



TÍTULO

CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MINERALIZACIÓN Y
ALTERACIÓN DE CU-CO-NI ASOCIADA A ROCAS
CARBONATADAS, MINA DE ARAMO, OROCLINAL CANTÁBRICO,
ASTURIAS, NORTE DE ESPAÑA

AUTOR

Víctor Alonso Sánchez

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2021

Tutor Académico	D. Fernando Gervilla Linares
Tutor de Empresa	D. Vaughan Williams
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad de Huelva
Curso	<i>Máster en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales (2019/20)</i>
©	Víctor Alonso Sánchez
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2020



**Atribución-NoComercial-SinDerivadas
4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0)**

Para más información:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>



**CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN
DE CU-CO-NI ASOCIADA A ROCAS CARBONATADAS, MINA DE ARAMO,
OROCLINAL CANTÁBRICO, ASTURIAS, NORTE DE ESPAÑA**

Víctor Alonso Sánchez

TRABAJO FINAL DE MASTER

Master Oficial en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales

Curso 2019-2020

TUTOR EXTERNO

Vaughan Williams (LRH RESOURCES)

TUTOR ACADÉMICO

Fernando Gervilla (UGR)

HUELVA

2020

"Hay en el mundo un lenguaje que todos comprenden: es el lenguaje del entusiasmo, de las cosas hechas con amor y con voluntad, en busca de aquello que se desea o en lo que se cree"

PAULO COELHO

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a D. Vaughan Williams, Director Ejecutivo y Socio Fundador de LRH Resources Limited, cotutor de este Trabajo Fin de Master, quien ha depositado en mí tanta disposición y sobretodo confianza.

Al Dr. D. Fernando Gervilla Linares, Profesor Titular de la Universidad de Granada, tutor de este Trabajo Fin de Master, por la ayuda prestada.

Mi especial reconocimiento a D. Santiago González Nistal, Eurogeólogo, por su exquisita experiencia y grata colaboración concedida en la exploración de campo.

A Raquel Vega, geóloga en Atalaya Mining, por las facilidades otorgadas y su agradable y completo interés cooperativo.

A mis amigos, Iñigo Borrajo y Cristina Reyes, por el desinteresado apoyo recibido y su constante ánimo colaborativo en todo momento, quienes han puesto tanta ilusión como yo mismo.

Finalmente, quiero agradecer a todos cuantos, de una manera u otra, me han ayudado en la realización de este Trabajo Fin de Master.



**CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE LA MINERALIZACIÓN Y ALTERACIÓN
DE CU-CO-NI ASOCIADA A ROCAS CARBONATADAS, MINA DE ARAMO,
OROCLINAL CANTÁBRICO, ASTURIAS, NORTE DE ESPAÑA**

Víctor Alonso Sánchez

TRABAJO FINAL DE MASTER

Master Oficial en Geología y Gestión Ambiental de los Recursos Minerales

Curso 2019-2020

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	CONTEXTO GEOGRÁFICO.....	2
2.1	UBICACIÓN.....	2
2.2	HIDROGEOLOGÍA.....	3
2.3	VEGETACIÓN Y FAUNA.....	4
2.4	DEMOGRAFÍA.....	4
2.5	HISTORIA MINERA	5
3.	CONTEXTO GEOLÓGICO	6
3.1	GEOLOGIA REGIONAL.....	6
3.2	GEOLOGÍA LOCAL	7
3.3	ESTRATIGRAFÍA.....	7
3.3.1	DEVÓNICO.....	7
3.3.2	CARBONÍFERO.....	8
3.4	TECTÓNICA	9
3.5	DOLOMITIZACIÓN	11
3.6	MINERALOGÍA	12
3.6.1	MINERALES PRINCIPALES	12
3.6.2	LEYES	12
3.6.3	TIPOLOGÍA DEL YACIMIENTO	13
4.	METODOLOGIA.....	15
5.	RESULTADOS	16
5.1	LOS VENEROS Y CHOBES.....	18
5.2	CUBIELLOS, RUBIELLOS Y GAMONITEIRO.....	21
5.3	MINA DE ARAMO	23
6.	DISCUSIÓN	25
7.	CONCLUSIONES.....	28
8.	BIBLIOGRAFÍA	30
9.	ANEXOS	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la mina del Aramo. Tomado de Huelga-Suarez, G. et al. (2012).	2
Figura 2. Hidrología general de la zona. Tomado de Beato Bergua, S. (2019). .3	
Figura 3. División en subzonas de la Zona Cantábrica. Tomado de Bastida, F. y Pérez-Estaún, A. (2004).....	6
Figura 4. Columna estratigráfica esquemática del área estudiada. Tomada de Aller (1993).....	9
Figura 5. Esquema general del Arco Ibero-Armoricano y el Arco Cantábrico-Asturiano en su núcleo central. Tomado de Martínez-Catalán et al. (2007).	9
Figura 6. Modelo de delaminación litosférica. Tomado de Gutiérrez-Alonso et al. (2004).	10
Figura 7. Caliza (color negro) embebida en dolomía (color marronáceo), Nivel 4.....	11
Figura 8. Vetas mineralizadas que presentan halo de alteración encajadas en dolomía, filón Sta. Bárbara, Nivel 4.....	13
Figura 9. Arriba, mineralización en forma de bolsadas y diseminada en la dolomía, escombrera Nivel 4 . Abajo, mineralización en venillas tipo stockwork, Nivel 4.	14
Figura 10. Rellenos de calcita en dolomía con mineralización asociada.	14
Figura 11. Área de trabajo con las localizaciones más representativas al S de la Falla del Aramo. Elaboración propia.	17
Figura 12. Zonas de exploración cartográfica al S de la Falla del Aramo. Elaboración propia.	18
Figura 13. Caracterización de la Zona Chobes. En negro la proyección de la galería. Imagen de Eritrina en la zona de cizalla en el interior de la galería. Elaboración propia.	19

Figura 14. Caracterización estructural de la Zona de Los Veneros. Elaboración propia.	19
Figura 15. Labores superficiales de la Zona Los Veneros, Nivel superior Los Veneros.	20
Figura 16. Caracterización estructural general de la Zona Veneros-Chobes. Elaboración propia.	20
Figura 17. Ubicación de Cubiellos, Rubiellos, Cercado 1 y 2 en dirección N140 E. A la derecha imagen de las labores en Rubiellos. Elaboración propia.	21
Figura 18. Estratificación de la caliza de montaña en Cercado 1. Elaboración propia.	21
Figura 19. Localización de los puntos Gamoniteiro 1, 2 , 3 y 4. A la derecha imagen de la zona de falla de 15 m de potencia y dirección N-S. Elaboración propia.	22
Figura 20. Localización de las galerías Nivel 0 y el Nivel 4 de explotación de la mina del Aramo. A la derecha, imagen de las instalaciones del poblado minero de Rioseco. Elaboración propia.	23
Figura 21. Sección en planta del Nivel 4 y sus filones principales: San Pedro, Santa Bárbara y Horse Head. A la izquierda, imagen de la intersección de fracturas mineralizadas E-W y N140E. Elaboración propia.	24
Figura 22. Disposición de las capas en Nivel 0 - Socavón a favor de la zona de falla y la dirección de la galería E-W	24
Figura 23. Anticlinal cuya zona de charnela se presenta hoy en día fracturada y erosionada. Imagen tomada desde Cercado 1. Elaboración propia.	26
Figura 24. Eje anticlinal supuesto de los datos de buzamiento de la Zona Gamoniteiro. Elaboración propia.	27

RESUMEN

La Zona Cantábrica representa un territorio interesante para el posible desarrollo de un nuevo modelo estructural de tipo vena-brecha para la mineralización de Cu-Co-Ni encajada en carbonatos en la Sierra del Aramo, Asturias.

La mina del Aramo yace en el centro del Arco Cantábrico-Asturiano, que consiste en una flexión de un cinturón lineal con adelgazamiento cortical y delaminación litosférica resultante, con magmatismo y mineralización hidrotermal asociada.

El análisis estructural en superficie al sur de la Sierra del Aramo, junto con el análisis de la cartografía de interior realizada en las antiguas galerías de explotación que componen la mina del Aramo, al sur de Oviedo, va a permitir determinar la caracterización estructural de los materiales carbonatados y su alteración-mineralización presente en profundidad en el área de estudio.

De esta manera, se planteará un modelo geológico idealizado, obtenido por medio de la interpretación y correlación de los registros cartográficos recopilados tanto en la cartografía superficial como en la cartografía de galería interior.

ABSTRACT

The Cantabrian Zone represents an interesting region for the development of a new model of structurally-controlled vein & breccia, carbonate-hosted Cu-Co-Ni mineralization within the “Sierra del Aramo”, Asturias.

The Aramo mine lies in the centre of the Cantabrian-Asturian Arc, which consists on the bending of a lineal belt with cortical thinning and lithospheric delamination resulting, magmatism and hidrothermal mineralization associated.

The structural analysis on the surface south of Sierra del Aramo, together with the interior mapping carried out in the old exploitation galleries that make up the Aramo mine, will allow to determine the structural characterization, alteration and mineralization of carbonates materials in the studied area.

In this way, an idealized geological model will be proposed, obtained by the interpretation and correlation of the cartographic records collected both, in surface cartography and gallery cartography.

OBJETIVOS

El trabajo que se propone tiene por objeto la caracterización estructural de la alteración y mineralización de Cu-Co-Ni asociada a rocas carbonatadas de la Mina de Aramo en Asturias.

Mediante la cartografía de campo llevada a cabo en la Sierra del Aramo, al sur de Oviedo, se pretende establecer las características principales de la mineralización de los cuerpos carbonatados que componen la unidad geológica del "Aramo", emplazada en el centro del Oroclinal Cantábrico.

Además, se elaborarán mapas y secciones a partir del estudio de los diferentes datos obtenidos, para comprender mejor el contexto que rodea a las características generales buscadas en la Caliza de Montaña y su alteración.

El estudio estructural se desarrollará mediante el reconocimiento de antiguas galerías mineras ubicadas en la parte sur de la sierra, en las que se tratará la búsqueda de las particularidades morfológicas y mineralógicas presentes en las explotaciones de interior.

Del mismo modo, se realizará un estudio cartográfico de estos materiales en superficie, definiendo así, sus características estratigráficas y estructurales obtenidas mediante el conjunto de datos medidos en la exploración de las labores y sus inmediaciones.

Finalmente, se realizará la correlación entre las diferentes zonas de investigación, con el propósito de analizar las relaciones existentes entre la alteración y la mineralización y definir, por tanto, el control estructural de la Caliza de Montaña de la Fm. Barcaliente en el área de estudio.

1. INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo reúne los resultados obtenidos a partir de la exploración de campo del yacimiento de Cu-Co-Ni ubicado en la Sierra del Aramo, concejo de Riosa, provincia de Oviedo. La zona de trabajo se enmarca dentro del permiso de exploración St. Patrick, propiedad de LRH RESOURCES, con propósito de mejorar el conocimiento de la mina Texeo o mina Aramo al sur de esta sierra, en el centro del oroclinal Cantábrico.

La minería ha sido uno de los motores económicos de Asturias durante siglos y la mina de Aramo en concreto, una de las minas más importante de cobre en la región desde tiempos prehistóricos. Sin embargo, a pesar de ser tan singular y haber sido explotada en distintos lugares y épocas, existe una escasa investigación sobre la misma.

El análisis e interpretación de la cartografía en el área objeto de estudio, va a permitir determinar las características estructurales de la mineralización encajada en las rocas carbonatadas de la superficie de ocupación. La problemática se presenta en el limitado alcance de investigación, por motivos de seguridad, de algunas de las galerías mineras de la mina acotando las posibilidades de una correlación completa entre las diferentes galerías de explotación abandonadas aquí presentes. En relación con lo anterior, otro inconveniente a la hora de correlacionar las diferentes zonas de estudio, se produce por la ubicación de la galería "Nivel 4" con respecto al resto de localizaciones investigadas, ya que se encuentra en la ladera este de la sierra, la cual presenta una zona de muy tupida vegetación y difícil acceso topográfico para la obtención de datos superficiales en esta parte del ámbito de trabajo. De esta manera la correlación efectuada entre las diferentes áreas de estudio es hipotética.

