BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO
2023, VOL. 134 (4), 7-29
ISSN: 0366-0176
http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/134.4/001

Boletín Geológico y Minero

RESEARCH ARTICLE

Reconstruction of the plan of mining concessions of the Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia)

Reconstrucción del plano de concesiones mineras de la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia)

Manuel Francisco Rosique Campoy[1]

[1] Departamento de Ingeniería Minera y Civil. Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 52. 30203 Cartagena. Murcia.

Corresponding author: Manuel.rosique@upct.es (Manuel Francisco Rosique Campoy)

Key points

Mining district of Cartagena-La Unión presents high cartographic complexity due to the high number and the small average area of demarcated mining concessions.

Our work methodology allows the reconstruction of the general plan of mining concessions in a precise and orderly manner.

During reconstruction, errors in the preparation of demarcation plans for mining concessions have been identified and quantified.

ABSTRACT

During the 19th and 20th centuries, the Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia) was one of the main metal ore producing districts in Europe. For the studies and projects carried out on it, it is often necessary to know the location of the mining concessions granted in a specific area and at a specific time. This article proposes a working methodology that allows the reconstruction of the general plan of concessions in a precise and orderly manner. The necessary documentation includes the demarcation plans that are part of the file of each mining concession and that collect their topographic and cartographic information. A database is created to allow its management and analysis. For the elaboration of the general plan, general working criteria are established, the concessions are represented and located by CAD and the possible presence of errors and misalignments is studied. These errors and mismatches arise both from data collection and from the preparation of the demarcation plans. They must be identified and quantified so that they can be reduced or eliminated. It is concluded that it is the magnitude of these errors that defines the scale to be used to obtain an accurate general plan. There is a very important antecedent of this work and it is the "Plan of the mines and transport routes of the term of Cartagena and La Union" made by Carlos Lanzarote at the beginning of the 20th century that, likewise, must be analyzed to determine the degree of cartographic precision that it provides.

Keywords: Cartography; Mining concession; Geodesy; Historical mining.

Article History:
Received: 11/10/2022
Accepted: 26/07/2023

Puntos clave

El distrito minero de Cartagena-La Unión presenta elevada complejidad cartográfica debido al alto número y reducida superficie media de concesiones mineras.

Se propone una metodología de trabajo que permita la reconstrucción del plano general de concesiones mineras de forma precisa y ordenada.

Durante la reconstrucción se han identificado y cuantificado los errores cometidos en la elaboración de planos de demarcación de concesiones mineras.

RESUMEN

Durante los siglos XIX y XX la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia) se constituyó en uno de los principales distritos productores de menas metálicas de Europa. Para los estudios y proyectos que se realizan sobre ella es necesario en muchas ocasiones conocer la ubicación de las concesiones mineras otorgadas en una zona y momento concreto. El presente artículo propone una metodología de trabajo que permita la reconstrucción del plano general de concesiones de forma precisa y ordenada. La documentación necesaria son los planos de demarcación que forman parte del expediente de cada concesión minera y que recogen su información topográfica y cartográfica. Se crea una base de datos que permita su gestión y análisis. Para la elaboración del plano general se fijan criterios generales de trabajo, se representan y ubican las concesiones mediante CAD y se estudia la posible presencia de errores y desajustes. Éstos provienen tanto de la toma de datos como de la realización de los planos de demarcación. Deben ser identificados y cuantificados con el fin de que puedan ser reducidos o eliminados. Se concluye que es la magnitud de estos errores la que define la escala a utilizar para la obtención de un plano general preciso. Existe un antecedente muy importante de este trabajo y es el "Plano de las minas y vías de transporte del término de Cartagena y La Unión" realizado por Carlos Lanzarote a principios del siglo XX que, igualmente, debe ser analizado para determinar el grado de precisión cartográfica que aporta.

Palabras clave: Cartografía; Concesión minera; Geodesia; Minería histórica.

Historial del artículo:
Recibido: 11/10/2022
Aceptado: 26/07/2023

Copyright: ©2023 CSIC. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License

1. Introducción

El objetivo de este artículo es proponer una metodología de trabajo que permita afrontar la reconstrucción del plano general de concesiones de un distrito minero, en nuestro caso la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia), a partir de los planos de demarcación de las concesiones otorgadas durante un periodo de tiempo determinado.

Se ha elegido este distrito minero por ser el más complejo de España, puesto que en ningún otro se demarcaron tantas concesiones de dimensiones tan distintas, en una superficie de tan poca extensión, durante un periodo de tiempo tan amplio y bajo muy distintas Leyes de Minas. La finalidad es la de obtener una metodología de trabajo que, siendo válida en el caso más complejo, pueda ser utilizada sin dificultad en cualquier otro distrito, teniendo en cuenta sus propias características.

Puesto que se pretende elaborar un plano general que permita evaluar la evolución histórica de la actividad minera es necesario realizar un breve repaso de la bibliografía publicada en este campo. Es muy numerosa la literatura que estudia la utilización de la cartografía como fuente de datos históricos desde distintos puntos de vista (Baker *and* Billinge, 1982; Cosgrove, 1999; Edney, 2019). Para tal fin es imprescindible poner a disposición del público los fondos cartográficos disponibles en las distintas instituciones (Dessens, 2018) así como facilitar la utilización de dicha información (Leyk *and* Boesch, 2009; Uhl *et al*., 2018), permitiendo el acceso de forma remota mediante la digitalización de la cartografía histórica (Tsorlini *et al*., 2014; Chiang *et al*., 2014). Son también numerosas las publicaciones que, utilizando cartografía histórica y datos actuales, estudian la evolución de zonas, tanto urbanas (Laycock *et al*., 2011; Molewski *et al*., 2018) como rurales (Kaim *et al*., 2016; Rodriguez-Aguilera *and* Domingo-Santos, 2022). También desde el punto de vista minero se han desarrollado estudios de este tipo (Calugaru, 2006; Pacina *and* Cajthaml, 2015), utilizando en muchos de ellos herramientas GIS para facilitar el proceso y mejorar los resultados (Statuto *et al*., 2016; Gatta *et al*., 2017). Por otra parte, también se han realizado estudios específicos sobre las concesiones mineras históricas desde un punto de vista administrativo (González, 2007; Fristche, 2010). Sin embargo, no hemos encontrado ninguna publicación en la que se haya desarrollado una metodología para la elaboración de un plano general, ni de concesiones mineras ni de otro tipo, semejante al que se presenta en este trabajo. Tampoco se han localizado trabajos que hayan profundizado en el estudio de los expedientes de demarcación de estos periodos.

La importancia de la actividad minera en esta sierra, que motivó su denominación como “Sierra Minera”, ha propiciado la elaboración de numerosos estudios que, en ocasiones, han necesitado contar con cartografía que situara las diferentes concesiones mineras existentes en la zona en un momento dado. Para ello en contadas ocasiones se procedió a la reconstrucción de las concesiones mineras en la zona objeto de estudio, que normalmente era de pequeñas dimensiones (Baron *et al*., 2017), aunque lo más frecuente fue recurrir, en toda su extensión o por partes, al “Plano de las minas y vías de transporte del término de Cartagena y La Unión”, realizado por Carlos Lanzarote (Orejas, 1996; Pérez de Perceval *et al*., 2012; Martínez *et al*., 2017) y del que se conocen ediciones oficiales en 1896, 1907 y 1919. Estos planos constituyen fotos fijas de la distribución de las concesiones mineras en esos años concretos. Pero teniendo en cuenta que la explotación minera de esta Sierra, en época contemporánea, comenzó en la década de 1840 y concluyó en la década de 1990, una cartografía fechada a finales del siglo XIX o principios del XX, aunque coincidiera con el periodo de máximo apogeo de la actividad minera, no puede representar la distribución de concesiones durante todo el periodo.

Por esto, con el objetivo de apoyar nuevos estudios en la Sierra Minera, es necesario disponer de un plano general que contenga todas las concesiones otorgadas y que sirva de base para obtener los planos correspondientes a cualquiera de los años en los que se produjo la actividad minera durante esta época. Esto supone un importante aporte al estudio de la minería histórica, puesto que mejora sustancialmente el conocimiento tanto de la ubicación de las concesiones como de las que estaban vigentes en cada momento, teniendo en cuenta los errores y distorsiones que se produjeron y que se pondrán de manifiesto a lo largo de este documento. A partir de este plano general, y con posterioridad a este trabajo, se propone implementar un SIG que permita, una vez eliminados o reducidos los errores citados, la obtención de planos generales de concesiones para cualquier fecha.

El proceso de trabajo consistirá, resumidamente, en la reconstrucción del plano de cada

concesión minera con los datos contenidos en su expediente de demarcación. Esta concesión se situará respecto a las colindantes y próximas, reconstruidas también con sus propios datos. La ubicación de las concesiones sobre la cartografía de base se realizará con ayuda de las visuales de referencia tomadas desde el punto de partida o de estructuras que estén reflejadas en el plano de demarcación y que hayan permanecido hasta la actualidad.

Para aplicar esta metodología de trabajo es necesario justificar unos puntos previos que permitan delimitar el fenómeno geográfico que se va a representar en el plano general, en este caso la actividad minera en la sierra de Cartagena-La Unión, repasar brevemente la legislación minera en los aspectos que le afectan directamente, así como estudiar los datos que son necesarios para ello.

1.1. Delimitación espacial

La Sierra Minera está situada en el extremo sureste de la Región de Murcia, dentro de los términos municipales de Cartagena y La Unión (Figura 1). Es una cadena montañosa litoral con una altitud máxima de 431 m y que se extiende unos 25 km de oeste a este, desde la ciudad de Cartagena al Cabo de Palos. Al norte se extiende una llanura sedimentaria.

Geológicamente se sitúa en las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas. Presenta una gran complejidad tectónica que se caracteriza por una estructura de mantos de cabalgamiento y la for-

Figura 1. Localización de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión.

Figure 1. Location of the Sierra Minera de Cartagena-La Unión.

mación de importantes yacimientos polimetálicos de Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ag y Sn. La morfología de estos yacimientos es muy variada pudiendo observarse "mantos", filones, diseminaciones y monteras (Manteca, 2013).

Los yacimientos explotados se ubican, principalmente, en la zona central de la Sierra (García, 2004), aunque existen vestigios de actividad minera en el resto de la Sierra y en la llanura al norte de ella. Esto significa que sobre toda la Sierra y parte de la llanura norte se demarcaron concesiones mineras.

Por ello, los límites de la zona a estudiar serán: por el oeste la ciudad de Cartagena, bajo la cual no se demarcaron concesiones, por el sur y el este el Mar Mediterráneo, hasta el que se extienden las concesiones, y por el norte el Mar Menor y la llanura sedimentaria. Esta última es la única zona donde no existe un límite claramente definido, por lo que se utilizará como tal el punto en el que se pierda la continuidad de la superficie demarcada. Con estos límites se estiman unas dimensiones máximas de la zona cubierta por concesiones mineras de 25 x 10 km.

1.2. Delimitación temporal

La actividad minera en la Sierra es muy antigua, datándose las primeras evidencias en el período calcolítico, entre el III y II milenio a.C. (Escamilla *and* Delgado-Raack, 2015). Se pueden resaltar dos periodos en los que la minería adquirió un papel muy importante: durante la república romana, entre los siglos III y I a.C. (Fernández *et al*., 2013) y durante los siglos XIX y XX, cuando se convirtió en uno de los mayores focos productores de metales de España (López-Morell *and* Pérez de Perceval, 2010). Esta última etapa es la que va a ser estudiada en este trabajo.

Fue a partir de 1840 cuando, definitivamente, se dispara el interés minero en la zona debido al descubrimiento en 1838 de importantes yacimientos de galena argentífera en la cercana Sierra de Almagrera, Almería (Pérez de Perceval, 1989). La gran cantidad de mineral extraído y la obligación legal de separar la plata del plomo antes de exportarlo provocó la multiplicación de instalaciones metalúrgicas en la costa mediterránea, incluida Cartagena, y la reactivación definitiva de la actividad minera en la Sierra de Cartagena-La Unión (Esteban, 1966). Esta actividad continuaría, con periodos de auge o decadencia, hasta la década de 1990 con el cierre de las últimas explotaciones mineras. Por las razones que se justificarán en el apartado siguiente el periodo temporal a contemplar en el plano general se extenderá desde la década de 1840 hasta la de 1960.

1.3. Legislación

Las sucesivas Leyes de minas vigentes durante este periodo (1825, 1849, 1859, 1868 y 1944) influyeron profundamente en las dimensiones y formas de las concesiones mineras, así como en la información recogida en su expediente de concesión.

