14 ^h 26 ^m 11 ^s
Acimut de la Polar	0°53'44"	0°54'59"	0°55'48"	0°56'23"
Lectura de la Polar	31°41'3"	31°42'10"	211°42'56"	211°43'38"
Posición meridiana	30°47'19"	30°47'11"	210°47'8"	210°47'15"
Lectura referencia	54°47'56"	54°47'56"	234°47'59"	234°47'59"
.Acimut referencia	24°0'37"	24°0'45"	24°0'51"	24°0'44"
ACIMUT PROMEDIO DE LA REFERENCIA EN LA ERMITA DE SAN MIGUEL 24° 0' 44"				

Cuadro observacional correspondiente a la noche del día 19 de junio de 1890. Obsérvese que las diferencias entre distancias angulares obtenidas en C.D. y en C.I. es de prácticamente 180o, ya que al aplicar la regla de Bessel ha de darse al anteojo una vuelta de campana y girarlo precisamente esos mismos grados, para hacer las nuevas punterías.

el horizonte en lugar del ángulo horario. Se conocían por lo tanto los tres lados del triángulo de posición y se debería de obtener el valor del ángulo en el cenit, el acimut estelar en definitiva. Al disponer, como antes, de la distancia angular de la referencia⁽²⁴⁾, se obtuvieron cuatro valores para su acimut, cuyo promedio resultó ser de 24o 0' 33".

El día 20, y casi a las mismas horas de la noche, se repitieron las observaciones para poder calcular el estado del cronómetro de tiempo medio, los acimutes de la estrella polar y los de la referencia. Las lecturas angulares se efectuaron con idéntico instrumento, en igual número y disposición que las del día anterior. Como el estado obtenido con la estrella α Virgo fue un atraso de 59s, con relación a la hora local efectiva, se concluyó que la marcha del cronómetro no era la debida. Los valores promedio obtenidos para el acimut de la referencia fueron: 24° 0' 35", en la primera serie, 24° 0' 38", en la segunda, 24o0'26, en la tercera y 24° 0' 27" en la cuarta y última. En consecuencia, se adoptó como acimut definitivo de la referencia la media aritmética de todos los promedios obtenidos en los dos días, es decir 24° 0' 35".

Obtenido el acimut definitivo de la

referencia, llegó el momento de replantear la dirección de la meridiana, o línea Norte Sur. El procedimiento era evidente, se visaba la referencia con el teodolito, colocado en la estación Sur de la Torre de la Vela, y se giraba en sentido directo justamente los 24° 0' 35". Efectuado el giro, al bascular el anteojo se estaría materializando el plano del meridiano del lugar y se podrían replantear cualquiera de los puntos localizados en su intersección con el plano del horizonte. De entre todos los posibles, consideraron los dos ingenieros de minas que el mejor sería uno situado en la fachada Sur de la casa número 29 de la placeta de San Nicolás, en pleno barrio del Albaicín. Sobre ella se fijó una placa circular análoga a la que había sido colocada en la Alhambra, con la sola diferencia de sustituir la letra S por la N; en clara alusión al extremo norte del segmento de meridiana así constituido: "el centro de la placa está a 3m.20 de altura sobre el suelo, y distancia de 3m.12 y 1m.18, respectivamente, de las esquinas E. y O. de la citada casa".

Resulta muy encomiable la profesionalidad demostrada por los ingenieros A. Esteban y J. Martín al decidir comprobar la fiabilidad geométrica de su replanteo, un trabajo tan recomendable como poco frecuente. El modus operandi era evidente: volver a determinar el acimut de la línea replanteada, el cual debería ser prácticamente nulo al coincidir con un segmento de la línea Norte Sur. Por consiguiente, las observaciones

astronómicas serían en todo análogas a las ya practicadas, a las tres series para calcular el acimut de la estrella polar y por tanto de la dirección materializada por las dos estaciones: S y N, se les añadió, entre la 2ª y la 3ª serie, la observación de la estrella Leonis Minoris con el fin de evaluar de nuevo el estado del cronómetro. En las observaciones de la Polar se realizaron tres series de cuatro punterías



Localización de la Estación Norte de la Meridiana Alhambra & Albaicín, en el entorno de uno de los miradores más conocidos de la ciudad.



La meridiana Alhambra & Albaicín, definida por dos de sus puntos: el extremo Norte en la Placeta de San Nicolás y el extremo Sur en la cubierta de la Torre de la Vela

⁽²⁴⁾ Como en las observaciones anteriores, se efectuaron cuatro punterías con el teodolito, dos en C.D. y dos en C.I.

(2 en C.D y 2 en C.I.), habiéndose obtenido su acimut en función de su ángulo horario. Para hallar la hora efectiva local, y por tanto el estado del cronómetro, se midió la distancia cenital de esa última estrella también en cuatro ocasiones. El estado del cronómetro se fijó en un retraso de 1m 8s, constatándose la marcha irregular del mismo; pues el retardo pasó de ser 2s a 9s en dos días. En cuanto a los acimutes de la meridiana, se obtuvieron los valores siguientes: 0o 0'7'' en la primera serie, 0o 0'2'' en la segunda y 0o 0'4'' en la tercera, concluyendo los dos operadores que "la señal se encuentra prácticamente en la alineación meridiana".