Mediante los registros cartográficos obtenidos se ha procedido a la diferenciación de tres zonas de trabajo: Los Veneros, Gamoniteiro y mina Aramo, denominados así por su ubicación en la sierra. El uso de imágenes aéreas y la propia colección fotográfica recopilada, ha ofrecido una importante diferenciación de las estructuras mayores presentes en la región estudiada. Asimismo, la complejidad tectónica que alberga esta zona condiciona una recopilación de información bibliográfica minuciosa.

Aunque todavía se sigue averiguando sobre el oroclinal o Arco Cantábrico-Asturiano, está claro que parte del plegamiento ocurrió durante el Carbonífero. Este puede haber sido uno de los motivos de la creación de vías verticales para fluidos mineralizadores que podrían haber sido canalizados desde profundidades significativas.

Con todo ello, se elabora la correlación entre las diferentes zonas de trabajo, con ánimo de examinar las relaciones existentes entre los registros cartográficos obtenidos en superficie y en el interior de las galerías mineras, la tectónica y la alteración-mineralización para definir un posible modelo estructural del yacimiento en cuestión.

2. CONTEXTO GEOGRÁFICO

2.1 UBICACIÓN

La mina del Aramo se sitúa en la zona central de Asturias, concretamente en la vertiente oriental de la sierra del Aramo, que separa la cuenca de Mieres y Riosa al este, de la de Quirós al oeste. Los picos principales de esta sierra son: el Gamonal, el Barriscal y el Gamoniteiro, siendo este último el de mayor elevación con 1791 m sobre el nivel del mar y el cuál se ubica dentro este trabajo, comenzando la altura del proyecto cerca de los 700 m en la zona de las instalaciones. La sierra se extiende de norte a sur en una longitud de 10 km y de este a oeste en una anchura de unos 7 km. Las explotaciones se ubican próximas a las localidades de Rioseco y Llamo, pertenecientes al concejo de Riosa, localizándose aproximadamente 20 km al sur de la capital asturiana de Oviedo y 5 km al noroeste de Pola de Lena (Fig. 1).

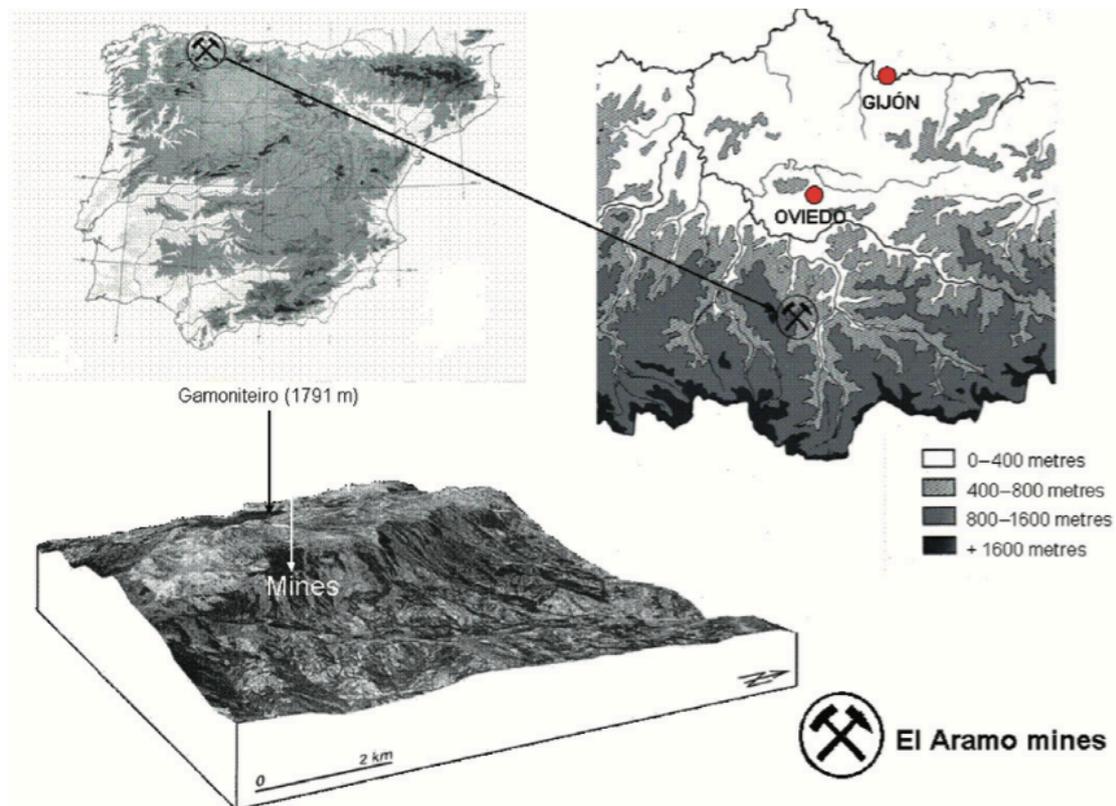


Figura 1. Localización de la mina del Aramo. Tomado de Huelga-Suarez, G. et al. (2012).

El acceso se realizaría desde estas localidades, siguiendo una estrecha carretera desde Llamo hasta el poblado minero de Rioseco. Una vez en las instalaciones y la planta de tratamiento, hoy en ruinas, parte un camino para llegar a las explotaciones, debiendo salvar una altura de unos 500 metros entre las cotas 700 y 1200 m aproximadamente.

2.2 HIDROGEOLOGÍA

La hidrogeología general de la zona es una síntesis de las propias observaciones de campo realizadas y los datos recopilados de varios informes sobre el Estudio Hidrogeológico de la Cuenca norte de España (Asturias): IGME (1980 y 1984) y ITGE (1982).

Como ya se dijo anteriormente, el Aramo separa la terminación Norte del valle de Quirós del valle de Riosa. En estos valles los ríos Trubia y Riosa, siguiendo una dirección general S-N, bordean la Sierra por los costados occidental y oriental respectivamente. A ellos van a desembocar los arroyos que se forman de los manantiales que por las dos vertientes drenan el macizo kárstico que constituye el Aramo.

A nivel superficial, el río más próximo es el río Riosa, también llamado Llamo, que nace en la vertiente este de la sierra de donde recoge numerosos regatos que bajan de sus montañas. Sigue una orientación general S-N y confluye con los ríos Xuncar y Grandiella cerca de la localidad de La Vega, capital del concejo de Riosa. Sigue su curso a norte en Morcín y desemboca finalmente en el río Caudal, afluente del río Nalón (Fig. 2).

El agua infiltrada en el Aramo, se drena casi en su totalidad por la vertiente oriental, puesto que el contacto con el Carbonífero Inferior y Devónico impermeable está a cotas más bajas que en la zona Oeste. Los drenajes más importantes de esta vertiente son los de Code y Llamo, que en lo observado en la zona, podrían descargar al nivel de las instalaciones, a una cota aproximada de 650 m.

A nivel subterráneo la formación calcárea objeto de estudio se comporta como un acuífero único perfectamente delimitado, constituido por la Caliza de Montaña como roca almacén y la formación denominada Caliza "Griotte" como base impermeable, que en esta zona contiene un volumen importante de pizarras y arcillas (IGME 1980, 1984 y ITGE 1982). Lateralmente, el acuífero está sellado por los materiales del Carbonífero Superior, compuesto básicamente por pizarras del Grupo Lena.

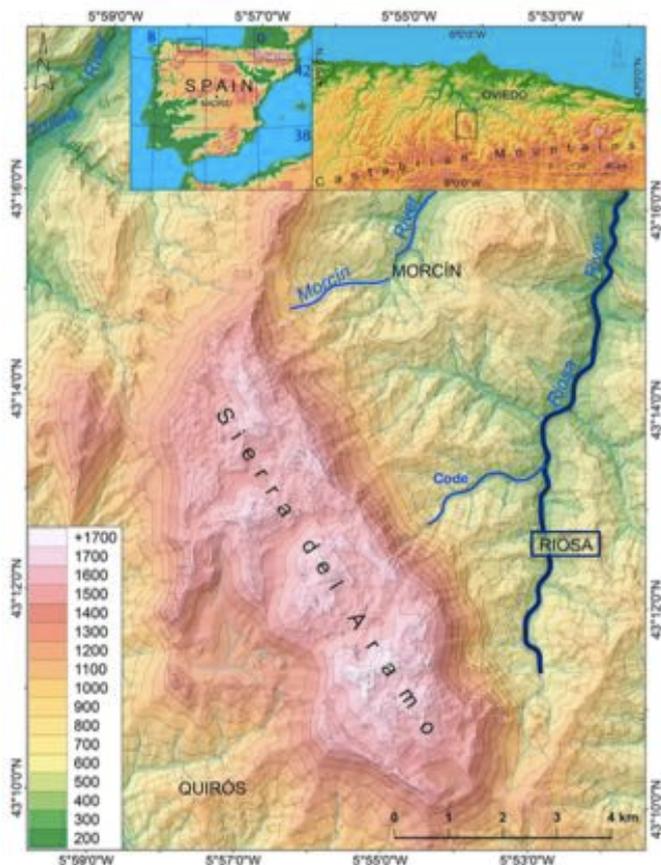


Figura 2. Hidrología general de la zona. Tomado de Beato Bergua, S. (2019).

Según los datos recopilados, el Aramo tiene una extensión alrededor de 38 km² que asumiremos de igual modo para el acuífero en cuestión. De los datos del Mapa Pluviométrico de Asturias del IGME, resulta una precipitación media de 50,5 hm³/año. La evapotranspiración se toma uniforme e igual a 600 mm en toda la Sierra, que supone un máximo de agua evapotranspirada de 20,5 hm³/año. Así, el sector del Aramo alberga unos recursos hídricos subterráneos de 30 hm³/año. Debido a la configuración topográfica de altitudes sobre los 1.700 - 1.800 metros y a la gran permeabilidad por fracturación de la roca, la escorrentía superficial es nula.

Por último, señalar la importancia de los procesos de fisuración y karstificación tanto en superficie como en profundidad, los cuales han provocado la existencia de mayor permeabilidad en la roca y una cierta comunicación entre los distintos estratos de calizas y dolomías del Carbonífero del mismo sector hidrogeológico y el resto de las formaciones carbonatadas paleozoicas limítrofes (IGME, 1980).

2.3 VEGETACIÓN Y FAUNA

Con respecto a la vegetación que aloja esta región, cabe diferenciar diversos niveles dentro de la estructura del Aramo. Por un lado encontraríamos la plataforma calcárea culminante que se extiende en torno a 1.300 m de altura, tapizada con pequeñas manchas de arbustos y pastizales entre afloramientos de la roca caliza. Por otro lado, en las empinadas laderas aparecen pastos naturales y otros creados por el hombre, arbustos diseminados (espinos, avellanos, acebos), pequeños bosquetes de haya, sauce y/o roble en las zonas más inaccesibles y grandes áreas de matorral (brezales, aulagales y helechales) fruto de las actividades agroganaderas tradicionales y el abandono de pastos. Y por último, en la parte baja de los valles, labrados sobre pizarras y areniscas, abundan prados, castañedos y pequeños bosques de ribera que contemplan a grandes rasgos las formaciones vegetales de "El Aramo".