Las Leyes de Minas de 1825 y 1849 utilizaban como unidad de distancia la vara castellana (1 vara = 0.8359 m). La Ley de Minas de 1859 y posteriores fijan la unidad de distancia en metros (sistema métrico decimal) como consecuencia de la adopción de este sistema en España a partir de la Ley de Pesas y Medidas de 19 de julio de 1849 y la Real Orden de 9 de diciembre de 1852, donde se fijaba la equivalencia entre las unidades de medida tradicionales y el sistema métrico decimal.

Las dimensiones de las concesiones dependían del tamaño de la pertenencia minera y del número de ellas que podían ser otorgadas por solicitante. Tanto las dimensiones de la pertenencia como el número a conceder fueron cambiando en función de la Ley de Minas que estuviese en vigor en cada momento. En la tabla 1 se resumen ambos datos para las distintas Leyes de Minas, centrados exclusivamente en las concesiones

Ley de Minas	Dimensiones pertenencia minera	Nº Pertenencias a conceder
1825	200x100 varas (167.18x83.59 m)	1 por solicitante hasta 3 ó 4
1849	300x200 varas (250.77x167.18 m)	1 ó 2 por solicitante hasta 4
1859	300x200 m	Las que se deseen
1868	100x100 m	4 como mínimo sin límite

Tabla 1. Dimensiones y número de pertenencias a conceder en explotaciones de minerales metálicos según las distintas Leyes de Minas.

Table 1. Dimensions and number of mining properties to be granted in metallic mineral exploitations according to the different Mining Laws.

para explotación de minerales metálicos, que fueron las que se otorgaron en la Sierra Minera.

Estas últimas dimensiones de pertenencia minera (100 x 100 m) no fueron modificadas por la Ley de Minas de 1944 y se mantuvieron hasta la Ley de 1973, ya fuera del periodo de estudio, que pasó a utilizar cuadrículas mineras delimitadas por coordenadas geográficas, siendo sus dimensiones de 20" según longitud y latitud.

Respecto a la información disponible de las concesiones mineras se debe decir que, gracias a la Ley de Minas de 1825, que creó una organización administrativa específica para la minería y asignó a ésta el procedimiento de instrucción del expediente de concesión (Fernández, 1997), en 1841 se comienza a disponer en esta zona de los planos de demarcación que formaban parte de dicho expediente. Están recogidos en Libros de Demarcaciones anuales o plurianuales.

Estos documentos, que constituyen la base del presente estudio, están depositados en las Direcciones Generales correspondientes de las distintas Comunidades Autónomas, en este caso en la Dirección General de Energía y Actividad Industrial y Minera de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, que amablemente facilitó el acceso a ellos.

La información recogida en los planos de demarcación, y que se estudiará en el apartado siguiente, fue variando tanto en cantidad, calidad y forma de presentación a lo largo del tiempo. En función de ello los planos de demarcación se pueden agrupar en cuatro periodos principales:

1º. Planos de demarcación de 1841 a 1850.

Realizados bajo la Ley de Minas de 1825. Suelen estar constituidos por una sola hoja, que incluye plano y datos, o por dos, una primera para el plano y una segunda para los datos. Las hojas no reflejaban ningún modelo oficial y la información contenida era escasa y no uniforme, variando entre concesiones.

2º. Planos de demarcación de 1851 a 1860.

Realizados bajo la Ley y Reglamento de Minas de 1849. Están constituidos por dos hojas (plano y datos). Solo la hoja de datos presentaba un formato oficial apaisado. Con el paso del tiempo va aumentando progresivamente tanto la calidad como la cantidad de información contenida en ambas hojas.

3º. Planos de demarcación de 1861 a 1863.

Realizados bajo la Ley y Reglamento de Minas de 1859. Constan de una sola hoja, con formato oficial apaisado, donde se incluyen tanto el plano de la concesión, en la parte central, como los datos, situados en ambos laterales. La información es aproximadamente la misma que en el periodo anterior.

4º. Planos de demarcación de 1864 a 1973.

Comienza este periodo con la Real Orden de 25 de febrero de 1863, que modifica el Reglamento de Minas de 1859. Están constituidos por tres hojas (plano, explicación del plano y observaciones facultativas). Excepto por pequeñas variaciones en la presentación de la información o en casos particulares, esta disposición en tres hojas se mantuvo durante todo el periodo. La información ofrecida aumenta y mejora en claridad y accesibilidad, recogiendo la totalidad de los datos que se estudiarán en el apartado siguiente. Los casos particulares eran las minas y permisos de investigación de gran tamaño y los arreglos de grupos de minas, en los que se utilizaron planos de dimensiones y escalas adecuadas y la información se incorporaba o bien en los laterales del plano o utilizando las hojas de explicación del plano y de observaciones facultativas ya comentadas. Como ejemplo de una concesión típica de este periodo, el más extenso, se incluye el plano de demarcación de la mina Caridad nº 12745 del año 1900. (figuras 2, 3 y 4). Este periodo se extiende hasta la entrada en vigor de la Ley de Minas de 1973 que modifica sustancialmente la forma de delimitar una concesión minera.

Tanto en este periodo como en alguno de los anteriores a las hojas citadas hay que añadir la existencia de una portada, pero que no ha sido comentada ni incluida porque no añadía información.

No se analiza el periodo posterior a 1973 porque en la zona de interés, la Sierra Minera, no se tiene noticia de otorgamiento de concesiones bajo esta Ley de Minas ya que las últimas corresponden a 1961. La causa es el progresivo agotamiento de los yacimientos de la Sierra, que se observa desde principios del siglo XX, y las sucesivas crisis que afectaron a la actividad minera de la zona. Lo que sí se dieron, desde la década de 1940, fueron procesos de concentración de concesiones para facilitar la extracción de minerales por explotación a cielo abierto por parte, fundamentalmente, de la Sociedad Minero Metalúrgica de Peñarroya (López-Morell *and* Pérez de Perceval, 2010). Por todo ello, y como ya indicamos anteriormente, el periodo de estudio de este trabajo se acota entre 1841 a 1961.

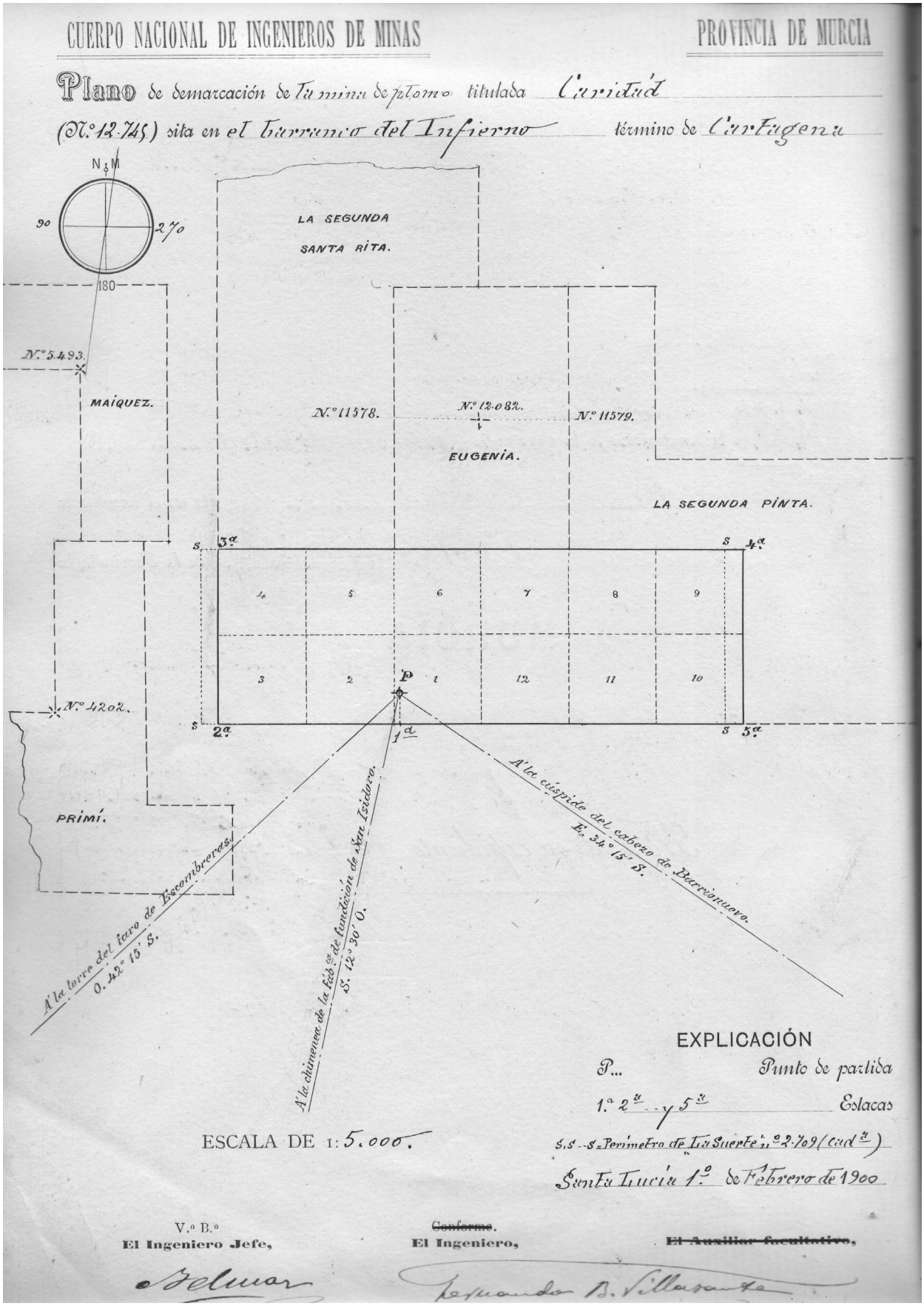
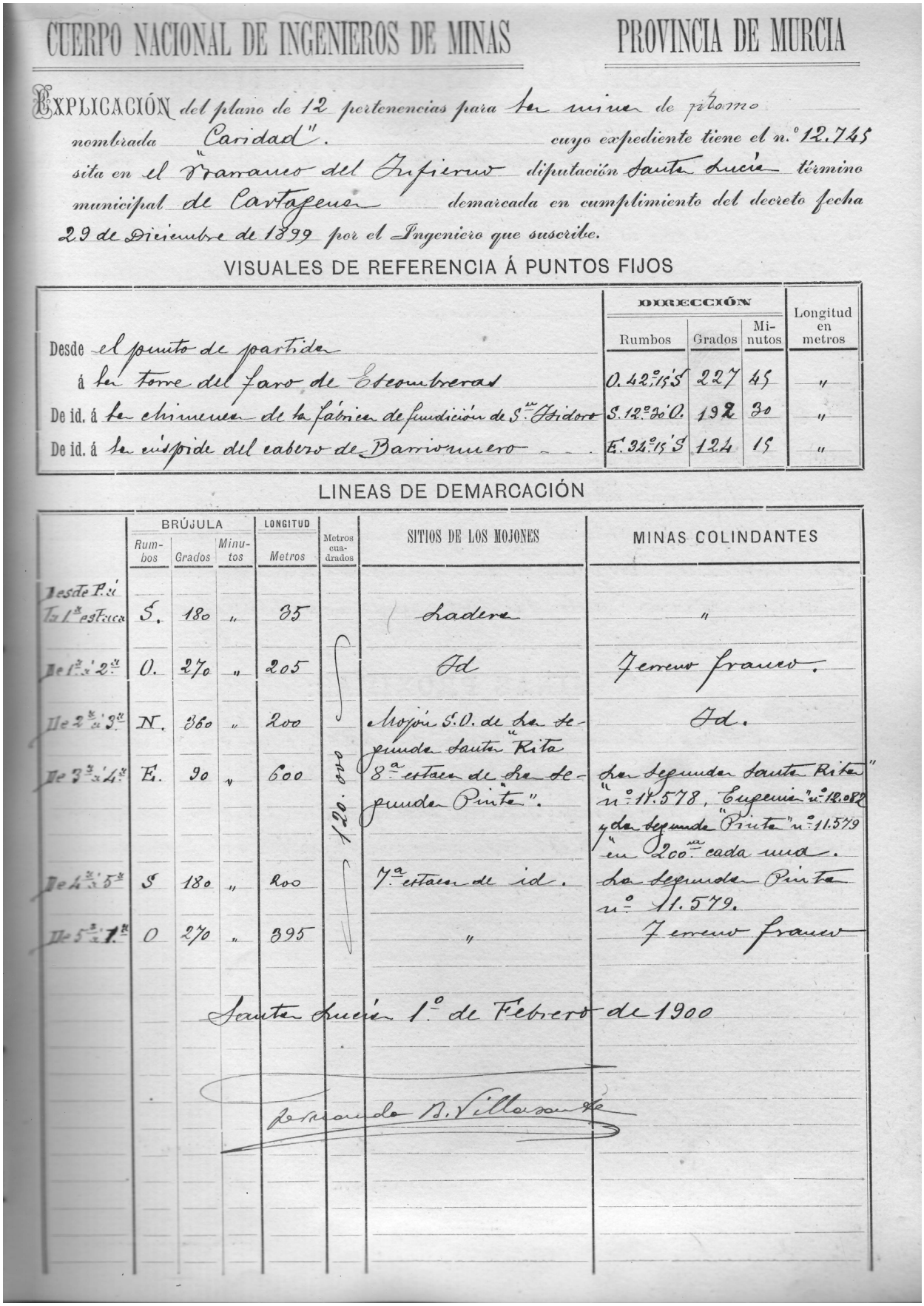


Figura 2. Plano demarcación mina Caridad nº 12745, 1900. Fuente: CARM.