No obstante, todo apunta a que los dos ingenieros de minas eran plenamente conscientes de la dificultad que entrañaba ver la placa de la estación Norte desde la Torre de la Vela y el consecuente problema para hallar la declinación de las brújulas taquimétricas que pudiesen dedicarse a las demarcaciones de las pertenencias mineras o a cualquier otro uso. El caso es que fijaron seis direcciones fácilmente identificables, mediante sus correspondientes acimutes, y concurrentes en la placa que materializaba la estación Sur de la meridiana:

Es obligado recordar que en la documentación original se expresaron tales acimutes haciendo referencia al cuadrante correspondiente, aunque en esta ocasión se haya preferido transformarlos para presentarlos de acuerdo con los criterios actuales⁽²⁵⁾.

Epílogo

La actividad minera en los alrededores de Granada era recogida todavía en Boletín Oficial de Minas y Metalurgia, publicado en el año 1927. En sus páginas 598 y 599 se informaba de que el Jefe del Distrito Minero de Granada⁽²⁶⁾ había solicitado el replanteo

de una nueva meridiana, pues se conservaba únicamente el extremo Sur de la misma y no se conocían los acimutes astronómicos de otras direcciones que partieran de dicha estación. Comisionados desde Madrid los operadores necesarios, llegaron con el listado de los

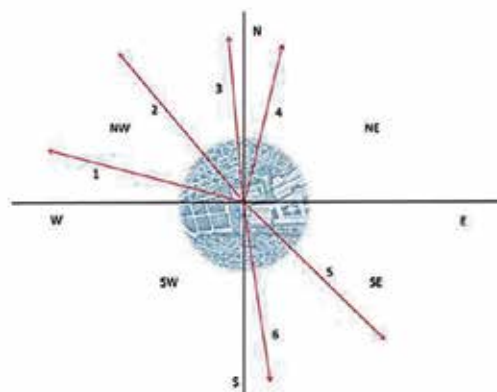
mineras no se pueden dejar de citar dos publicaciones de Luis José García Pulido: 1) El oro aluvial en la provincia de Granada, desde la minería hidráulica romana hasta las últimas tentativas de explotación en el siglo XX. Fundación IBN al-Jatib de Estudios y Cooperación cultural. 2) el artículo La minería establecida en el entorno de la Alhambra (Granada) en los siglos XIX y XX. Universidad Politécnica de Cataluña (2012). Libro de Actas del VII Congreso Internacional sobre minería y metalurgia históricas en el Sudoeste europeo (Utrillas, Teruel, 11-13 de mayo de 2012). Utrillas, pp. 175-200). La actividad minera de Granada a comienzos de la segunda mitad del siglo XIX fue del todo relevante, un buen botón de muestra fueron los 670 expedientes de concesiones que se tramitaron; el mayor de España entre los años 1856 y 1859.

acimutes que habían sido hallados en 1890. Pero su labor en la capital fue más fructífera, puesto que descubrieron la señal Norte en el mismo lugar en que fue colocada en su momento, aunque había sido blanqueada con cal, al mismo tiempo que la fachada de la casa que la soportaba⁽²⁷⁾. Los ingenieros agrandaron un poco su centro y lo pintaron de negro, "al mismo tiempo que un círculo grabado, también de unos 0.20 metros de diámetro, que tiene su centro en el punto de mira, quedando, por tanto, la antigua meridiana en condiciones de uso".

⁽²⁷⁾Se da la circunstancia de que el Carmen fue adquirido años después por el celebrado pintor George Owen Wynne Apperley, afincado en Granada entre 1917 y 1933. Su musa y esposa fue la granadina Enriqueta Contreras Carretero.

ACIMUTES OBTENIDOS EN LA VUELTA DE HORIZONTE DE LA TORRE DE LA VELA	
Golilla de Cartuja	355° 58' 13''
Torre de San Cristóbal	332° 24' 55''
Chimenea del Chinarral	282° 44' 37''
Iglesia de San Miguel	25° 13' 21''
Pico del Caballo	153° 28' 50''
Campanario de la Zubia	174° 5' 32''

El origen de los ángulos es el Norte, contados en sentido horario



1. Chimenea del Chinarral
2. Torre de San Cristóbal
3. Golilla de Cartuja
4. Iglesia de San Miguel
5. Pico del Caballo
6. Campanario de la Zubia

La imagen cartográfica es una reducción del plano de Granada (1909)



Acimutes de seis direcciones con vértice común en la estación de la Torre de la Vela, a partir de los cuales se podían declinar las brújulas taquimétricas. Se acompaña la representación gráfica de la vuelta de horizonte, apoyada sobre el horizonte de la placa que materializaba el extremo Sur de la meridiana Alhambra & Albaicín. No es demasiado aventurado suponer que para materializar alguna de esas direcciones, hubiese que haber colocado en el punto visado un heliotropo que dirigiese la luz solar hacia el teodolito estacionado en la placa Sur.

⁽²⁵⁾Las dos direcciones cardinales, NS y EW, dividen al círculo del horizonte en los cuatro cuadrantes siguientes: NE, NW, SE y SW.

⁽²⁶⁾Al referir, aunque sea de pasada, las explotaciones