En relación a la fauna silvestre asturiana que se hospeda en estos concejos, se puede encontrar una amplia variedad de mamíferos como: lobo, liebre, jabalí, corzo, gineta, tejón, nutria, gato montés y ardilla; de aves tales como: águila, buitre, halcón, alimoche, carbonero, mirlo, pinzón, chova piquigualda, alondra, vencejo común, perdiz.; y reptiles: lagartija roquera y lagartija de turbera y alagüezo.

2.4 DEMOGRAFÍA

La evolución demográfica a pesar de la cercanía a Oviedo y a Mieres sufre una despoblación paulatina acentuada desde el cierre del Pozo Monsacro de HUNOSA, como uno de los motores económicos de la zona. La principal actividad económica estaba relacionada con la minería del carbón y sus actividades auxiliares.

La cercanía a poblaciones importantes hace que aún exista población residente que se desplaza diariamente/semanalmente hacia los núcleos económicos del centro de la región.

2.5 HISTORIA MINERA

Son conocidas de muy antiguo las mineralizaciones cupríferas y cupro-cobaltíferas existentes en determinados niveles calcáreos del Carbonífero Inferior de la Zona Cantábrica (Gomez-Landeta, 1978).

Las explotaciones de cobre en las minas del Aramo se remontan a tiempos prehistóricos, siendo posiblemente el único ejemplo de explotación de la Edad de Piedra en la península. Más concretamente, pertenecen al periodo de transición de la Edad de Piedra a la Edad de Bronce, lo que se conocería como Edad del Cobre, entre 1700 y 1000 años a. de C.

Sin duda ha sido una de las minas de Cu más importante en Asturias, con un total de cinco galerías de extracción de las que en la actualidad solo dos son accesibles y no en todo su recorrido.

Si esta mina tiene un gran interés geológico, no lo tiene menos arqueológico. En el interior de la mina se han descubierto 16 esqueletos humanos (algunos atrapados por derrumbes) y restos del esqueleto de un oso, además de una cantidad muy importante de herramientas y útiles como mazas y martillos de piedra, cuernos, cuñas, crisoles y otros útiles que empleaban para el aprovechamiento mineral (Dory, 1893).

La explotación se efectuaba por arranque, tallando acanaladuras en el mineral y partiendo en bloques. Por éste método y según ciertos autores (Dory, 1893; Gómez-Landeta, 1978; Blas Cortina, 2010, 2014) llegaron a extraer de 150000 a 200000 toneladas de mineral. También se ayudaban del fuego para quebrar la roca por torrefacción.

Casi 3000 años después de ésta primera explotación, las minas del Aramo fueron redescubiertas en septiembre de 1888 por el ingeniero A. Van Straalen, director en aquel momento de una mina de mercurio cercana. Fue arrendada a una compañía extranjera que la explotó después de la I Guerra Mundial, entonces, la explotación se orientaba hacia el Cobalto. Este mineral abundaba especialmente en los rellenos de la mina Prehistórica y había sido abandonado allí por sus primeros explotadores de la Edad del Cobre que para ellos era el duende “Kobolt”, impurificador del Cobre (Gómez-Landeta, 1978).

Posteriormente a la guerra civil volvió a tomar importancia por el cobre. De ésta época son las explotaciones cuyos restos permanecen en la actualidad. Cabe destacar que en Rioseco se montó una fundición para mata de cobre y una planta amoniaca para tratamiento de carbonatos única en aquellos tiempos.

La mina se cerró definitivamente a comienzos de la década de los 60.

3. CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

Las rocas de la orogénia Varisca afloran extensamente en toda la parte oeste de la Península Ibérica, lo que se conoce como Macizo Ibérico o Hespérico. Con edades desde el Proterozoico hasta el Carbonífero, estas rocas representan la convergencia y colisión de los paleocontinentes Laurasia y Gondwana (Martínez Catalán et al., 2009). Esta colisión desencadena en esta zona un apilamiento de cabalgamientos vergentes al E que incluyen las diferentes zonas paralelas y concéntricas en las que se divide el norte del Macizo Ibérico.

Este trabajo se ubica dentro de la Zona Cantábrica, que corresponde con el área más externa del Macizo en su parte noreste. Representa un cinturón de cabalgamientos de antepaís, compuesto por sedimentos paleozoicos pre- y sin-orogénicos de relativamente pequeño grosor, afectados por una tectónica epidérmica. De manera general, son depósitos marinos superficiales del Cámbrico al Carbonífero que se acuñan hacia el este como resultado del cambio de margen pasivo a la colisión Varisca.

La división clásica en subzonas de la Zona Cantábrica fue realizada por Julivert (1963, 1964) de acuerdo con criterios paleogeográficos y estructurales, separándose las siguientes unidades de oeste a este (Fig. 3): Región de pliegues y mantos, Cuenca Carbonífera Central, Región del Manto del Ponga, Regiones de Picos de Europa y del Pisuerga-Carrión

La unidad de estudio que nos concierne es la Unidad del Aramo, que se ubicaría dentro de la Región de pliegues y mantos junto con las unidades de Sobia-Bodon y Somiedo-Correcilla (Fig. 3).

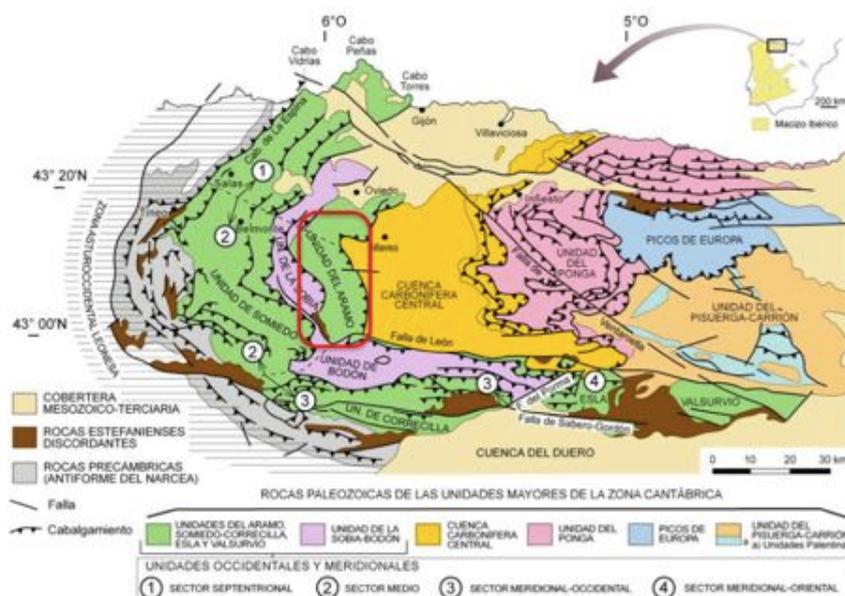


Figura 3. División en subzonas de la Zona Cantábrica. Tomado de Bastida, F. y Pérez-Estaún, A. (2004)

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

La mina del Aramo se encuentra en la cartografía existente de la Hoja nº 52 (PROAZA) del MAGNA (Pello, 1976), véase Anexo 1.

La unidad en concreto, queda limitada al W por la Unidad de la Sobia y al E se dispone cabalgante sobre la cuenca carbonífera central (Fig. 3). Se caracteriza por presentar una estructura compleja de cabalgamientos y diversos tipos de pliegues y fallas que se han ido generando en varias etapas de deformación durante las orogenias Varisca y Alpina (Pello, 1976).

Las explotaciones se encuentran en el límite SE de la Unidad. De forma general, la zona se halla compuesta por un apretado conjunto de pliegues orientados NNW-SSE y vergencia hacia el oeste, en cuyo núcleo aparecen materiales devónicos y por encima de ellos las Calizas Griotte y Caliza de Montaña. Esta última es prácticamente la única aflorante en toda la sierra al nivel actual de erosión (Gómez-Landeta, 1978).

Finalmente aparecen varios sistemas de fallas muy verticales y de tipo inverso predominantemente. La falla más destacable es la Falla del Aramo, que según Pello (1976) es de edad Pérmica, dirección E-W y desplazamiento levógiro (Anexo 1).

3.3 ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de la Hoja nº 52 del MAGNA refleja el Paleozoico ampliamente desarrollado, figurando todos sus sistemas a excepción del Pérmico (ver Anexo 1). En la región del Aramo, los únicos terrenos que se encuentran representados son el Devónico y el Carbonífero que de muro a techo se componen de las siguientes unidades:

3.3.1 DEVÓNICO

Dentro de esta unidad los materiales más representativos serían los que abarcan las unidades litoestratigráficas del **Devónico Superior**, compuesto por las Areniscas del Devónico Superior y la Caliza de Candamo.

- Areniscas del Devónico Superior: son areniscas calcáreas de grano medio a grueso. Aunque su evidencia no se ha observado sobre el terreno, su potencia no es superior a 20 m en los afloramientos que hay al E del Gamoniteiro. Son de edad Frasnense-Fameniense.
- Caliza de Candamo: son calizas blancas bioclásticas porosas, con potencias no superiores a los 10 m. Conformaría la transición entre el Devónico y el Carbonífero, estando el límite entre unidades dentro de esta formación, según Budinger y Kullman (1964).

3.3.2 CARBONÍFERO

Aparecen el Carbonífero Inferior y parte del Superior. Sobre las Calizas de Candamo aparece la Caliza Griotte como base del **Carbonífero Inferior** y sobre la que apoya la Caliza de Montaña.

- Caliza Griotte: son calizas de color rosado y aspecto noduloso con radiolarios, pizarras y arcillas rojas. Su contacto con las anteriores calizas blancas es disconforme y su límite superior en contacto con la Caliza de Montaña es gradual. Su potencia es bastante constante no excediendo los 50 m. Se les atribuye edad Visekense-Namuriense A. Se ha observado una intercalación de pizarras en esta caliza que le da un carácter impermeable.

El **Carbonífero Superior** está representado por la Caliza de Montaña y los Grupos Lena y Sama.

- Caliza de Montaña: esta denominación fue dada por Paillette (1855) por analogía con la “Mountain Limestone” de Inglaterra. Constituye la totalidad de la sierra del Aramo y es la roca en la que encajan las mineralizaciones, que antiguamente ya le daban el nombre de “Caliza metalífera”, por la frecuente presencia de indicios y mineralizaciones que alberga en la región, en especial de Cu (García-Iglesias, 1972).

Por lo general, es una caliza muy oscura y de gran fetidez, con abundante materia orgánica de grano fino. Es una caliza Mudstone con poca fauna y baja porosidad intrínseca, pero bastante karstificada. Tanto a muro como a techo presenta estratificación en capas delgadas, siendo masiva en su parte media. En el Aramo muestra potencias de entre 300 y 400 m. Se distinguen dentro de ella dos formaciones: Fm. Barcaliente y la Fm. Valdeteja (Fig. 4). En la zona estudiada la mineralización se encaja en la Fm. Barcaliente.

Estratigráficamente, la Caliza de Montaña pasa a la típica serie pizarro-areniscosa del Grupo Lena y el Grupo Sama, que constituiría la Cuenca Carbonífera Central.



Figura 4. Columna estratigráfica esquemática del área estudiada. Tomada de Aller (1993).

3.4 TECTONICA

Es fundamentalmente la tectónica Hercínica la que afecta a los materiales descritos, que constituirían un anticlinorio y dentro del cual los materiales resistentes como la caliza, se comportan de forma más frágil fracturándose (García-Iglesias, 1972).

El conjunto de estructuras mayores de la Zona Cantábrica acoge el Arco Cantábrico-Asturiano, que define el núcleo central del Arco Ibero-Armoricano, cóncavo hacia el E (Fig. 5).