Figure 2. Caridad mine demarcation plan nº 12745, 1900. Source: CARM.



CUERPO NACIONAL DE INGENIEROS DE MINAS — PROVINCIA DE MURCIA

EXPLICACIÓN del plano de 12 pertenencias para la mina de plomo nombrada "Caridad". cuyo expediente tiene el n.º 12.745 sita en el "Frarraco del Infierno" diputación Santa Lucía término municipal de Cartagena demarcada en cumplimiento del decreto fecha 29 de Diciembre de 1899 por el Ingeniero que suscribe.

VISUALES DE REFERENCIA Á PUNTOS FIJOS

	Dirección: Rumbos	Grados	Minutos	Longitud en metros
Desde el punto de partida á la torre del faro de Escombreras	O. 42°15'S	227	45	"
De id. á la chimenea de la fábrica de fundición de S.ª Isidoro	S. 12°30'O.	192	30	"
De id. á la cúspide del cabezo de Barriomero	E. 32°15'S	124	15	"

LINEAS DE DEMARCACIÓN

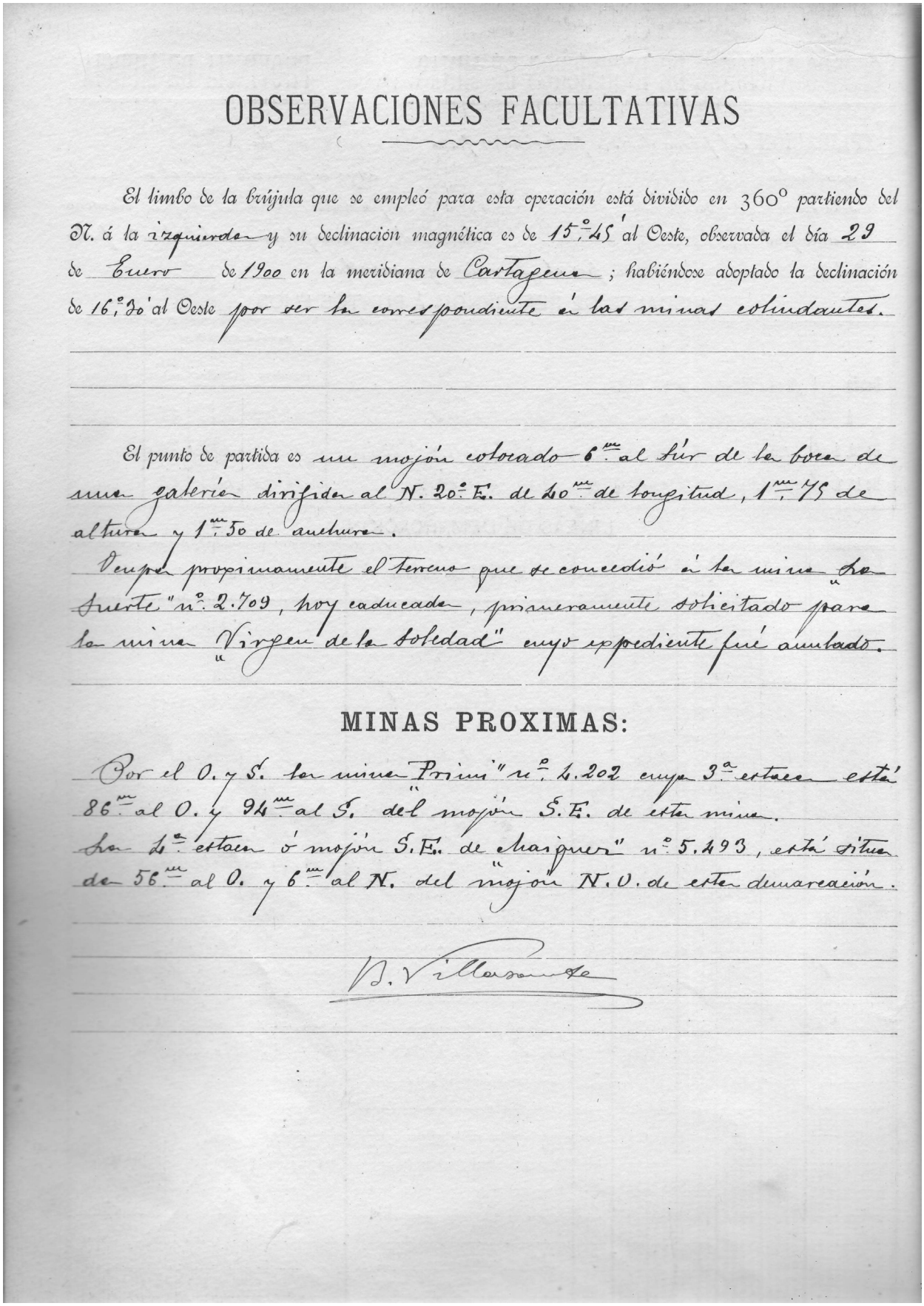
	Brújula: Rumbos	Grados	Minutos	Longitud: Metros	Metros cuadrados	Sitios de los mojones	Minas colindantes
Desde P.ú							
Ta 1ª estaca	S.	180	"	35		Cadera	"
De 1ª á 2ª	O.	270	"	205		Id	Terreno franco.
De 2ª á 3ª	N.	360	"	200	120.000	Mojón S.O. de la segunda Santa Rita	Id.
De 3ª á 4ª	E.	90	"	600		8ª estaca de la segunda Pinta".	la segunda Santa Rita" n.º 11.578, Eupenia n.º 12.082 y la segunda "Pinta" n.º 11.579 en 200 m. cada una.
De 4ª á 5ª	S	180	"	200		7ª estaca de id.	la segunda Pinta n.º 11.579.
De 5ª á 1ª	O	270	"	395		"	Terreno franco

Santa Lucía 1º de Febrero de 1900

Fernando B. Villasante

Figura 3. Explicación del plano mina Caridad nº 12745, 1900. Fuente: CARM.

Figure 3. Explanation of Caridad mine plan nº 12745, 1900. Source: CARM.



OBSERVACIONES FACULTATIVAS

El limbo de la brújula que se empleó para esta operación está dividido en 360° partiendo del N. á la izquierda y su declinación magnética es de 15°45' al Oeste, observada el día 29 de Enero de 1900 en la meridiana de Cartagena; habiéndose adoptado la declinación de 16°30' al Oeste por ser la correspondiente á las minas colindantes.

El punto de partida es un mojón colocado 6m. al Sur de la boca de una galería dirigida al N. 20°E. de 40m. de longitud, 1m.75 de altura y 1m.50 de anchura.

Ocupa propiamente el terreno que se concedió á la mina "Afortunada" nº. 2.709, hoy caducada, primeramente solicitado para la mina "Virgen de la Soledad" cuyo expediente fué anulado.

MINAS PROXIMAS:

Por el O. y S. la mina "Primi" nº. 4.202 cuya 3ª estaca está 86m. al O. y 94m. al S. del mojón S.E. de esta mina.
La 4ª estaca ó mojón S.E. de "Marquez" nº. 5.493, está situada de 56m. al O. y 6m. al N. del mojón N.O. de esta demarcación.

D. Villaescusa

Figura 4. Observaciones facultativas mina Caridad nº 12745, 1900. Fuente: CARM.
Figure 4. Facultative observations at Caridad mine nº 12745, 1900. Source: CARM.

Para dicho periodo se escanearon los expedientes de demarcación de todas las concesiones otorgadas en los municipios de Cartagena y la Unión: 4433 expedientes en total (13000 archivos). De ellos se seleccionaron los ubicados en la Sierra Minera, 3603 expedientes, que corresponden a la totalidad de los otorgados en el término municipal de La Unión y parte de los otorgados en el término de Cartagena. El paso siguiente consistió en seleccionar las minas, demasías y permisos de investigación, 3408 expedientes (10400 archivos), descartando escoriales y terreros. La razón de ello es que las citadas concesiones solo permitían la explotación de estos recursos superficiales que se agotaron pronto, en la década de 1860, y no afectaron a la demarcación de los otros tipos de concesiones que sí perduraron en el tiempo.

2. Datos y materiales

Para la elaboración del plano general correspondiente a un año concreto es imprescindible, como ya se comentó, la reconstrucción y ubicación geográfica de todas las concesiones mineras vigentes (minas, demasías y permisos de investigación) en la Sierra en ese año. Para ello es imprescindible disponer de los datos que se recogen en el plano de demarcación de cada concesión.

El proceso de tratamiento de los datos que se utilizó consistió, en primer lugar, en trasladar a formato digital todos los planos de demarcación, mediante escaneado y fotografía digital, para no deteriorar el estado de conservación de los documentos. De este formato se extrajeron los datos. Por un lado, los datos topográficos permitieron reconstruir y ubicar cada concesión, de forma individual y por años. El resto de los datos se trasladaron a una base de datos que, una vez analizada, permitió conocer la evolución histórica de los planos de demarcación y de la información contenida en ellos.

A continuación, describiremos todos los datos apoyándonos en los documentos que formaban parte del expediente de demarcación descrito para el periodo de 1864 a 1973, que es el más extenso tanto en tiempo de vigencia como en información contenida. En cualquier caso, también haremos referencias a los datos en los periodos anteriores. Pueden utilizarse las figuras 2, 3 y 4 para observar la ubicación de la información.

2.1. Plano

En este documento encontramos en primer lugar la identificación de la concesión, con nombre (elegido por el solicitante) y número (asignado por la autoridad minera). Para identificar claramente una concesión es muy importante conocer ambos datos. Se ha comprobado que el 46 % de las concesiones de la Sierra Minera compartían nombre con otras concesiones y en cuanto al número se ha observado que hasta 1860 en más del 60 % de los expedientes recogidos en los Libros de Demarcaciones no aparece reflejado el número. Es a partir de 1861 cuando ya es poco habitual encontrar una concesión que no lo aporte. Entendemos que la razón es que hasta la Ley de Minas de 1859 no se recoge explícitamente la necesidad de asignar dicho número, aunque ya se hiciese con antelación.

Se indicaba también en el encabezamiento tanto el tipo de concesión (mina, demasía o permiso de investigación) como el metal o mineral para el que se solicitaba.

También se mencionaba el paraje y municipio donde estaba situada la concesión. Esta información unida a la diputación, que se especificaba en la hoja siguiente de explicación del plano, es fundamental para la ubicación de las concesiones. Recordemos que la Sierra Minera ocupa completamente el término municipal de La Unión, pero solo la zona sureste del término de Cartagena, que presentaba más concesiones mineras en su zona oeste.

En el plano aparecerá representada tanto la concesión titular del expediente como las concesiones que la rodeaban, tanto colindantes como próximas (las no colindantes y situadas a menos de 200 m de la titular), utilizando líneas de tipo y color distinto en función de la concesión. Se indicaba la referencia angular del plano (norte geográfico o norte magnético) así como las visuales de referencia realizadas desde el punto de partida. Finalmente podían incluirse también instalaciones mineras, edificaciones, vías de comunicación, curvas de nivel, etc.

La inclusión de la escala gráfica en el plano se realizó de forma habitual desde el principio del periodo hasta finales de la década de 1880, cuando dejó de utilizarse. Entre 1852 hasta de década de 1860 es habitual encontrar dobles escalas gráficas, en varas castellanas y metros. Se extiende este fenómeno entre la adopción del sistema métrico decimal en España (1849) y la entrada en

vigor de la Ley de Minas que recoge oficialmente este sistema métrico decimal (1859).

Sin embargo, con la inclusión del valor numérico de la escala ocurre el fenómeno inverso. Hasta los primeros años de la década de 1860 solo el 11 % de los planos la indican, a partir de esta década pasa a reflejarse en prácticamente todos los planos y se convierte en la única utilizada a partir de la década de 1880.

Durante todo el periodo se marcó sobre plano el punto de partida de la concesión, así como la numeración de las estacas que la delimitaban. A partir de 1864 se le reservó en el plano un espacio específico para su explicación.

Finalmente, el plano aparece fechado y firmado.

2.2. Explicación del plano

Esta segunda hoja del expediente también aparece encabezada por la identificación de la concesión, como vimos en el plano, incluyendo el número de pertenencias mineras otorgadas, paraje, diputación y término municipal, así como la fecha de autorización del proceso de demarcación.

A continuación, se incluyen los datos correspondientes a las visuales de referencia a puntos fijos tomadas desde el punto de partida o un punto auxiliar referido a éste. Como todos los datos topográficos que definían el perímetro de la concesión, y que veremos a continuación, se apoyaban en este punto de partida era imprescindible ligarlo a puntos que se considerasen fijos y permanentes para poder ubicar la concesión o replantear el punto en caso necesario. Para tal fin eran necesarias, al menos, tres visuales si solo se observaban ángulos, o menos visuales si también se medían distancias. Anteriormente a 1864 estos datos no tenían un lugar asignado para consignarlos.

Es en la Ley de Minas de 1859 cuando se definen estas visuales de referencia por primera vez, aunque se realizaban con anterioridad. La práctica totalidad de las concesiones demarcadas antes de 1851 carecen de visuales de referencia. Entre 1851 y 1861 se realizaban una o dos visuales de referencia con medida de ángulos y en pocos casos se determinaba también la distancia. A partir de 1862, y de forma progresiva, se fue generalizando la realización de tres visuales con datos angulares. Por tanto, es a partir de esa fecha cuando empieza a ser posible la ubicación de las concesiones mineras de forma general. Un hecho distinto es la posibilidad de utilizar realmente las visuales de referencia puesto que se realizaron a construcciones o estructuras, hoy mayoritariamente desaparecidas, o a cumbres de montañas, en las que no está señalizada la cima por lo que no se conoce el punto visado con precisión.

La forma de consignar estos ángulos fue con la lectura directa del limbo de la brújula taquimétrica, fuese rumbo o no, o con lecturas angulares por cuadrante.

A continuación, se incluyen los datos topográficos de las líneas de demarcación que delimitaban la concesión. Se indican el ángulo y la distancia de las alineaciones entre el punto de partida y los sucesivos mojones, el lugar donde se situaron los mojones y la concesión colindante con esa alineación. No se dispone de más información para reconstruir la concesión.

Durante todo el periodo que cubre este trabajo en España se adoptó un sistema de referencia local (elipsoide de referencia Struve, datum Madrid, origen de longitudes meridiano de Madrid) y un sistema de proyección (proyección poliédrica) destinados a servir de base a la elaboración del mapa topográfico nacional a escala 1:50000. Sin embargo, al elaborarse los planos de las concesiones mineras no se utilizaron ni este sistema de referencia ni de proyección, independientemente del tamaño de la concesión. Tampoco están calculadas las coordenadas de los mojones en ningún sistema de referencia.

Estos datos topográficos se suelen recoger, de una forma u otra, a partir de 1851. Anteriormente son muchos los expedientes donde no se aporta esta información, por lo que resulta imposible reconstruir la concesión.

Al igual que en el documento anterior, aparece fechado y firmado.

2.3. Observaciones facultativas

El último de los documentos recoge toda una serie de informaciones adicionales, que fueron apareciendo, modificándose o desapareciendo a lo largo del tiempo. Realizaremos un breve repaso de ellas.

Características del limbo de la brújula taquimétrica: Fue el instrumento topográfico mayoritariamente utilizado. Este dato era imprescindible puesto que permitía conocer si el instrumento leía directamente rumbos o sólo lecturas angulares horizontales referidas a los ejes magnéticos que posteriormente había que

transformar en rumbos. Este dato comenzó a aportarse, o en el plano o en esta hoja, desde el principio del periodo hasta 1907. A partir de 1908, al aplicarse la orientación al norte geográfico en todo el expediente de demarcación, los ángulos, aunque continuaban midiéndose con brújula, se consignaban referidos al norte geográfico, transformados por el ingeniero que cumplimentaba el expediente, por lo que no era necesaria esta información y dejó de incorporarse.

La declinación magnética, la fecha en que fue observada y la meridiana que se utilizó: Es el valor angular que relaciona las posiciones del norte geográfico y el magnético. Estos datos comenzaron a incluirse a partir de 1880, anteriormente a esta fecha son muy pocos los expedientes de demarcación que lo incorporan. Se incluye la fecha en la que se observó la declinación magnética en la meridiana debido a la variabilidad del norte magnético, permitiendo así conocer el tiempo transcurrido entre la fecha en la que se realizó el cálculo de la declinación y en la que se realizó la toma de datos de la demarcación. Las meridianas utilizadas estaban situadas en Cartagena, Murcia, El Descargador, La Unión, El Gorguel y Mazarrón, siendo la de Cartagena la más utilizada, en más del 50 % de las ocasiones.

Descripción del punto de partida: Como ya se ha comentado, era fundamental que este punto quedase perfectamente definido y marcado sobre el terreno porque sobre él se apoyaban todos los datos topográficos que definían el límite de la concesión. Se comienza a definir en el Reglamento de 1849 asociado a la labor legal, pero es en el Reglamento de 1859 cuando ya se recoge de forma independiente. Se ubicaba mayoritariamente coincidiendo con uno de los mojones de una concesión anterior o junto a una labor o instalación minera que garantizase la permanencia y localización de éste.

Descripción de la labor legal realizada: Labor legal era como se denominaba a los primeros trabajos mineros (excavación, pozo, galería, etc.) realizados en la concesión y a los que obligaban las Leyes de Minas previas a la de 1868, necesarios para constatar la presencia de mineral. Por tanto, posteriormente a esta fecha dejó de aportarse dicha información.

Información geológica y mineralógica del yacimiento: Está relacionada con la obligación de demostrar la existencia de mineral. Aunque la Ley de Minas de 1868 eliminó este requisito volvió a ser obligatorio con la Ley de 1944. La información geológica del yacimiento (edad de la formación geológica, roca dominante y tipo de criadero) no se recogió de forma continua ni completa. De 1851 a 1878 la incluyeron el 31 % de los expedientes, de 1879 a 1903 no la incluyó ninguno y de 1904 a 1961 la incluyeron el 88 % de los expedientes. La información mineralógica de la sustancia a explotar se consignaba en el plano y en la explicación de éste (en los encabezamientos) y en la hoja de observaciones facultativas (al describir la labor legal o de forma independiente) y aparece en el 69 % de los expedientes. Desde 1841 aumenta progresivamente el porcentaje de expedientes que la incluían para, a partir de 1907, incluirla todos. Los que no lo incorporaban eran, fundamentalmente, las demasías. Hierro, con el 58 %, y plomo, con el 36 %, fueron las sustancias más denunciadas.

Distancia a minas próximas: Se medía desde algún elemento de la concesión demarcada (punto de partida, mojón o alineación) a alguno de los mismos elementos de las concesiones próximas. Aunque fue la Real Orden de 1863 la primera normativa que contempla oficialmente la incorporación de estas concesiones al plano, ya se incluían, al igual que las colindantes, desde el principio del periodo estudiado. La presencia o no de esta información dependía de la existencia o no de estas concesiones. De 1904 a 1911 se incorporó, de forma puntual, una cuarta hoja al expediente. Se trataba de un segundo plano, denominado de deslinde, en el que se representaba gráficamente esta información.

Si la nueva concesión ocupa el espacio anteriormente demarcado para otra: No existió ningún apartado donde recoger esta información. Por tanto, dependía del instructor del expediente la inclusión, tanto en esta hoja como en el plano, de concesiones ya caducadas situadas en la superficie que se demarcaba.

No toda esta información se incluía siempre en todas las concesiones y varió a lo largo del periodo. Anteriormente a 1864 esta información aparecía en parte y organizada de forma diferente. Además, irá disminuyendo sensiblemente conforme nos remontamos hacia la década de 1840.

2.4. Plano de las minas y vías de transporte del término de Cartagena y La Unión de Carlos Lanzarote

Finalmente, como parte de los datos y materiales disponibles de la distribución de las conce-

siones mineras debemos comentar el plano realizado por Carlos Lanzarote.

Se conocen tres ediciones oficiales, las editadas en 1896, 1907 y 1919. Las dos primeras a escala 1/10000 y la última a 1/20000. Se representaban las minas identificándolas exclusivamente por su nombre, pero no incluyendo su número, por lo que surgen numerosos problemas de identificación debido a la repetición de nombres. Las demasías se relacionaban con la mina a la que se asignaban mediante una flecha. En todas las ediciones se incluían los núcleos urbanos, vías de comunicación, ramblas y límite de costa. En algunas ediciones se incorporaban también las fundiciones de plomo, las máquinas de vapor y los motores eléctricos instalados.

3. Metodología: reconstrucción del plano general de concesiones mineras

Una vez justificada la necesidad de elaborar el plano general de concesiones, delimitada temporal y superficialmente la zona de trabajo y descritos los datos a utilizar, el paso siguiente será la reconstrucción de los planos parciales de cada una de las concesiones que se otorgaron y su ubicación en el plano general. Para ello hemos utilizado un CAD por la amplitud de herramientas de dibujo que posee, la posibilidad de estructurar la información por capas y la facilidad para trasladar la información, posteriormente, a un SIG.

Como hemos visto, cada concesión minera se definía en un sistema de referencia relativo en el que el punto de partida se relacionaba con una serie de puntos fijos, mediante los ángulos de las visuales de referencia, y este, a su vez, con los sucesivos mojones del perímetro de la concesión mediante ángulos y distancias. Por ello, una vez reconstruida la concesión con estos datos y orientada al norte geográfico, si se hacen coincidir las visuales de referencia con los puntos fijos respecto a los que se midieron, estando éstos representados en una cartografía en un sistema de referencia dado, ya se puede considerar la concesión en dicho sistema de referencia.

Por tanto, el procedimiento de reconstrucción del plano general consistió en utilizar una cartografía de base en sistema ETRS89, tomada del IGN, y sobre ella trasladar la concesión minera reconstruida con el proceso antes descrito.

Con el mismo criterio se reconstruyeron todas las concesiones colindantes y próximas que aparecían recogidas en el plano. Para éstas últimas se utilizaron los datos de “distancias a minas próximas” recogidos en la hoja de observaciones facultativas. Con el fin de confirmar la ubicación de la concesión sobre la cartografía se utilizaron también elementos representados en el plano y que continuasen existiendo en la actualidad. Ya se ha comentado anteriormente la dificultad que entraña este proceso.

Esta labor fue ciertamente compleja debido al número y a la superficie de las concesiones. En la Sierra se otorgaron más de 3300 concesiones, aunque simultáneamente no existiesen más de 1200. La superficie media de las minas era pequeña, ya que para todo el periodo se estimó en torno a las 12 ha, aunque más del 50 % de ellas presentaba una superficie menor o igual a 6 ha. En el caso de las demasías la superficie media estaba en el entorno de las 2 ha. (Rosique, 2023).

Con el fin de realizar dicho proceso, de la forma más ordenada posible, se deben utilizar como guía los índices de los Libros de Demarcaciones, donde aparecen archivados cada uno de los planos de demarcación.

Para guiar la reconstrucción de los planos parciales se deben fijar una serie de criterios que dirijan y ordenen el largo proceso de representar los 3408 expedientes otorgados en la Sierra.