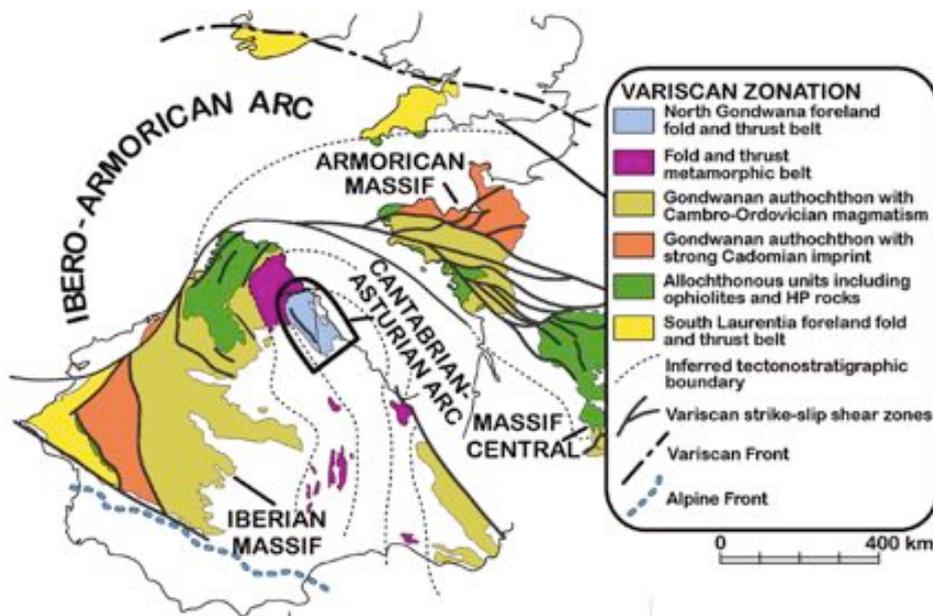


Figura 5. Esquema general del Arco Ibero-Armoricano y el Arco Cantábrico-Asturiano en su núcleo central. Tomado de Martínez-Catalán et al. (2007).

La Zona Cantábrica conforma por tanto un oroclinal, definido en este caso como un sistema orogénico que ha sufrido una curvatura secundaria en forma de herradura. Según datos paleomagnéticos esta flexión del arco esta datada en el Pérmico (Weil et al., 2000). La flexión ocurrió hace alrededor de 295 Ma y causó extensión y adelgazamiento de la corteza en la parte externa, mientras que la compresión y engrosamiento de la corteza se produjo en la parte interna del oroclinal (Gutiérrez-Alonso et al., 2004). Este engrosamiento cortical indujo la delaminación litosférica por debajo del cinturón orogénico, es decir, la litosfera delaminada se hunde en el manto y es reemplazada por astenósfera caliente y ascendente. Esto provoca un adelgazamiento adicional, un rápido calentamiento, emplazamiento de cuerpos magmáticos y un levantamiento y colapso extensional en la corteza suprayacente (Gutiérrez-Alonso et al., 2004) (Fig. 6).

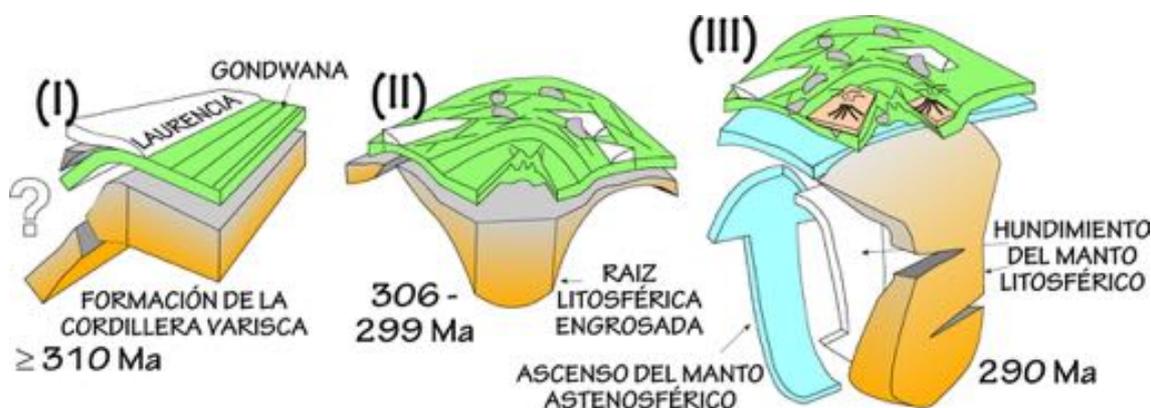


Figura 6. Modelo de delaminación litosférica. Tomado de Gutiérrez-Alonso et al. (2004).

Según el modelo propuesto por Pastor-Galán et al. (2011), mediante el análisis de fracturas en el arco, se estiman al menos 3 etapas diferentes en la deformación y fracturación de la Rodilla Asturica que tendría lugar entre el Moskovense medio y el límite Carbonífero-Pérmico (entre 310 y 299 Ma):

1. Etapa de compresión Este-Oeste relacionada con la colisión entre Gondwana y Laurentia y el desarrollo del cinturón de cabalgamientos de antepaís durante el Varisco.
2. Etapa de compresión Norte-Sur que resulta en el desarrollo de la curvatura oroclinal del Arco.
3. Etapa Pérmica tardía, delaminación litosférica.

La flexión oroclinal de un cinturón originalmente lineal, junto con el adelgazamiento y delaminación litosférica, generan las condiciones idóneas para el origen de sistemas magmáticos y mineralización hidrotermal asociada. Todo ello unido al comportamiento frágil de los materiales aquí involucrados, favorecen el emplazamiento de cuerpos mineralizados.

3.5 DOLOMITIZACIÓN

Comprender el origen de las dolomitizaciones es importante por el papel que estas juegan como reservorios porosos y permeables para hidrocarburos y menas minerales (Moore, 1989; Purser et al., 1994). La caliza de Montaña presenta frecuentes dolomitizaciones secundarias con las que normalmente parecen estar ligados los indicios minerales que poseen. Por ello, considero importante mencionar, aunque de manera general, la vinculación que este proceso tiene con respecto al yacimiento Cu-Co-Ni estudiado.

En campo, las dolomías y la roca caliza encajante son fácilmente distinguibles por el contraste de color que presentan: las calizas son negras y grises oscuras mientras que las dolomías tienden a ser marrones y amarillentas (Fig. 7).



Figura 7. Caliza (color negro) embebida en dolomía (color marrónáceo), Nivel 4.

Para explicar el proceso de dolomitización que aquí ocurre nos basaremos en el modelo de convección termal que plantea Gasparrini et al. (2006) para la misma Fm. Barcaliente al sur de nuestra zona explorada, en la Unidad de Sobia-Bodon, véase Figura 3. El estudio de este autor sugiere que el proceso se origina como resultado de la circulación de un mismo fluido en evolución, hidrotermal e hipersalino (posiblemente derivado de una salmuera marina), que primero reemplaza a los carbonatos carboníferos precursores (dotándoles de porosidad) y después precipita en forma de cemento dolomítico. Estos fluidos actuarían después de la compresión Varisca, durante la tectónica extensional al inicio del Pérmico.

3.6 MINERALOGÍA

De forma simple, se tratará de sintetizar la mineralogía que abarca este yacimiento. De la bibliografía (García-Iglesias, 1972; Gómez-Landeta, 1978, 1981; Paniagua, 1988; Terente, 2011; Huelga Suarez, 2012) como por medio del análisis litogeoquímico realizado por LRH RESOURCES, se extraen las siguientes características mineralógicas.

3.6.1 MINERALES PRINCIPALES

Los minerales constitutivos son el Cu y el Co acompañados de Ni en pequeñas cantidades.

El estudio mineralógico revela una mineralización primaria de niveles de **Cu**, esencialmente Calcopirita (CuFeS_2) y Bornita (Cu_5FeS_4), recubierto por una capa delgada de color verde azulada de la transformación del óxido de Cu a carbonatos, Azurita y Malaquita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2$ y Cu_3CO_3). Se desarrolla un proceso de enriquecimiento secundario que da origen a la formación de Covellina y Calcosina (CuS y Cu_2S), este último como componente principal.

El **Co**, aparece también como óxido: Asbolana ($(\text{Ni}, \text{Co})_2\text{MnO}_4$), como arseniato: Eritrina ($\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) y sulfuro-arseniuro: Cobaltita (CoAsS_2).

El **Ni** aparece generalmente en estado de óxido en escasas cantidades. (Trevorita, $\text{Ni}^{2+}\text{Fe}^{+3}_2\text{O}_4$)

3.6.2 LEYES

La ley promedio del mineral extraído fue de aproximadamente 12% Cu, 2-3% Co y 2-3% Ni (Claverol y Cabal, 1993) aunque existen análisis químicos de muestras con valores muy superiores.

Alrededor de 200000 toneladas de mineral se han explotado ya durante la época contemporánea de este yacimiento mientras que las reservas totales se estiman en 400000 toneladas. (Paniagua et al., 1988). A ello habría que

sumarle todo el material aun económicamente rentable en las escombreras de la mina.

3.6.3 TIPOLOGÍA DEL YACIMIENTO

En un yacimiento de Cu debe existir una zona superior oxidada para explicar el enriquecimiento mineral en niveles superficiales. Se contempla por tanto una zona de oxidación, hoy desaparecida, la zona de enriquecimiento, que constituyen las explotaciones de la mina, y por debajo de esta, una zona con sulfuros primarios a la que no llegaron las labores.

El mineral se dispone básicamente de dos modos:

1. En la dolomía, en el centro del filón en vetas subverticales rectas de algunos centímetros a metros de potencia (Fig. 8).
2. En las partes más masivas de la dolomía, como pequeñas bolsas redondeadas o venillas casi milimétricas cortas e irregulares de tipo stockwork (Fig. 9).



Figura 8. Vetas mineralizadas que presentan halo de alteración encajadas en dolomía, filón Sta. Bárbara, Nivel 4.



Figura 9. Arriba, mineralización en forma de bolsadas y diseminada en la dolomía, escombrera Nivel 4 . Abajo, mineralización en venillas tipo stockwork, Nivel 4.

La mineralización es siempre posterior a la dolomitización, rellenando grietas y fisuras de ésta. Acompañándole se produce un depósito de calcita que rellena los mismos huecos de la dolomía (Fig. 7 y 10).



Figura 10. Rellenos de calcita en dolomía con mineralización asociada.

4. METODOLOGIA

Con la intención de cumplir los objetivos planteados en este trabajo, su desarrollo se ha estructurado siguiendo cuatro pasos bien diferenciados, que concatenados contribuyen al resultado del trabajo final.

A) Recopilación de datos

Como inicio del trabajo se ha llevado a cabo una profunda recopilación de información existente sobre la región. Esta fase constituye obtener un primer conocimiento de las características de la mina donde se va a realizar el proyecto. Las características que deben conocerse son muy diversas y por tanto, se necesita una profunda selección del repertorio bibliográfico, que en este caso, se concentra en estudios académicos publicados a lo largo de los años. El nivel de detalle en la investigación ha sido imprescindible en el entendimiento de la geología y la tectónica de la zona.

B) Cartografía

Por otro lado la recopilación de datos se ha llevado a cabo por medio del trabajo de campo, con la toma de datos cartográficos en las explotaciones mineras y sus alrededores. Se ha accedido a un total de 4 de las diferentes galerías que posee esta parte de la sierra, con la intención de elaborar un mapa más detallado de la litología, la estructura y el estilo de mineralización y alteración asociadas.

El trabajo de exploración que engloba este trabajo se resume en una cartografía de interior con la exploración de las galerías más accesibles, seguido de una cartografía superficial con la inspección visual y recogida de datos en la zona del "Plateau" o meseta del Aramo. Las estructuras principales han podido ser reconocidas a través de imágenes satelitales.

Con un total de casi dos días de reconocimiento de campo, se abarcó una superficie cartográfica de 9 Km². Se exploraron el Nivel 4 y el Nivel 0 (Socavón) de la vertiente oriental de la sierra y sobre la meseta o "Plateau" del Aramo, se accedieron a dos de las antiguas labores, Los Veneros y Chobes. Además se tomaron algunos datos extrarradiales a estos trabajos históricos para obtener una perspectiva estructural mayor (Fig. 11).