El primer criterio a fijar consiste en decidir el orden en el que se realizará el proceso: representar las concesiones de las más antiguas a las más modernas o en el orden opuesto, comenzando por las más modernas. Para decidirlo se analizarán dos periodos representativos, al principio (a) y al final (b) del estudiado, y en función de los resultados se adoptará el criterio más adecuado.

a) De 1841 a 1859. Coincide con los dos primeros periodos descritos para los planos de demarcación. Se demarcaron 586 concesiones en la Sierra de las que del orden del 50 % presentan problemas para ser representadas por falta de datos. Las que sí pueden serlo no pueden ser orientadas al norte geográfico por carecer de declinación magnética. Todas son concesiones de pequeño tamaño (superficie media 2.8 ha) y están agrupadas en la parte central de la Sierra. La precisión angular de los datos se estima del entorno de 1º (Figura 5).
b) De 1950 a 1961. Se demarcaron 45 concesiones (superficie media 270 ha), muchas de ellas grandes permisos de investigación dados bajo la Ley de Minas de 1944. Los pla-

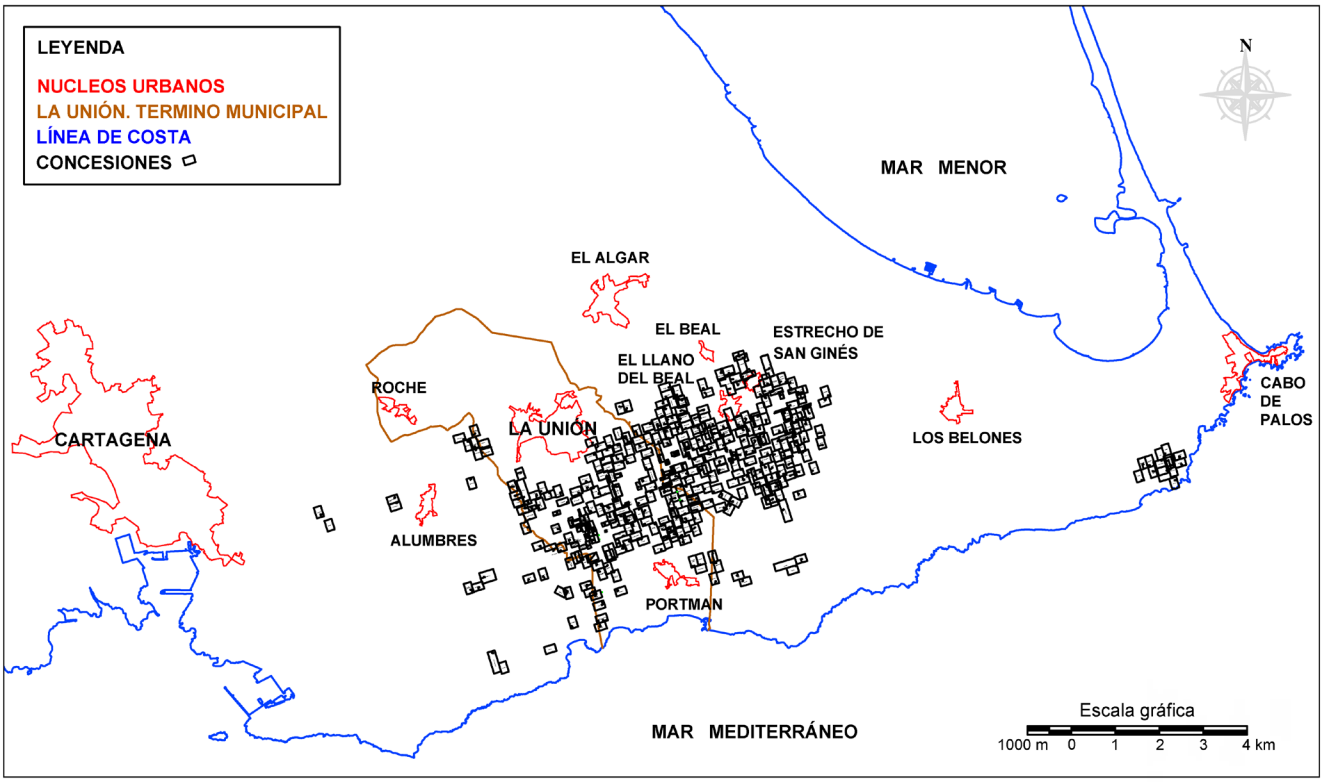


Figura 5. Concesiones mineras demarcadas en la Sierra de Cartagena-La Unión de 1841 a 1859.
Figure 5. Demarcated mining concessions in the Sierra de Cartagena-La Unión from 1841 to 1859.

nos de demarcación contienen toda la información necesaria de la concesión y de las colindantes y próximas, llegando a poder representarse con estos datos un total de 404 concesiones. Además, en muchos casos se informa también de las concesiones caducadas que existían en esa zona. Se distribuyen por toda la zona de interés. Están orientadas al norte geográfico. La precisión angular estimada es de 1´ (Figura 6).

Todo lo descrito y observado en las figuras 5 y 6 lleva a optar por la opción b, comenzando la reconstrucción por las concesiones más modernas y continuando hacia las más antiguas.

Este será el primer criterio a utilizar, pero debemos establecer otros que nos permitan seguir el proceso de reconstrucción de forma clara y reproducible. Resumidamente, el resto de los criterios serán:

- Las concesiones más modernas se consideran siempre más precisas que las antiguas.
- Se utilizarán siempre los datos propios de cada concesión para representarla.
- Se reproducirá fielmente la posición de concesiones reflejada en los planos de demarcación tanto en orientación como en distancias.
- La referencia angular del plano general será el norte geográfico, por lo que las concesiones que no dispongan de datos para ser orientadas a esta referencia lo serán con ayuda de concesiones colindantes más modernas y que sí puedan orientarse.
- Se representarán las distintas versiones que de una misma concesión se puedan haber otorgado a lo largo del tiempo.
- Se dibujarán las visuales de referencia indicadas para ayudar en la ubicación de la concesión.
- Es necesario establecer el tiempo de vigencia de cada concesión. Como fecha de inicio se utiliza la del expediente de demarcación. Como el expediente no incorpora la fecha de cancelación o caducidad de la concesión, ésta se considerará cancelada o caducada cuando sobre su superficie se otorgue una concesión más moderna.

Estos criterios generales se respetarán durante todo el proceso de reconstrucción de manera

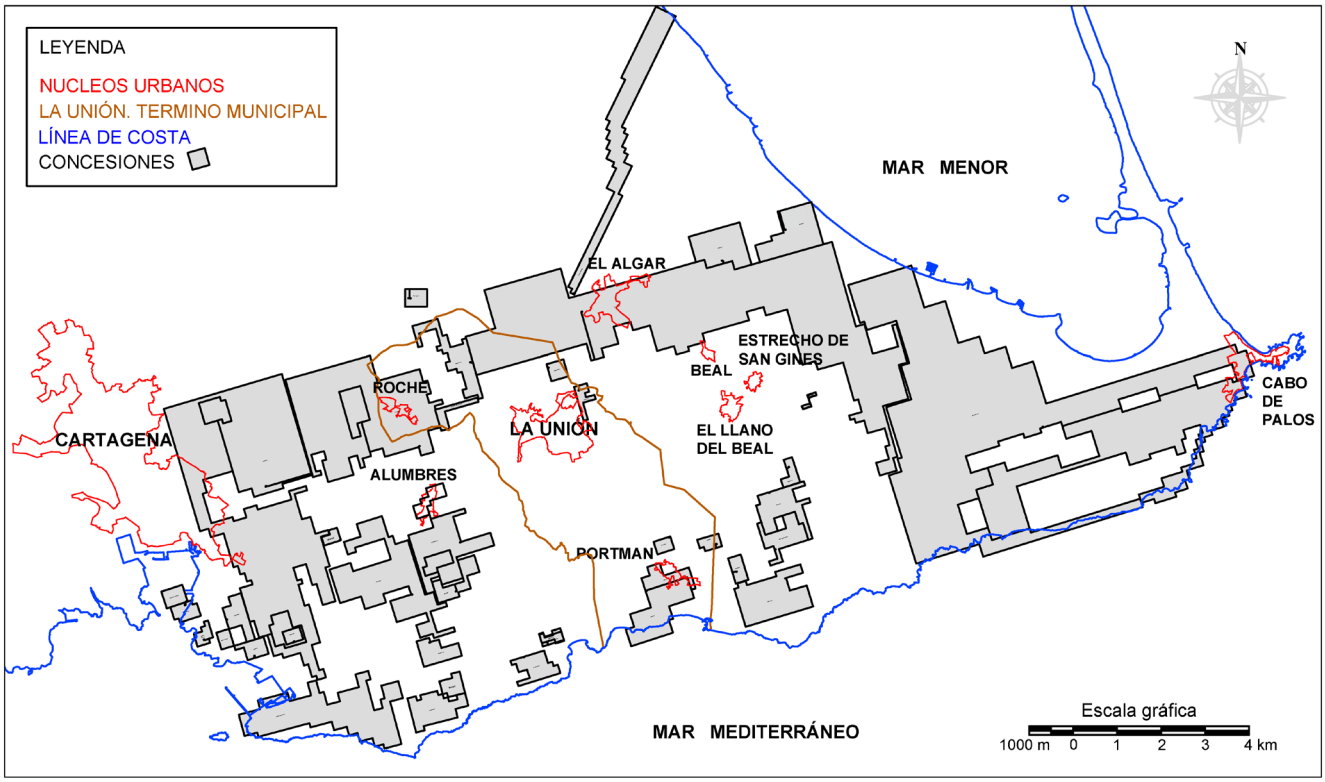


Figura 6. Concesiones mineras demarcadas en la Sierra de Cartagena-La Unión de 1950 a 1961.
Figure 6. Demarcated mining concessions in the Sierra de Cartagena-La Unión from 1950 to 1961.

que, una vez terminado el plano general, se pueda determinar su precisión e intentar identificar y cuantificar los errores que puedan aparecer. Lo esperable es que dado el elevado número de concesiones otorgadas en un periodo tan largo de tiempo la casuística crezca exponencialmente y se produzca acumulación de errores.

4. Resultados

En este apartado repasaremos los resultados obtenidos en este estudio. Comenzaremos estimando, en función de las características de los equipos topográficos utilizados, cuales serían los errores accidentales más probables al realizar las mediciones topográficas. Nos detendremos también en determinar cómo puede afectar a la reconstrucción del plano general la utilización del norte magnético y la brújula taquimétrica. Finalmente se identificarán y cuantificarán los errores detectados en la elaboración del plano.

4.1. Estimación de errores en ángulos y distancias

De toda la información disponible en el expediente de una concesión minera la imprescindible para su reconstrucción en el plano general son los datos topográficos. Estos permitirán, como hemos comentado, representarla y ubicarla correctamente. Por tanto, de la precisión de dichos datos dependerá la calidad de cada plano particular y, por extensión, del plano general.

Estos datos topográficos serán los ángulos y distancias que fueron tomados en campo con instrumentos topográficos durante la demarcación de la concesión, por ello es importante conocer estos instrumentos para estimar, cuando sea posible, las precisiones alcanzadas.

El instrumento topográfico que se utilizó fundamentalmente para la demarcación de concesiones mineras en la Sierra fue la brújula taquimétrica, como se recoge en más del 98 % de los expedientes en los que se indica el instrumento utilizado y que corresponden al 82 % del total de los 3408 expedientes estudiados. En mucha menor medida se utilizaron taquímetros o taquímetros-brújula.

En ningún expediente se indicaban las características técnicas de los instrumentos utilizados y que son necesarias para estimar los errores cometidos en la medida de ángulos y distancias. Por ello se ha optado por acudir al archivo de instrumentos topográficos del Instituto Geográfico

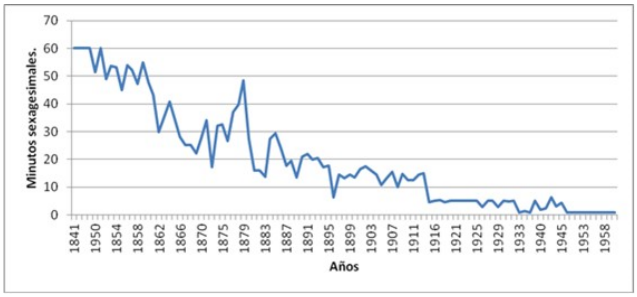


Figura 7. Precisión angular media de instrumentos topográficos. Sierra Cartagena-La Unión. 1841-1961.

Figure 7. Mean angular precision of surveying instruments. Sierra Cartagena-La Union. 1841-1961.

Nacional para localizar los correspondientes a la época y (Flor, 2011) para obtener las características técnicas más probables.

Para la estimación de errores angulares y de distancia se utilizarán 100 m como distancia de visual por las siguientes razones: en la Sierra más del 66 % de las concesiones se solicitaron bajo el Decreto-Ley de Bases de 1868 y Leyes de Minas posteriores, por lo que la superficie de las pertenencias era 100 x 100 m, la complicada orografía de la zona no permite visuales de gran distancia y, finalmente, las características técnicas estimadas para los instrumentos topográficos utilizados no permitían medir distancias máximas en condiciones óptimas muy superiores a dicha distancia.

En el caso de los ángulos la graduación utilizada por los instrumentos fue siempre sexagesimal. Todos los ángulos recogidos en los expedientes, tanto para orientación como para determinación de los límites de la concesión, son horizontales, es decir, medidos sobre el circulo graduado horizontal del instrumento topográfico. Los ángulos verticales no aparecen reflejados puesto que se utilizaban para el cálculo de desniveles, que aquí no son necesarios, y para el cálculo de distancias horizontales, que aparecen anotadas directamente y que se repasarán más adelante.

Como ya hemos comentado, los expedientes no recogen las características de los instrumentos por lo que para determinar la precisión angular se ha optado por observar, en cada expediente, la máxima precisión angular indicada y con ella construir la Figura 7. En ella se puede observar el paso de precisiones desde el entorno del grado en la década de 1840 al minuto en la década de 1940 y posteriores.