La caracterización cartográfica no ha podido ser de más amplitud debido al limitado tiempo disponible y a las condiciones arriesgadas de seguridad que se daban en el campo.

C) Análisis de datos

Una vez alcanzado este punto, con los antecedentes bibliográficos estudiados y la información recopilada en el campo, se procede al análisis de todo ese material.

Gracias a la variedad de referencias que se obtuvieron de la mina y su periferia, se genera una base de datos común de los diferentes puntos examinados.

Posteriormente y conforme a los resultados conseguidos en dicha tabla, se continua con la investigación y tratamiento de imagen aérea y la colección fotográfica. Se pretende plasmar la información obtenida sobre foto aérea y distinguir, de esta manera, las estructuras de mayor importancia que en este sector aparecen.

D) Trabajo de gabinete

Se procede a la interpretación y correlación conjunta de los resultados obtenidos a partir del estudio, por separado, del área de la meseta del Aramo y los niveles 0 y 4. De esta manera se consiguen caracterizar las estructuras más representativas del panorama con las que se buscará el paralelismo existente entre las unidades carbonatadas observadas en ambas zonas. De este modo se extraerán las conclusiones como punto final de la memoria.

5. RESULTADOS

El objetivo de este trabajo abarca la parte sur de la sierra del Aramo. Para ofrecer una caracterización estructural más en detalle y favorecer el entendimiento de la mina y sus alrededores, se separa la sierra del Aramo en dos, la parte al N a la falla del Aramo y la parte al S con respecto de la misma. A continuación por tanto, se describen los elementos estructurales más destacados, de N a S, observados en el campo según esta división.

Al N de la falla se acentúa el **Sinclinal del Aramo**. Es una estructura poco neta desarrollada toda ella dentro de la caliza de montaña. Sigue la tendencia NNW-SSE de la sierra, pero acaba sufriendo un giro de casi 90° para disponerse en una posición E-O y ser biselada por la falla del Aramo hasta desaparecer (Gómez-Landeta, 1978). La región al N de la falla del Aramo no ha sido explorada y no se contempla en este trabajo más que por referencias bibliográficas y la inspección visual desde el Pico Gamoniteiro, ya que su extensión se aleja de los objetivos marcados en esta memoria.

La **Falla del Aramo** es uno de los elementos más importantes que va a controlar y condicionar el comportamiento de los materiales y estructuras del yacimiento y sus inmediaciones. Esta falla genera un impacto evidente en las estructuras preexistentes a la altura del Pico Gamoniteiro, imponiendo un fuerte arqueamiento a ambos lados de la falla a favor del desplazamiento de la misma, es decir, las calizas pasan de una dirección N-S a disponerse poco más o menos en dirección E-O, esto es producido por el arrastre de la misma. La Falla del Aramo comenzó como una flexión y la intensificación de los esfuerzos generó su fracturación en la zona de máxima curvatura (Gómez-Landeta, 1978).

Al S de la Falla del Aramo se manifiesta el **Antiforme de los Veneros**. Esta estructura puede relacionarse con una rampa cabalgante, asociada probablemente a un cambio lateral en el nivel de despegue del Cabalgamiento del Aramo (Aller, 1993). Es en esta última zona, al S de la Falla del Aramo, donde se recoge todo el trabajo cartográfico efectuado para la elaboración de esta memoria.

Los datos recopilados acogen un total de 4 galerías de interior (Los Veneros, Chobes, Nivel 0 y Nivel 4), además de medidas de dirección y buzamiento de las estructuras que presentan mineralización, fracturación y/o estratificación en esta parte de la sierra (Cubiello, Rubiello, Cercado 1-2 y Gamoniteiro 1-2-3-4), véase figura 11.



Figura 11. Área de trabajo con las localizaciones más representativas al S de la Falla del Aramo. Elaboración propia.

La mineralización de Cu-Co-Ni del yacimiento del Aramo se presenta prácticamente en su totalidad en la alteración dolomítica de la Caliza de Montaña. El filón Santa Bárbara del nivel 4 de explotación es el único que muestra mineralización encajada en la propia caliza

El trabajo cartográfico diferencia tres zonas concretas de exploración: Zona Veneros-Chobes, Zona Gamoniteiro y Zona Mina Aramo (Fig. 12). Dichas zonas concentran todos los datos y resultados obtenidos para la caracterización del yacimiento en cuestión (Anexos 2 y 3).

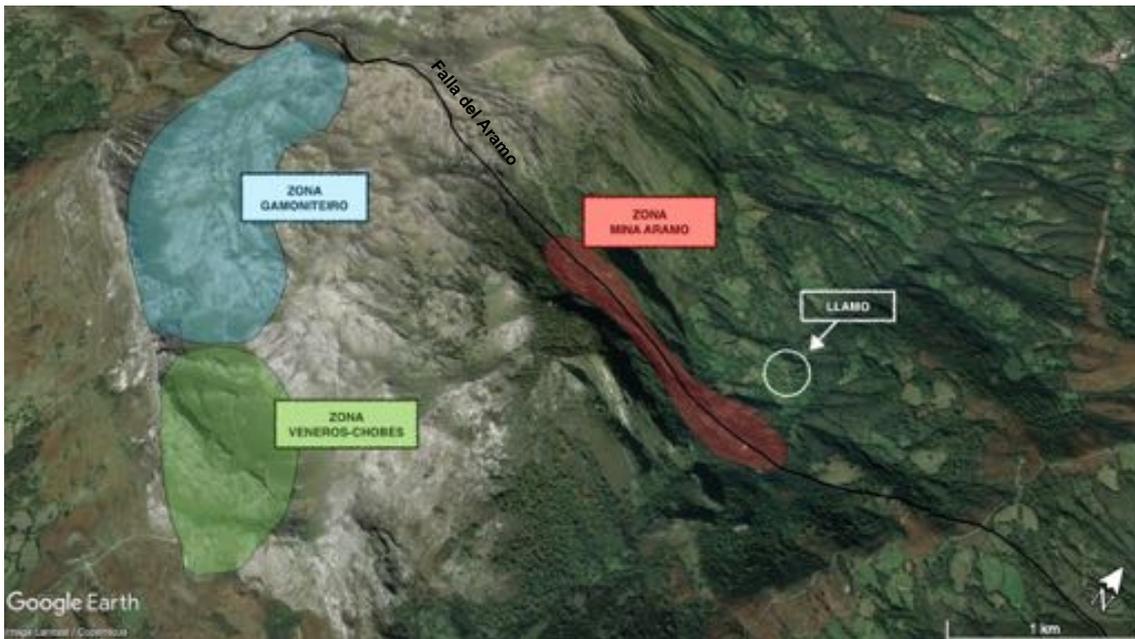


Figura 12. Zonas de exploración cartográfica al S de la Falla del Aramo. Elaboración propia.

5.1 LOS VENEROS Y CHOBES

Estas dos galerías forman el límite sur de la sierra del Aramo. Aunque con direcciones y longitudes distintas, presentan características comunes en la disposición de las vetas mineralizadas.

Con respecto a **Chobes**, existe una pequeña zona de cizalla en el límite sur de la sierra que, tanto en galería como en superficie, aparece paralela a la falla del Aramo. Esta zona de cizalla de 10m de espesor es en la cual se concentra en profundidad el mineral explotado en Chobes. La galería se dispone en dirección N160°E y casi perpendicular a ella se manifiesta la zona de cizalla en dirección E-W/60°-70° S (Fig. 13). Únicamente fueron posibles explorar 120m de galería, siendo desconocida la longitud total de esta explotación.

Es en la zona de cizalla, a 120m desde la entrada de la galería, donde se dispone la mineralización de Co. En este caso, la mineralización esta formada por un recubrimiento de Eritrina ($\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), en forma de patina, sobre bloques de caliza. Existe también un importante relleno de arcilla asociado a esta zona de cizalla, que de igual modo, presenta un recubrimiento del mineral de Co de grano fino (Fig. 13).



Figura 13. Caracterización de la Zona Chobes. En negro la proyección de la galería. Imagen de Eritrina en la zona de cizalla en el interior de la galería. Elaboración propia.

Los Veneros presentan dos niveles de trabajo, inferior y superior. En el nivel inferior, por debajo de la carretera, se sitúa la entrada a la galería de Los Veneros, con dirección $N40^{\circ}E$ y una longitud total de 70m. Al final de la explotación aparecen dos vetas mineralizadas, de 3m y 1m de espesor. Ambas vetas distan 15 m y tienen dirección $N130^{\circ}E/80^{\circ}NE$. El nivel superior de Los Veneros lo forman las labores superficiales ($N125/80NE$) que exteriorizan la continuidad de los trabajos en superficie sobre ambas vetas mineralizadas. La estratificación aquí se dispone $N110^{\circ}E/60^{\circ}S$ (Fig. 14, 15 y 16). La mineralización que presenta la zona de Los Veneros se compone de Malaquita (Cu_3CO_3). y Asbolana($(Ni, Co)_2MnO_4$), como minerales principales.

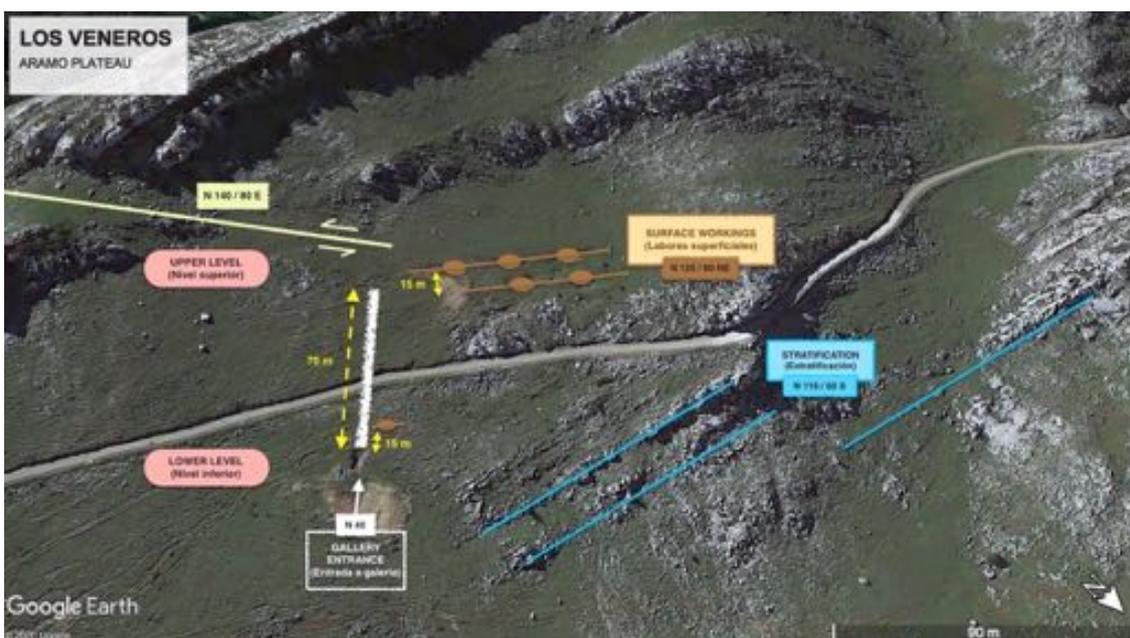


Figura 14. Caracterización estructural de la Zona de Los Veneros. Elaboración propia.



Figura 15. Labores superficiales de la Zona Los Veneros, Nivel superior Los Veneros.