Con estos valores y las características técnicas más probables se estima que el error accidental máximo en mediciones angulares al realizar visuales de 100 m iría desde valores superiores a 1 m en la década de 1840 a valores de 0.02 a 0.03 m en las décadas de 1940 a 1960 (Domínguez, 1993).

Pasamos ahora a estudiar las distancias. Las que se recogen en los expedientes son siempre horizontales, al igual que los ángulos, ya que también es horizontal la superficie oficial de una concesión minera.

Según las características deducidas para los instrumentos, en un terreno irregular y con una buena práctica topográfica se estiman errores accidentales máximos del orden de 0.8 m en la década de 1840 y de 0.50 m en las últimas décadas (Domínguez, 1993).

Si componemos ambos errores, angular y distancia, para una visual de 100 m estamos ante valores de error máximo aproximados que irían desde 1.5 m (década de 1840) a 0.5 m (últimas décadas).

4.2. Utilización del norte magnético

La orientación del plano que mayoritariamente se utilizó durante este periodo fue el norte magnético y se representó gráficamente en el plano mediante distintos elementos.

La orientación inmediata al norte magnético de los ángulos medidos por una brújula facilitaba el trabajo de campo, pero generaba problemas debido a que esta referencia no es fija.

Como sabemos, la aguja imantada de la brújula sigue en todo momento la dirección de las líneas de fuerza del campo magnético terrestre y cuyos polos, que se desplazan continuamente, no coinciden con los polos geográficos, que consideramos fijos. Por ello, la referencia al norte magnético es variable en el tiempo mientras la referencia al norte geográfico es fija y es la que se utilizará en el plano general.

El ángulo existente entre ambas referencias, geográfica y magnética, se denomina declinación magnética y comenzó a medirse sobre meridianas y a incluirse en los planos de demarcación a partir de 1880, lo que supone que solo el 46.5 % de los expedientes disponen de esta información. Como el desconocimiento de la declinación magnética impide la orientación al norte geográfico, las concesiones anteriores a esta fecha no podrían ser orientadas ni incluidas en el plano general. Para solucionar este problema se optó por utilizar la orientación con la que estaban repre-

sentadas en planos correspondientes a otras concesiones posteriores a 1880.

Por otra parte, al no ser fijo el norte magnético tampoco lo es la declinación magnética y esta variabilidad puede ser de distintos tipos (Domínguez, 1993): secular (para una zona variará decenas de grados sexagesimales hasta adoptar el mismo valor tras un periodo aproximado de unos setecientos cuarenta años), anual (no es constante, con valores medios del orden de 7´ a 8´), mensual (varía entre las distintas estaciones), diaria (puede oscilar entre 8´ y 20´), además existen perturbaciones generales (tormentas geomagnéticas provocadas por la actividad solar) y locales (estructuras metálicas, corrientes eléctricas, yacimientos de minerales metálicos, etc.) que suponen alteraciones generales o puntuales en zonas concretas.

En los expedientes de demarcación solo aparece citada la existencia de una perturbación magnética local en la Sierra, aunque es posible la existencia de otras no detectadas. Se localizó en 1905 en el Lomo y Barranco de los Lobos, diputación del Algar, Cartagena. En la nueva demarcación de las minas Segunda Emilia nº 923 y Torrente nº 237 se menciona la utilización de un teodolito debido a la observación de perturbaciones magnéticas. En esta zona se realizaron anteriormente 62 demarcaciones que no aparecen modificadas, aunque es posible que la perturbación ya existiese.

Además de estas fuentes de error conocidas la metodología de trabajo aplicada en la demarcación de concesiones generaba otras fuentes de error que fueron estudiadas.

Tanto el tiempo transcurrido entre el acto de declinación de la brújula y la toma de datos como la distancia entre la meridiana y la zona de medición no introdujeron errores relevantes y se estima que no superaron los 10´.

También se ha observado que en el acto de declinación de la brújula se produjeron errores que llegaron a ser importantes. Se han detectado numerosos casos en los que los valores de declinación varían enormemente entre observaciones realizadas en la misma meridiana, constatándose diferencias de más de 2º en menos de dos meses y llegando al extremo de una diferencia de 1º 45´ entre dos observaciones realizadas el mismo día y en la misma meridiana.

Debido al comportamiento descrito para la referencia al norte magnético se impuso la necesidad de utilizar como orientación habitual en los

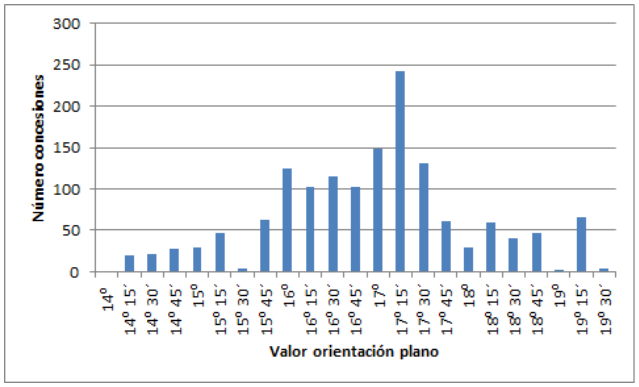


Figura 8. Orientaciones de las concesiones mineras en la sierra de Cartagena-La Unión.

Figure 8. Orientations of mining concessions in the Sierra de Cartagena-La Unión.

planos de demarcación el norte geográfico, como se recoge en una comunicación de la Junta Superior Facultativa de Minas incorporada en la exposición del Real Decreto de 22 de abril de 1881. Dicha orientación al norte geográfico comienza a utilizarse en los expedientes en la década de 1890 y pasa a ser la única a partir de la década de 1900. A pesar de ello, los datos continuaban tomándose con brújula, referidos al norte magnético, y se transformaban posteriormente al norte geográfico, por lo que continuaban conteniendo todos los problemas inherentes a la utilización del norte magnético repasados anteriormente.

La declinación magnética de la zona durante todo el periodo estudiado fue occidental, es decir, el norte magnético estaba situado al oeste del geográfico. En la Figura 8 se recogen las orientaciones de las concesiones. La más habitual es 17º 15´oeste, aunque se distribuyen entre los 14º y los 19º 30´.

Las primeras concesiones demarcadas, las otorgadas en las primeras décadas del periodo (mitad del siglo XIX), se situaron sobre las zonas más ricas de la Sierra y, debido a su permanencia en el tiempo, forzaron la orientación general de las concesiones demarcadas posteriormente.

4.3. Errores detectados en el proceso de reconstrucción

Al tiempo que se estudiaba cada expediente y se representaban todas las concesiones reflejadas en el plano, siguiendo los criterios fijados anteriormente, comenzaron a aparecer errores. Éstos se hacían evidentes al comparar las concesiones (su posición, forma, dimensiones, etc.) representadas en los planos de demarcación y las reconstruidas en el plano general según sus propios datos de

demarcación. Se fue tomando nota tanto del tipo como de la cuantía del error para poder establecer una clasificación. Es cierto que todos los errores están interrelacionados, pero en esta distribución se intenta atender al origen inmediato del error.

– Errores en los planos de demarcación.

Son los que se observan en el propio plano: la representación de las concesiones, las visuales de referencia, etc. Se identifican fácilmente y no afectan a la reconstrucción.

– Errores en los datos del expediente de demarcación.

Se observaron tanto en los datos identificativos de la concesión, que no afectan a la reconstrucción porque también son fácilmente identificables, como en los topográficos que definían el perímetro de la concesión, que sí afectan a la reconstrucción. Se han encontrado errores máximos en el entorno de 5 m.

– Errores en la orientación de las concesiones.

Están generados normalmente por la utilización del norte magnético y su variación en el tiempo, como se describió en el apartado anterior. Esto provocó la utilización de orientaciones distintas para sucesivas representaciones de la misma concesión, hecho que repercutía en las concesiones colindantes provocando pises (superposiciones entre concesiones) y terrenos francos (superficies no otorgadas entre concesiones). Aunque existen bastantes casos en los que la autoridad minera detectó el error y corrigió la posición de la concesión y sus colindantes, en otros muchos casos no se tuvo en cuenta y se limitaron a volver a representarlas en los sucesivos planos con la nueva orientación obviando pises y terrenos francos. Se ha estudiado el efecto de este error en grupos de minas comparando la situación reflejada en el plano de demarcación, donde aparece una concesión y todas las colindantes y próximas, con la reconstrucción realizada atendiendo a los datos que figuran en el expediente de cada concesión. Se ha utilizado esta misma técnica con el resto de los errores que se describirán a continuación. En este caso se han cuantificado errores máximos del orden de 15 m.

– Errores en las dimensiones de las concesiones.

Se han utilizado siempre las dimensiones recogidas en los planos de demarcación de cada concesión y al reconstruir determinadas zonas se producen pises y/o terrenos francos entre concesiones que no aparecen en el plano. En otras ocasiones estas dimensiones hacen imposible la coincidencia de los mojones del límite de una concesión con los de concesiones colindantes, como se afirma en su expediente de demarcación. En general, la cuantía máxima de los errores no superaba los 40 m.

– Errores por desplazamiento de las concesiones.

Por lógica, mientras no se modifique oficialmente una concesión ésta debe permanecer inalterable en dimensiones y ubicación. Si se detectaba algún error en la demarcación se procedía a la rectificación de la concesión, desplazándola o modificando sus dimensiones. Existen muchos ejemplos de estas rectificaciones, pero se debe tener presente que, mientras no se detectaba el problema, se podían seguir demarcando concesiones en la zona que se apoyan en esta configuración incorrecta. En la reconstrucción se han localizado casos en los que una concesión se desplazaba, sin que existiese rectificación que lo justificase, con lo que aparecían o desaparecían terrenos francos que podían ser declarados demasías y que, a su vez, podían modificarse o desaparecer con nuevos desplazamientos de la concesión. Así, la modificación de la posición de la concesión afectaba al conjunto de concesiones de la zona de forma definitiva o temporal. Se han identificado errores máximos de hasta 50 m.

– Errores por la distancia entre concesiones.

Estas distancias se incluyeron en la hoja de observaciones facultativas del expediente de demarcación de numerosas concesiones a partir de 1864 y en ocasiones se incluía un plano de deslinde específico para representarlas. Se medían según los mismos ejes que utilizaba el plano y desde elementos de la concesión titular (punto de partida, mojón o alineación), hasta esos mismos puntos correspondientes a las concesiones colindantes o próximas. Se llegan a comprobar errores mayores de 100 m.

En la tabla 2 se resumen los tipos y cuantías de errores encontrados.

Una vez estimada la magnitud de los errores podemos intentar determinar la dirección en la que se disponen. Para ello, durante el proceso de reconstrucción del plano general se fueron uniendo con segmentos puntos que debían coincidir y

	Plano	Dato	Orientación	Dimensión	Desplazamiento	Distancia
Error máximo	No influye	Menor de 5 m	Menor de 15 m	Menor de 40 m	Menor de 50 m	Mayor de 100 m

Tabla 2. Tipos de errores y cuantía.

Table 2. Types of errors and amount.