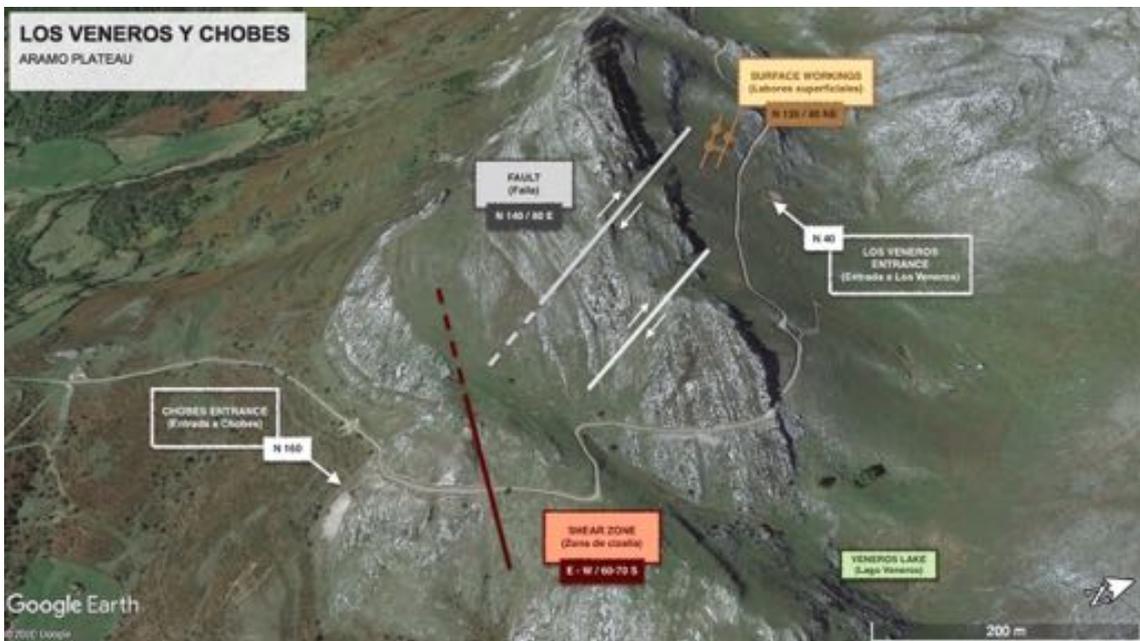


Figura 16. Caracterización estructural general de la Zona Veneros-Chobes. Elaboración propia.

5.2 CUBIELLOS, RUBIELLOS Y GAMONITEIRO

Aunque en menor magnitud que Los Veneros, la zona del Gamoniteiro presenta labores superficiales bien distinguidas. Estas labores son Cubiellos y Rubiellos que se disponen en dirección N140°E. Entre estas dos labores aparecen evidencias de una veta, posiblemente mineralizada en profundidad, a la altura del cercado para ganado. Este punto, que llamaremos **Cercado 2** exhibe un venado de calcita sin mineralización superficial aparente, pero misma tendencia de dirección N120° - N140°E que las vetas hasta ahora mencionadas (Fig. 17). La estratificación de la caliza en este punto (**Cercado 1**) es N110°E/40°SW (Fig. 18).



Figura 17. Ubicación de Cubiellos, Rubiellos, Cercado 1 y 2 en dirección N140 E. A la derecha imagen de las labores en Rubiellos. Elaboración propia.

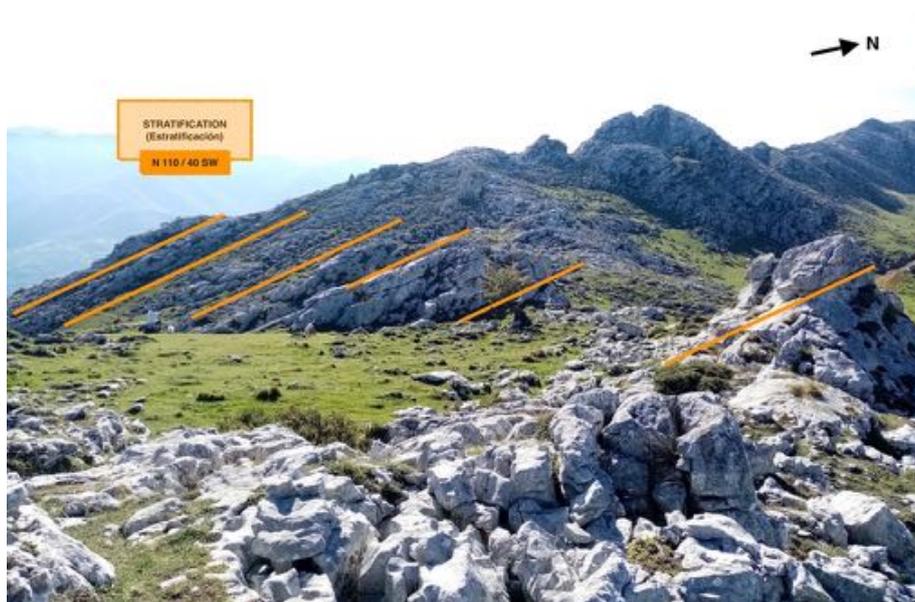


Figura 18. Estratificación de la caliza de montaña en Cercado 1. Elaboración propia.

Los puntos nombrados **Gamoniteiro 1, 3 y 4** representan, claramente la estratificación de la caliza en esta zona, ver Tabla 1 y Figura 19. La localización **Gamoniteiro 2** protagoniza una zona de fracturación vertical de 15 m de espesor y dirección N-S con alteración dolomítica asociada (Fig. 19).

ESTE	NORTE	Altitud (m)	ZONA	DATUM	LOCALIZACION	Descripción	DIRECCION
262585	4784916	1609	30N	WGS84	GAMONITEIRO 1	Plano de estratificación. Zona más masiva con menos fracturación	N 120 / 40 NE
262491	4785127	1642	30N	WGS84	GAMONITEIRO 2	Zona de fractura de 15m de potencia y alteración dolomítica asociada	N-S / 90
262636	4785536	1728	30N	WGS84	GAMONITEIRO 3	So	N 165 / 70 NE
						Diaclasado	E-W / 70 N
262591	4784830	1608	30N	WGS84	GAMONITEIRO 4	So	N 120 / 40 NE

Tabla 1. Datos cartográficos de la Zona Gamoniteiro. Localización, dirección y buzamiento de los puntos Gamoniteiro 1, 2, 3 y 4

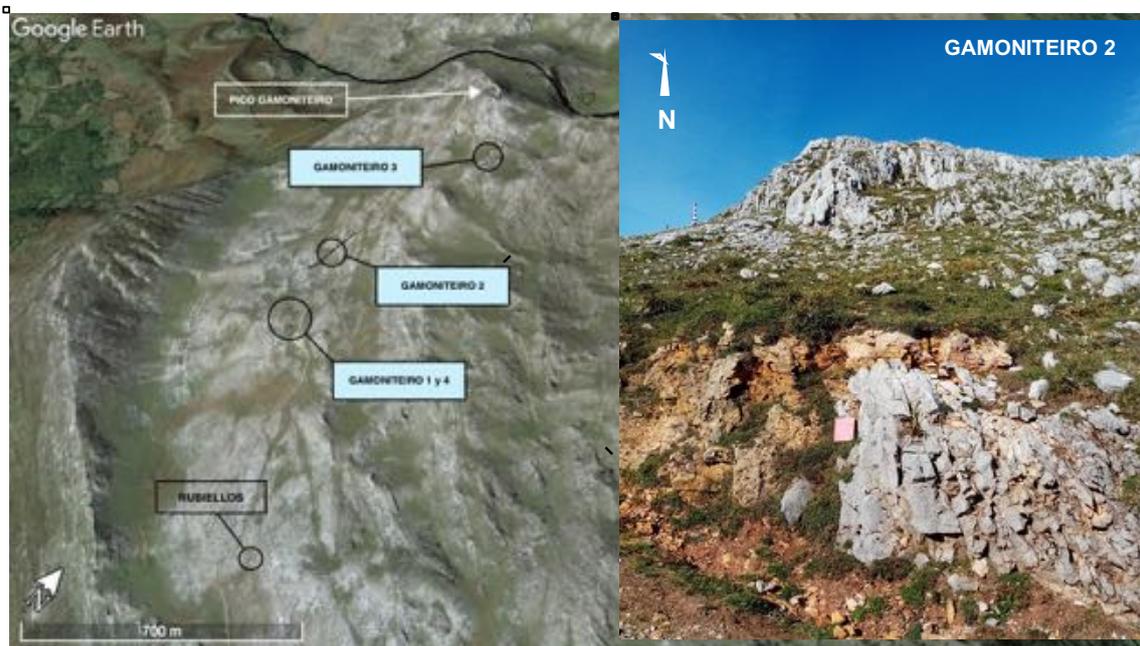


Figura 19. Localización de los puntos Gamoniteiro 1, 2, 3 y 4. A la derecha imagen de la zona de falla de 15 m de potencia y dirección N-S. Elaboración propia.

5.3 MINA DE ARAMO

La zona de las explotaciones del Aramo se sitúa en la ladera este de la sierra. En aproximadamente 530 m de diferencia en altura, nos encontramos 5 niveles de galerías de interior explotadas, a los que únicamente se ha podido acceder a dos de ellas, Nivel 4 y Nivel 0 (Fig. 20). El resto de galerías son inaccesibles.



Figura 20. Localización de las galerías Nivel 0 y el Nivel 4 de explotación de la mina del Aramo. A la derecha, imagen de las instalaciones del poblado minero de Rioseco. Elaboración propia.

El **Nivel 4** es la galería más grande explorada de la zona. Con una dirección N-S y una longitud de 160 m en total, esta galería corta transversalmente los filones E-W de la explotación minera. Lo más destacado en este nivel es el sistema de filones y fracturas que aparecen: los filones mineralizados E-W (filón Santa Bárbara, filón San Pedro y filón Horse Head) y el sistema de fracturas N140°E con algunas de estas fracturas rellenas de mineral, véase la Figura 21.

El **Nivel 0** o **Socavón**, es el intento de búsqueda de mineral en la cota más baja hasta el momento. La dirección de la explotación es E-W y existen registros en la bibliografía que cortó mineral al fondo de galería (1 Km). El Nivel 0 se ha podido explorar exclusivamente en los primeros metros de túnel ya que se dispone a favor de una zona de falla que atraviesa la galería en su mayor parte en dirección E-W y las rocas rompen aquí en forma de cuña (Fig. 22).

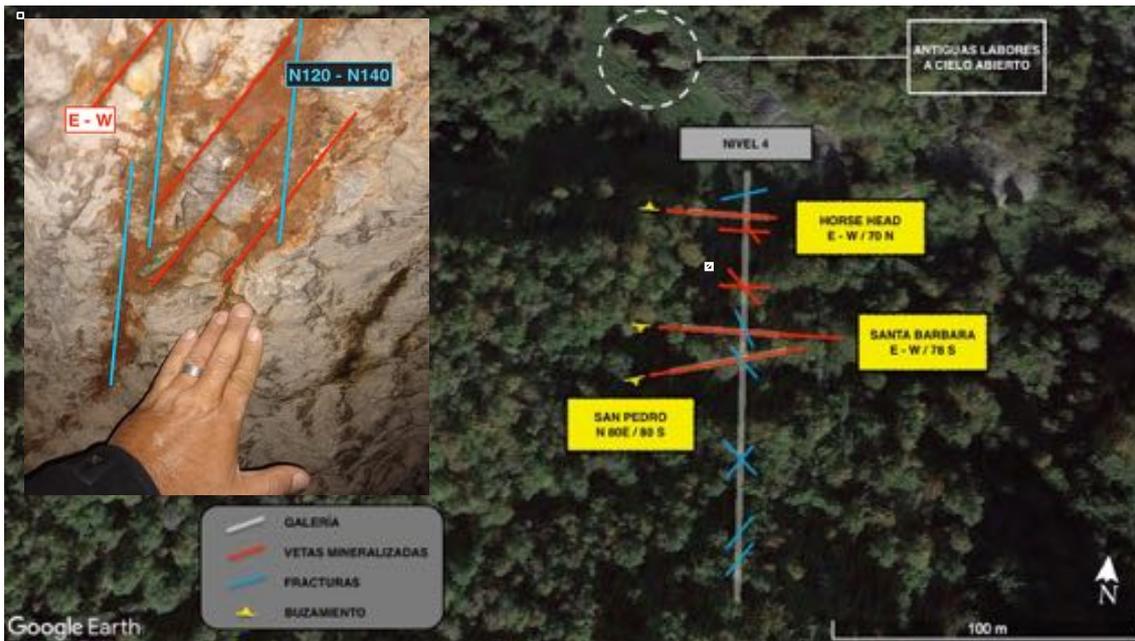


Figura 21. Sección en planta del Nivel 4 y sus filones principales: San Pedro, Santa Bárbara y Horse Head. A la izquierda, imagen de la intersección de fracturas mineralizadas E-W y N140E. Elaboración propia.



Figura 22. Disposición de las capas en Nivel 0 - Socavón a favor de la zona de falla y la dirección de la galería E-W

6. DISCUSIÓN

Por un lado, como resultado del estudio de la Mina del Aramo en campo, como de la información obtenida por medio de la bibliografía recopilada con respecto a la misma, se pueden establecer una serie de características generales bien determinadas.

El depósito se presenta en forma de venas y lentejones localizados en las fallas subverticales de dirección E-W y NE-SW. La mineralización se encuentra dentro la denominada “Unidad del Aramo”, conocida también como “Caliza de montaña”. Las rocas encajantes son calizas negras bituminosas, fétidas, muy karstificadas de edad Carbonífero Superior. El yacimiento mineral está ligado genéticamente a una dolomitización, proceso de alteración más importante en la zona.

Aunque la morfología y comportamiento de estos cuerpos de dolomitización que albergan el mineral es, en cierto modo, algo aún desconocido, es posible afirmar que las dolomitizaciones se instalan a favor de los planos de fracturación existentes en la sierra, generando potentes halos de alteración con mineralización en dichas zonas.

El modelo de dolomitización por convección termal, tomado y propuesto por Gasparrini et al. (2006), explica el proceso de dolomitización existente en la Unidad Sobria-Bodón, para la zona sur de la Zona Cantábrica, donde se ubican dos minas de Cu-Co-Ni y Fe, Mina Profunda y Mina Providencia, de características muy similares a la Mina de Aramo. Este modelo se ajusta a la flexión oroclinal y adelgazamiento cortical inducido por la delaminación litosférica, que proporcionaría el calor necesario para desencadenar la convección de fluidos y la precipitación de dolomita. Algunos de estos depósitos han sido descritos por varios autores como depósitos epitermales encajados en rocas carbonatadas, entre ellos, la mina Aramo (Paniagua et al., 1993; Paniagua et al. 1996).

Con respecto a la mineralización, las menas del yacimiento aparecen rellenando cavidades. Se compone principalmente por sulfuros, sulfoarseniuros y óxidos de Cu-Co-Ni y Fe. Dolomita como ganga. Las condiciones de formación son de temperatura y presión bajas (Gómez-Landeta, 1978).

La mineralización primaria se puede relacionar con el frente de cabalgamiento y la falla del Aramo, ambos inmediatos a la zona mineralizada, siendo estas y sus unidades estructurales asociadas, decisivas en la canalización de los fluidos hidrotermales en los procesos de compactación (García-Iglesias, 1972). La mineralización secundaria se inicia cuando la mineralización primaria es afectada por procesos de oxidación supergénica, cuya evolución se correlaciona con la gran porosidad secundaria que tiene la roca favorecida por el proceso de karstificación y dolomitización.

Por tanto, el yacimiento de la mina del Aramo se define como un yacimiento epigenético, que se dispone a favor de accidentes de la roca caja. Es posible que esté ligado genéticamente la falla del Aramo.

Por otro lado, a lo largo de este estudio y con los datos de las características generales del yacimiento hasta aquí expuestos, se establecen una serie de hechos relacionados con los datos recopilados en la cartografía de este trabajo.

Con respecto a la galería Chobes, existe una pequeña zona de cizalla en el límite sur de la sierra que, tanto en galería como en superficie, aparece en dirección E-W de igual modo que la Falla del Aramo.. Esta zona de cizalla, paralela a la falla del Aramo, se puede interpretar como un accidente menor asociado a la misma (Fig. 13).

En la zona de Los Veneros, por encima del nivel superior, existen dos fallas paralelas de dirección N140°E/80°E que se pueden observar en la Figura 16 dibujadas en color gris claro.. Estas fallas podrían ser las causantes y portadoras de la mineralización en la galería de Los Veneros, en base, únicamente, a criterios de posición y dirección de las fallas con respecto a la dirección que muestran las labores superficiales del nivel superior de Los Veneros (Fig. 16).

Como resultado de los datos agrupados de Cubiellos, Rubiellos, Cercado 1 y Gamoniteiro 1-3-4 (Tabla 1 y Anexo 2) se deduce un anticlinal cuyo eje axial se determina en la bipolaridad de los datos de buzamiento registrados (Fig. 23 y 24). Esta formación anticlinal presenta su charnela actualmente fracturada y erosionada, véase la Figura 23.

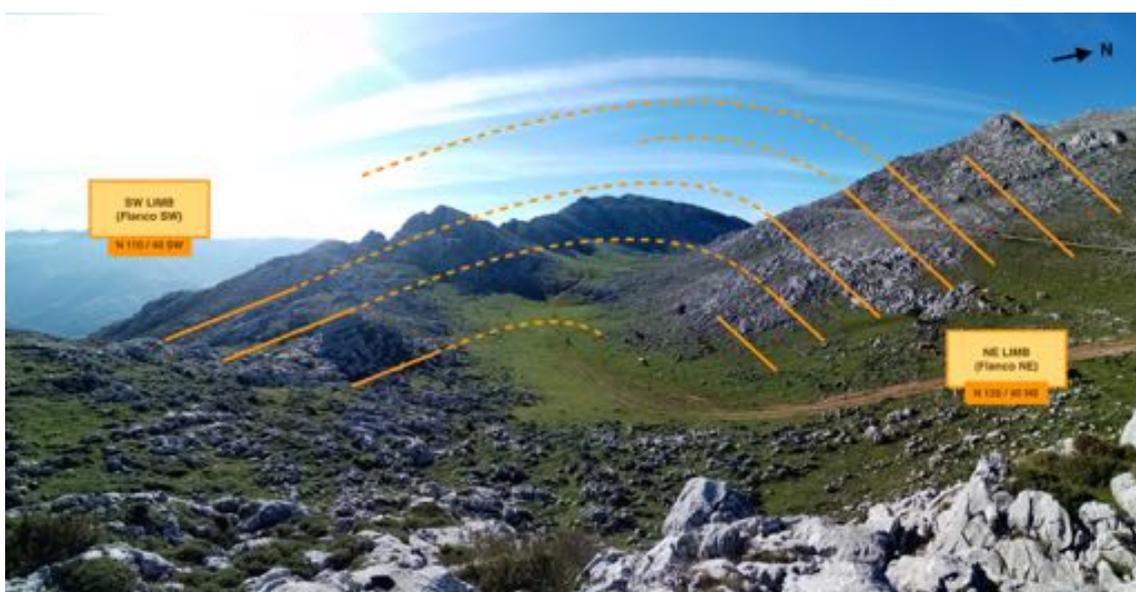


Figura 23. Anticlinal cuya zona de charnela se presenta hoy en día fracturada y erosionada. Imagen tomada desde Cercado 1. Elaboración propia.



Figura 24. Eje anticlinal supuesto de los datos de buzamiento de la Zona Gamoniteiro. Elaboración propia.

La diferencia de dirección en la estratificación entre Gamoniteiro 1 y 4 (N120°E) con respecto a Gamoniteiro 3 (N165°E), se relaciona con el arrastre y arqueamiento de los materiales producido por la Falla del Aramo en su desplazamiento (Fig. 24).

Mediante el análisis conjunto de todos los datos cartográficos obtenidos y agrupados de las diferentes zonas reconocidas, Zona Veneros-Chobes, Zona Gamoniteiro y Zona Mina Aramo, se aprecia una clara tendencia N-S, E-W y N120°-140°E bien definida en los sistemas de fracturación. Se establecen entonces estas tres familias predominantes en esta zona de la sierra del Aramo y se presentan los Anexos 4 y 5 como el conjunto total de datos recopilados organizados según estos sistemas de fracturas. Véase Anexos 4 y 5.

Estos sistemas de fracturas principales N-S, E-W y N140°E se atribuyen al reapretamiento tectónico de la Rodilla Astúrica, ayudando a resolver los problemas de espacio que aquí se dieron.

7. CONCLUSIONES

Completando por un lado la exploración en superficie de la zona sur de la sierra del Aramo, como la exploración de interior de las galerías presentes, se elabora un modelo geológico final que incluye el resultado de la correlación de los datos recopilados en ambas zonas.

En consecuencia se presenta el Anexo 6 como punto final del estudio y de la caracterización estructural de la mina del Aramo en Asturias. En este esquema se incluyen las localizaciones estudiadas de la Sierra más representativas, del mismo modo que se incluyen los datos y resultados obtenidos, ofreciendo todo ello, una sección transversal idealizada del modelo geológico general del área de estudio.

Como resultado del análisis del registro de datos cartográficos, se establecen tres familias de fracturación predominantes N-S, E-W y N120°-140°E.

En la zona del Plateau, existen vetas mineralizadas bien definidas a lo largo de más de 900m de longitud en dirección preferente N120-140E (Los Veneros, Cubiellos, Rubiellos y Cercado 2, véase Figura 17. Por otro lado, el sistema E-W se manifiesta en las galerías de la zona oriental del Aramo. Aunque en menor medida, el sistema N-S manifiesta igualmente importantes zonas de fracturación con dolomitización asociada (Gamoniteiro 2).

Estas evidencias a pequeña y gran escala prueban que la intersección de estos sistemas produce un engrosamiento de la alteración y por ello de la mineralización, siendo estos los puntos objetivos para la búsqueda del aprovechamiento mineral, véase Figura 21.

El potencial en profundidad de estas estructuras es muy significativo y hasta ahora está completamente sin investigar y sin explorar a pesar de que hay evidencia de alteración/mineralización en superficie (Los Veneros-Chobes) y en profundidad (Nivel 4) en más de 500m de desarrollo en la vertical.

La combinación de fracturas orogénicas como resultado de la flexión oroclinal de la Zona Cantábrica, la rotura del apretado conjunto de charnelas anticlinales en la meseta del Aramo y el adelgazamiento y calentamiento de la corteza como resultado de la delaminación litosférica, favorece la removilización tectónica de elementos contenidos en la roca de caja.

Finalmente, acorde a los resultados obtenidos en este trabajo, se destaca la existencia de un fuerte control estructural de las mineralizaciones. Los fluidos hidrotermales responsables de la formación del yacimiento, precipitan la mineralización, tanto hipogénica como supergénica, a bajas presiones en relación con trampas estructurales, siguiendo las familias principales N-S, E-W y N120°-140°E. Tanto la dolomitización como las venas de carbonatos son más pervasivas en los alrededores de zonas fracturadas y brechificadas o zonas permeables entre los niveles estratigráficos de caliza dolomitizada. Al no tener relaciones de corte claras, es posible que estos

sistemas de fracturas hayan ocurrido en un lapso de tiempo dilatado lo cuál resalta el fuerte carácter epigenético de la mineralización.