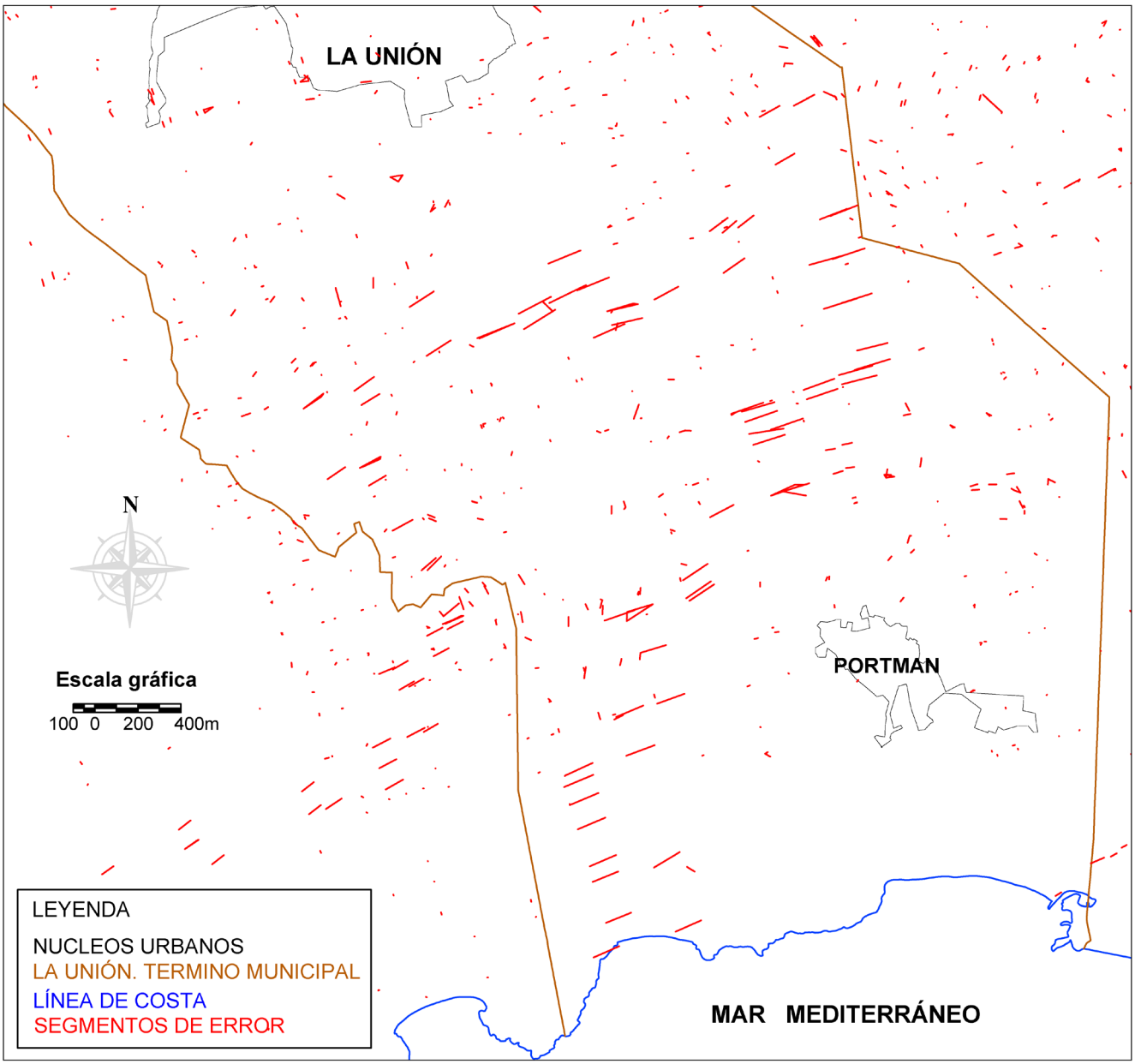


Figura 9. Segmentos de error encontrados en la reconstrucción del plano general de concesiones de la Sierra de Cartagena-La Unión. Zona sur del término municipal de La Unión.

Figure 9. Error segments found in the reconstruction of the general concession plan of the Sierra de Cartagena-La Unión. South zone of the municipal area of La Unión.

que correspondían a concesiones colindantes. El resultado se puede observar en la Figura 9.

Para elaborar dicha figura se ha seleccionado una de las zonas de mayor concentración de concesiones, la parte sur del municipio de La Unión. No se representan la totalidad de los segmentos de error, sino solo los que se han creído necesarios para mostrar su distribución. Se observan

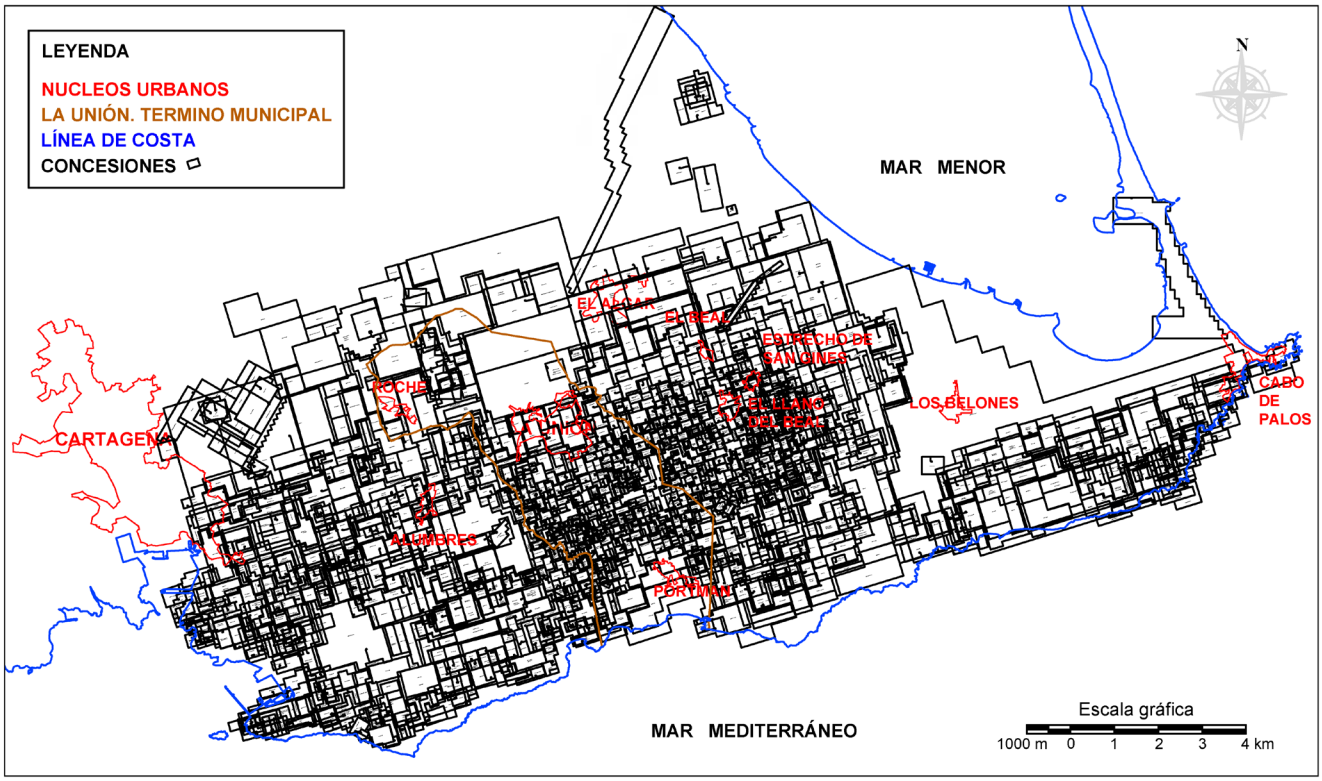


Figura 10. Concesiones mineras demarcadas en la Sierra de Cartagena-La Unión de 1841 a 1961.
Figure 10. Demarcated mining concessions in the Sierra de Cartagena-La Unión from 1841 to 1961.

claramente los de mayor cuantía, correspondientes a los errores de distancia entre concesiones, con una dirección predominante ENE-OSO y el resto de los tipos de errores sin una dirección dominante. Por otra parte, se refleja perfectamente la dirección general de las concesiones mineras. Se observan también islas de menor error, limitadas por zonas de grandes errores, que son debidas a los criterios generales de reconstrucción enunciados anteriormente. Según ellos, se situaban las concesiones más modernas y, mediante las distancias entre concesiones, todas las recogidas en su expediente y que servían como nuevos núcleos de crecimiento del plano general.

El gran problema es que, a priori, no se conoce qué distancias entre concesiones contienen errores y, sin ellas, es enormemente complejo reconstruir el plano general.

Finalmente, en la Figura 10 se presenta el plano general de concesiones mineras de la sierra de Cartagena – La Unión reconstruido. La superficie total cubierta por las concesiones asciende a 18500 ha.

Para determinar la precisión del plano puede utilizarse el límite de la percepción visual (Domínguez, 1993). Dicho principio permite calcular, en función de la escala, cual es la distancia mínima representable en un plano y que puede considerarse como el error máximo admisible. Cuando el error máximo detectado en los datos más el error cometido al elaborar el plano no supere ese error máximo admisible podemos considerar preciso el plano. En nuestro caso, para errores del orden de 100 m, debería utilizarse una escala de plano de 1/500000 para obtener un plano preciso. Esta escala es inviable para la representación de un plano general en el que se deseen realizar consultas, pero válida para otros usos.

4.4. Análisis del plano de Carlos Lanzarote

Como se comentó, ésta ha sido la base cartográfica utilizada habitualmente cuando se trataba de ubicar las concesiones mineras en la Sierra. Por ello, y a la luz de los problemas encontrados en el proceso de reconstrucción, se debe realizar una estimación del grado de precisión que presenta esta cartografía.

Antes de comenzar el repaso de errores se debe recordar que, según el límite de la percepción visual, la mayor distancia que no tiene representación en un plano a escala 1/10000, ediciones de 1896 y 1907, son 2 m y en un plano a escala 1/20000, edición de 1919, son 4 m.

A la luz de lo observado en el proceso de reconstrucción del plano general y comparando con el plano de Carlos Lanzarote se puede afirmar que la mayor parte de los errores detectados en la reconstrucción están presentes en el plano de Lanzarote. Además, al representar las concesiones no se respetaron exactamente ni las dimensiones ni la orientación ni la posición ni las distancias entre concesiones que aparecen en los planos de demarcación, sobre todo en el caso de las demasías, deformándolas para cubrir el espacio de la mejor manera posible. Así, las deficiencias encontradas en el plano de Lanzarote se pueden resumir en: dimensiones y orientaciones incorrectas, pises y terrenos francos inexistentes, no inclusión de numerosas concesiones y no actualización de la situación representada en el plano con el año indicado.

Respecto a este último punto, tras analizar las dos ediciones a las que se ha tenido acceso, las de 1907 y 1919, se puede afirmar que la primera es, sin duda, la más acorde con la fecha que se indica. La edición de 1919 presenta múltiples zonas que se representan igual que en la edición anterior cuando se han constatado numerosas caducidades y nuevas demarcaciones no reflejadas.

5. Conclusiones

A pesar del meritorio trabajo desarrollado por los miembros de la Inspección Minera existen numerosos errores en los planos de demarcación. Estos proceden tanto de la toma de datos (cuyo origen probable es la limitación en la precisión de los instrumentos topográficos utilizados, equivocaciones y la variabilidad del norte magnético como referencia) como de la elaboración de los planos (errores en los procesos de cálculo y en la incorrecta representación de concesiones colindantes y próximas).

En la Sierra se realizaron numerosas rectificaciones de concesiones para eliminar desajustes y errores (298 casos), pero no se detectaron todos. Consideramos que esto es atribuible a las dificultades propias de trabajar en un territorio tan densamente ocupado y transformado por la actividad minera durante más de un siglo y a las limitaciones de los medios de la época para tomar los datos de campo, procesarlos y cotejar cada nueva concesión con las otorgadas anteriormente en la zona.

La utilización de brújulas taquimétricas y la orientación al norte magnético fue causa de numerosos desajustes. La obligatoriedad, desde principios del siglo XX, de utilizar el norte geográfico no eliminó este problema ya que continuaron tomándose los ángulos referidos al norte magnético y, aunque se refirieran al norte geográfico con la ayuda de la declinación magnética, no se eliminó el problema de la variabilidad del norte magnético. Este hecho tampoco es plenamente achacable a los miembros de la Inspección Minera puesto que hasta bien entrado el siglo XX, cuando el número de nuevas concesiones era sensiblemente menor que en el siglo anterior, no existieron suficientes puntos de coordenadas conocidas en la Sierra como para permitir la utilización de taquímetros y la orientación directa al norte geográfico.

Creemos que la metodología de trabajo propuesta es válida para la reconstrucción del plano general de concesiones, independientemente de que no haya permitido reconstruir un plano con la precisión cartográfica requerida. Ha organizado un proceso de reconstrucción muy complejo y ha permitido identificar y cuantificar los errores existentes en los datos, de los que no se tenía conocimiento previo. Este hecho facilitará nuevas reconstrucciones generales ya que, conocidas las fuentes de error, permitirá la comprobación de los datos utilizados, para minimizar la cuantía de los errores, y la elección de la escala de plano más adecuada.

Aunque el cúmulo de errores no permita la realización de un plano general de consulta con precisión cartográfica sí puede realizarse una representación general orientativa, al modo del plano de Carlos Lanzarote, o una representación de zonas más limitadas, siempre que los errores en la zona y época representada lo permitan. En este último caso siempre se debe calcular el límite de la percepción visual como comentamos anteriormente.

Como ejemplo de esto último aportamos en la Figura 11 uno de los planos realizados para la Fundación Sierra Minera, que recibió el encargo de realizar, entre otros, el “Estudio de estrategias de conservación preventiva para el BIC del sitio histórico de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión (Murcia)”, solicitado por la Subdirección General del Instituto de Patrimonio Cultural de España, Dirección General de Bellas Artes, Ministerio de Cultura y Deporte. El plano está realizado a escala 1/3000 por lo que el límite de la percepción visual se fija en 0.6 m. En dicha figura podemos observar la distribución de las conce-

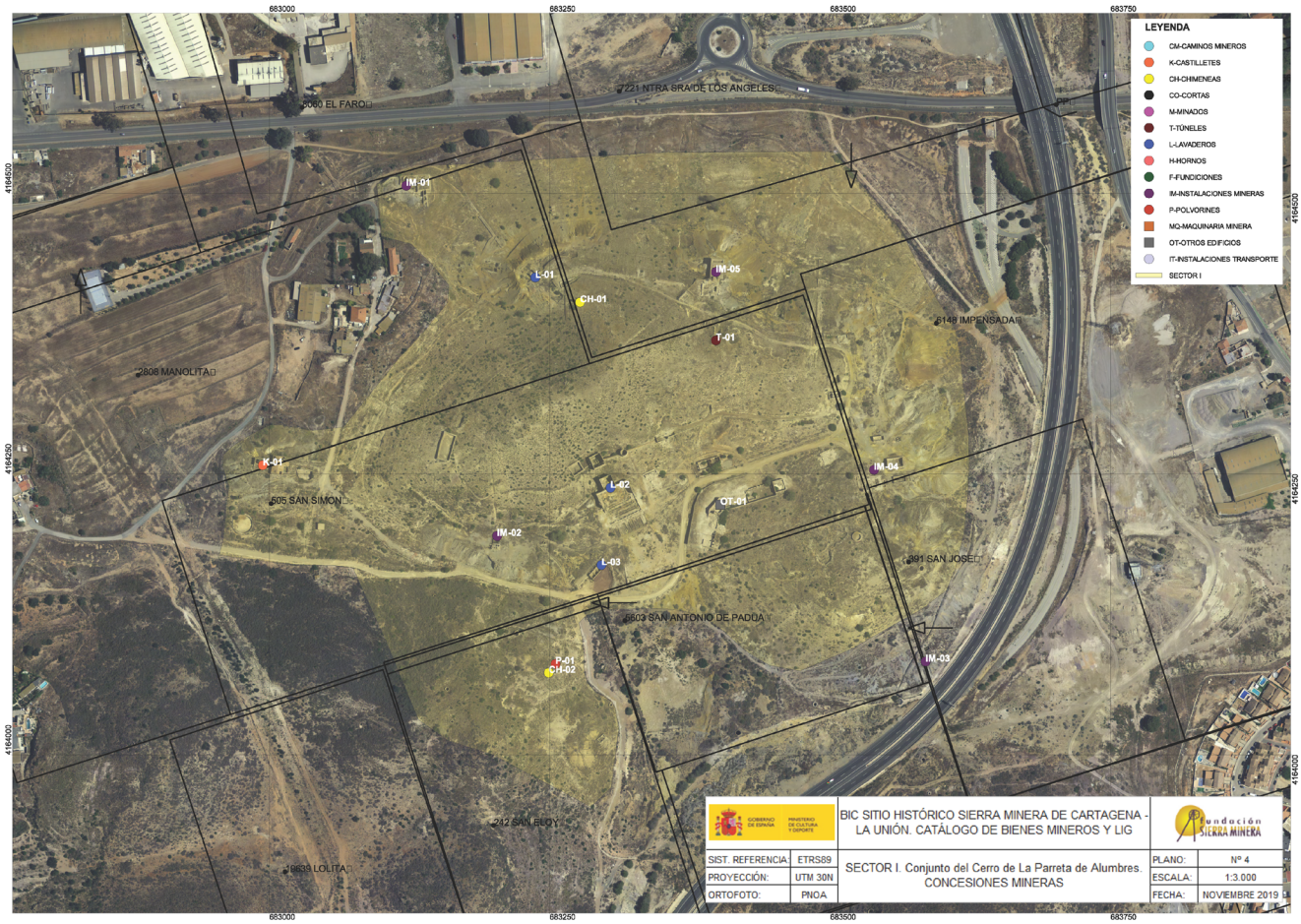


Figura 11. Sector I. Conjunto del Cerro de La Parreta de Alumbres. Concesiones mineras. Fuente: BIC sitio histórico Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Estudio de estrategias de conservación preventiva. Ministerio de Cultura y Deporte. Elaborado por Fundación Sierra Minera.

Figure 11. Sector I. La Parreta de Alumbres Hill Complex. Mining concessions. Source: BIC Sierra Minera de Cartagena-La Unión historical site. Study of preventive conservation strategies. Ministry of Culture and Sport. Prepared by the Sierra Minera Foundation.

siones mineras sobre el terreno correspondiente a uno de los sectores, con sus desajustes a la vista.

Para concluir podemos afirmar que el "Plano de las minas y vías de transporte del término de Cartagena y La Unión" de Carlos Lanzarote solo puede ser utilizado de forma orientativa, ya que las concesiones representadas no tienen la precisión cartográfica exigible ni están actualizadas a la fecha de plano. Sin embargo, a pesar de lo descrito, se debe reconocer la formidable labor realizada para elaborarlo, teniendo en cuenta los medios de la época.

Agradecimientos

El autor agradece a D. Miguel Ángel Lopez Morell, a D. Antonio García Martín y a D. Miguel Ángel Pérez de Perceval Verde su ayuda y estímulo para la realización del presente artículo, así como de la tesis doctoral de la que parte.

Referencias

Baron, S., Rico, C., and Marín, J. A. A. (2017). Le complexe d'ateliers du Cabezo del Pino (Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Murcia) et l'organisation de l'activité minière à Carthago Noua à la fin de la République romaine. Apports croisés de l'archéologie et de la géochimie. Archivo español de arqueología: serie Anejos, 90(90), 147-169.

Baker, A. R., and Billinge, M. (Eds.) (1982). Period and place: research methods in historical geography (Vol. 1). Cambridge University Press Archive, 379 pp.

Calugaru, C. (2006). L'exploitation du lignite et la réhabilitation des paysages dans la région minière d'Olténie en Roumanie. Revue géographique de l'Est, 46(3-4). https://doi.org/10.4000/rge.1444.

Chiang, Y. Y., Leyk, S., and Knoblock, C. A. (2014). A survey of digital map processing techniques. ACM Computing Surveys (CSUR), 47(1), 1-44.

Cosgrove, D. (1999). Introduction: mapping meaning. Mappings, 1-23.

Dessens, A. (2018). Les documents cartographiques dans le fonds ancien de l'École des mines de Paris. Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines, 7, 231-241.

Domínguez, F. (1993). Topografía General y Aplicada. Mundi-Prensa, Madrid, 823 pp.

Edney, M. H. (2019). Cartography: The ideal and its history. University of Chicago Press, 308 pp.

Escamilla, N., and Delgado-Raack, S. (2015). Minería prehistórica del cobre (3100-1550 CAL ANE) en el levante murciano. Phicaria III Encuentros Internacionales del Mediterráneo. Minería y metalurgia en el Mediterráneo y su periferia oceánica, Mazarrón, 77-99.

Esteban, M. T. (1966). La minería cartagenera, 1840-1919. Aspectos económicos y sociales. Hispania, 26(101), 61-96.

Fernández, F. A. Martos, P. Manteca, J. I., and Mouzo, R. (2013). Patrimonio cultural en la bahía de Portmán y su entorno. In: Banos-Gonzalez, I. and Baños, P. (eds.), De el Portus Magnus del Mediterráneo occidental a la bahía aterrada. Universidad de Murcia, Murcia, 139-210.

Fernández, L. C. (1997). Derecho de minas en España (1825-1996). Comares, Granada, 664 pp.

Flor, A. M. (2011). Análisis histórico de un siglo de instrumentación topográfica clásica. Revista digital de la RACV, primera época. Ingeniería cartográfica y geografía. http://racv.es/es/racv_digital.

Fristche, H. (2010). L'obtention d'une concession minière et son bornage. Annales de Normandie, 2, 71-75.

García, C. (2004). Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra de Cartagena-La Unión (Murcia-España). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. 424 pp.

Gatta, G., Arioti, E., and Bitelli, G. (2017). Geomatics science applied to cartographic heritage and archive sources: A new way to explore the XIXth century Gregorian Cadastre of Bologna (Italy), an ante-litteram 3D GIS. Journal of cultural heritage, 23, 68-76.

González, J. A. (2007). Diplomática contemporánea aplicada a documentos de los siglos XIX y XX: los expedientes de concesiones mineras. Documenta & Instrumenta, 5, 77-98.

Instituto Geográfico Nacional. (6 de septiembre de 2022). Cartoteca, Biblioteca y Archivo Topográfico. Colección de instrumentos antiguos. https://www.ign.es/web/ign/portal/ic-coleccion-instrumentos.

Laycock, S. D., Brown, P. G., Laycock, R. G., and Day, A. M. (2011). Aligning archive maps and extracting footprints for analysis of historic urban environments. Computers & Graphics, 35(2), 242-249.

Leyk, S., and Boesch, R. (2009). Extracting composite cartographic area features in low-quality maps. Cartography and Geographic Information Science, 36(1), 71-79.

Kaim, D., Kozak, J., Kolecka, N., Ziółkowska, E., Ostafin, K., Ostapowicz, K., ... and Radeloff, V. C. (2016). Broad scale forest cover reconstruction from historical topographic maps. Applied Geography, 67, 39-48.

López-Morell, M. A., and Pérez de Perceval, M. A. (2010). La Unión. Historia y vida de una ciudad minera. Almuzara, Murcia, 222 pp.

Manteca, J. I. (2013). Introducción a la geología y yacimientos minerales de Portmán. In: Banos-Gonzalez, I. and Baños, P. (eds.), De el Portus Magnus del Mediterráneo occidental a la bahía aterrada. Universidad de Murcia, Murcia, 51-91.

Martínez, Á. P., Pérez de Perceval, M. Á., and Martínez, J. E. (2017). Salarios y organización del trabajo en la minería del sureste español, 1850-1936. Revista de Historia Industrial—Industrial History Review, 26(69), 49-79.

Molewski, P., Wasik, B., and Wiewióra, M. (2018). An attempt to reconstruct selected elements of the original site topography of the Teutonic castles at Unisław and Starogród (Chełmno Land, Northern Poland) based on archaeological and cartographic data. Bulletin of Geography, Physical Geography Series, 14, 15-26.

Orejas, A. (1996). Arqueología de los paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica. Brocar. Cuadernos de Investigación Histórica, 20, 7-30.

Pacina, J., and Cajthaml, J. (2015). Historical Data Processing, Modelling, Reconstruction, Analysis and Visualization of Historical Landscape in the Region of North-West Bohemia. Modern Trends in Cartography: Selected Papers of CARTOCON 2014, 477-488.

Pérez de Perceval, M. A. (1989). La minería almeriense contemporánea (1800-1930). Zéjel Editores, Almería, 305 pp.

Perez de Perceval, M. A., Manteca, J. I., and López-Morell, M. A. (2012). Historia de la minería de Cueva Victoria. In: Gibert, L., and Ferràndez-Cañadell, C. (eds), Mastia, 11, 12 y 13, 47-58.

Pérez de Perceval, M. A., Martínez, A. P., and López-Morell, M. A. (2013). Portmán: del mar y el mineral. Introducción a la historia reciente de la localidad. In: Banos,-Gonzalez, I., and Baños, P. (eds.), De el Portus Magnus del Mediterráneo occidental a la bahía aterrada. Universidad de Murcia, Murcia, 211-252.

Rodríguez-Aguilera, A. I., and Domingo-Santos, J. (2022). Cartography and Landscape of Agrarian Colonisation Villages in Spain during the 20th Cen-

tury: Graphic Recording and Reconstruction of the Productive Territory, the Case of El Chaparral (Granada). Sustainability, 14(7), 4324.

Rosique, M. (2023). Evolución histórica y reconstrucción cartográfica de la distribución de las concesiones mineras en la Sierra de Cartagena-La Unión. Universidad Politécnica de Cartagena, 735 pp.

Statuto, D., Cillis, G., and Picuno, P. (2016). Analysis of the effects of agricultural land use change on rural environment and landscape through historical cartography and GIS tools. Journal of Agricultural Engineering, 47(1), 28-39.

Tsorlini, A., Iosifescu, I., Iosifescu, C., and Hurni, L. (2014). A methodological framework for analyzing digitally historical maps using data from different sources through an online interactive platform. e-Perimetron, 9(4), 153-165.

Uhl, J. H., Leyk, S., Chiang, Y. Y., Duan, W., and Knoblock, C. A. (2018). Map archive mining: visual-analytical approaches to explore large historical map collections. ISPRS international journal of geo-information, 7(4), 148.

www.boe.es - Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. Colección histórica: Gaceta (1661 – 1959). Gaceta de Madrid: 81 (1825), 5327 (1849), 5426 (1849), 5444 y 5445 (1849), 6763 (1852), 282 (1859), 283 (1859), 58 (1863), 1 (1869), 115 (1881). BOE: 204 (1944), 176 (1973).