Se presentan en el Anexo 6 la hipótesis genética de un origen epitermal siguiendo las ideas de Paniagua (1988) quién propone que los fluidos mineralizadores provendrían de la exolución de un intrusivo infrayacente oculto y que estos habrían evolucionado hasta precipitar en niveles muy someros a bajas P y T. Alternativamente se propone el esquema de un fluido de cuenca profundo, inyectado a favor de cabalgamientos, posiblemente tuvo un papel principal el cabalgamiento que separa las Calizas de Montaña y la cuenca Carbonífera Central, pues todas las mineralizaciones aparecen justo por encima de esta estructura. Por otro lado la fuerte dolomitización y las altas salinidades favorecen esta hipótesis que al igual que la anterior, no presenta evidencias suficientes para explicar la fuente de los metales ni las condiciones de los fluidos que transportan y precipitan el Ni y el Co en la Sierra del Aramo.

Sin embargo, con los datos geológicos actuales sobre esta mineralización, no parece conveniente decidirse por ninguna hipótesis genética concreta, apuntándose este trabajo y el Anexo 6 como una posible base teórica para el estudio en mayor profundidad de la unidad geológica del Aramo y las estructuras de mineralización potencialmente asociadas a dicha unidad.

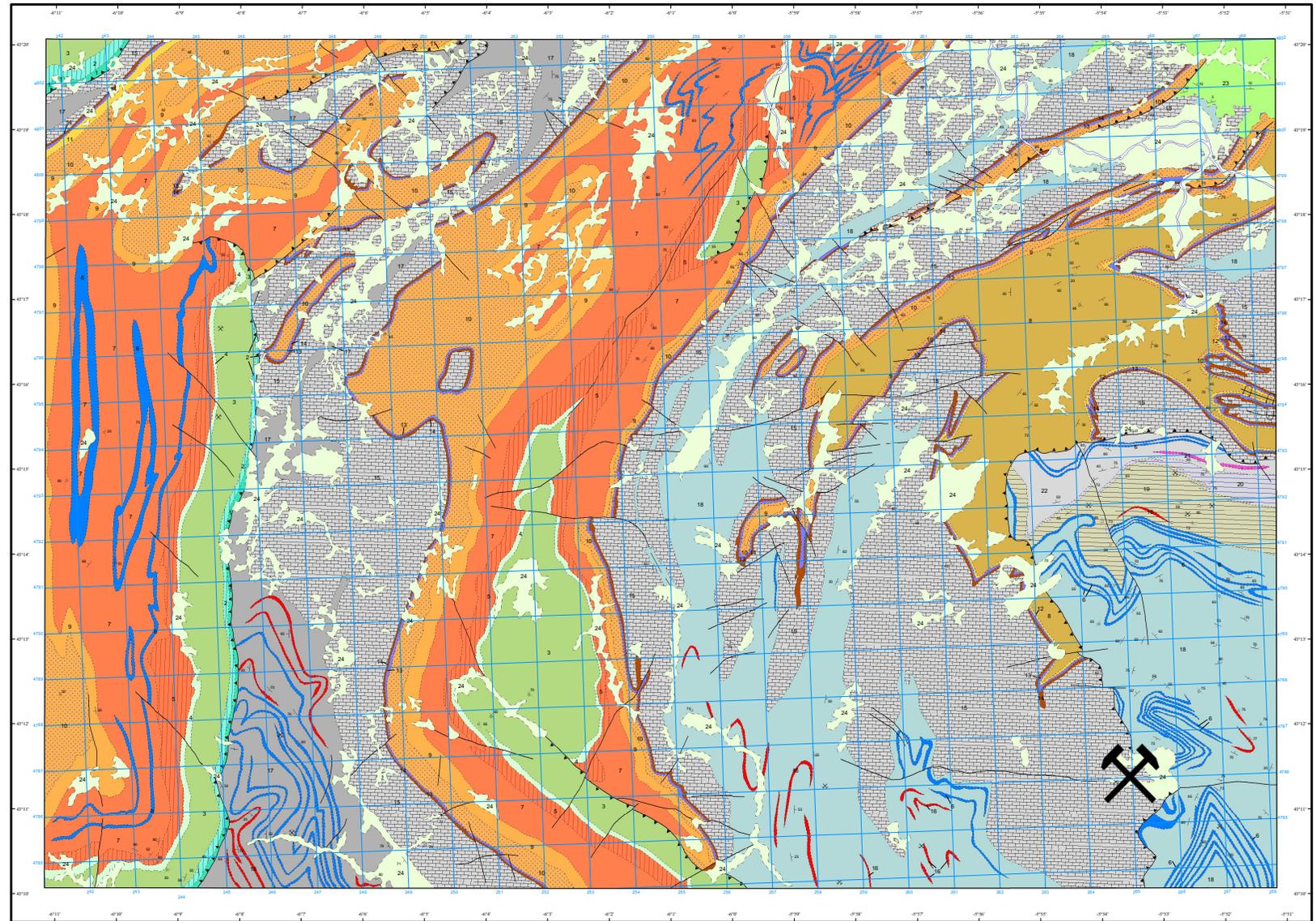
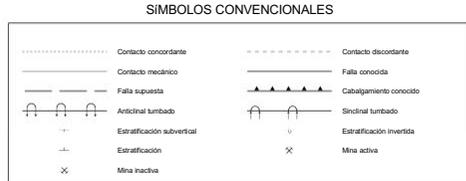
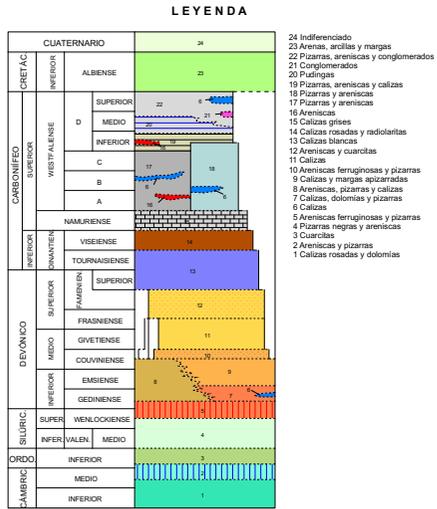
8. BIBLIOGRAFÍA

- Aller, J. (1993). La estructura geológica de la Sierra del Aramo (Zona Cantábrica, NO de España). *Trabajos de Geología*, 19(19), 3-15.
- Beato Bergua, S., Poblete Piedrabuena, M. Á., Rodríguez Pérez, C., & Marino Alfonso, J. L. (2019). Geomorphology of the Sierra del Aramo (Asturian Central Massif, Cantabrian Mountains, NW Spain). *Journal of Maps*, 15(2), 590-600.
- Blas Cortina, M. A. y Suárez Fernández, M. (2010): "La minería subterránea del cobre en Asturias: un capítulo esencial de la Prehistoria reciente del norte de España". *Cobre y oro. Minería y metalurgia en la Asturias prehistórica y antigua*. J. A. Fernández- Tresguerres (coord.). Oviedo. Real Instituto de Estudios Asturianos, 43-82
- Blas Cortina, M. A. (2014): "La minería prehistórica del cobre en la región cantábrica y algunas facetas esenciales de las labores de la Sierra del Aramo (Asturias)". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24, 45-84.
- Budinger, P. y Kullman, J. (1964).- Zur Frage von Sedimentationsunterbrechungen im Goniatitenund Conodonten-fuhrenden Oberdevon und Karbon des Kantabrischen Gebirges (Nordspanien). *Neues Jahrb. Geol. Paläont, Mh.*, 7, 414-419, Stuttgart.
- Claverol, M. G. y Cabal, C. L. (1993). *Recursos del subsuelo de Asturias*. Universidad de Oviedo.
- Dory y Villers, A. (1893a). "Las antiguas minas de cobre y cobalto del Aramo". *Revista Minera Metalurgia y de Ingeniería N° 1463*. Oviedo. Pp. 332-337.
- Dory y Villers, A. (1893b). "Las antiguas minas de cobre y cobalto del Aramo". *Revista Minera Metalurgia y de Ingeniería N° 1466*. Oviedo. Pp. 361-366.
- Fernández, C. J., Moreiras, D., & Paniagua, A. (1985). Mineralogía y paragénesis mineral de la Mina Providencia (Cármenes, León). *Trabajos de Geología*, 15(15), 239-249.
- García-Iglesias, J. (1972) : Los yacimientos de fluorita en Asturias. Fundación Juan March (informe inédito), Madrid.
- Gasparrini, M., Bechstädt, T., & Boni, M. (2006). Massive hydrothermal dolomites in the southwestern Cantabrian Zone (Spain) and their relation to the Late Variscan evolution. *Marine and Petroleum Geology*, 23(5), 543-568.

- Gómez-Landeta, F. (1978). Estudio geológico de las mineralizaciones de Cu y Co del SE del Aramo.
- Gómez-Landeta, F. y Solans, J. (1981). Procesos supergénicos en la mina de cobre del Aramo, Asturias. *Boletín Geológico Minero Madrid*, 92, 429-436.
- Gutiérrez-Alonso, G., Fernández-Suárez, J., Weil, A.B., 2004. Orocline triggered lithospheric delamination. In: Weil, A.B., Sussman, A. (Eds.), Special Paper. Geological Society of America, Boulder, pp. 121–131.
- Huelga-Suarez, G., Moldovan, M., Suárez Fernández, M., De Blas Cortina, M. A., Vanhaecke, F., & García Alonso, J. I. (2012). Lead isotopic analysis of copper ores from the Sierra El Aramo (Asturias, Spain). *Archaeometry*, 54(4), 685-697.
- IGME (1980): Estudio Hidrogeológico de la Cuenca norte de España (Asturias).
- IGME (1984): Investigación Hidrogeológica de la Cuenca norte de España (Asturias).
- ITGE (1982): Estudio Hidrogeológico de la Cuenca norte de España (Asturias).
- Julivert, M. (1963). Estudio geológico de la sierra del Aramo y cuencas de Riosa y Quirós. *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, tomo LXXIV, 89-167.
- Julivert, M. (1964). *Mapa geológico de Asturias. Hoja no 3: Estudio geológico de la Sierra del Aramo, Cuenca de Riosa y extremo meridional de la Cuenca de Quirós*. Oviedo: RIDEA.
- Martínez Catalán, J. R., Aller, J., Alonso, J. L., & Bastida, F. (2009). The Iberian Variscan orogen. *Spanish Geological Frameworks and Geosites: An Approach to Spanish Geological Heritage of International Relevance*. IGME, 13-27
- Moore, C.H., 1989. Carbonate Diagenesis and Porosity. *Developments in Sedimentology*, 46, Elsevier, Amsterdam, 338 pp.
- Paillette, A. (1855). Estudios químicos-mineralógicos sobre la caliza de montaña (caliza metalífera o carbonera) de Asturias. *Revista Minera*, 6, 289-305.
- Paniagua, A., Rodríguez-Pevida, L.S., Garzón, L., Pérez, J.M. y Quintana, A. (1987): Presencia de una paragénesis Cu-Ni-Co-U-As-S en la zona cantábrica: la Mina Profunda (Cármenes – León). *Geogaceta*, 2, 22-24.
- Paniagua, A.; Rodríguez Pevida, L.S.; Loredó, J.; Fontboté, L. y Fenoll Hach-Alí, P. (1996): Un yacimiento de Au en carbonatos del Orógeno Hercínico: el área de Salamón (N León). *Geogaceta*, 20, 1605-1608.

- Paniagua, A. Loredo, J. & García-Iglesias, J. (1988): Epithermal (Cu-Co-Ni) mineralization in the Aramo mine (Cantabrian mountains, Spain): correlation between paragenetic and fluid inclusion data. *Bull. Mineral.*, 111, 383-391.
- Pastor-Galán, D., Gutiérrez-Alonso, G., & Weil, A. B. (2011). Orocline timing through joint analysis: Insights from the Ibero-Armorican Arc. *Tectonophysics*, 507(1-4), 31-46.
- Pello, J. (1976).- Mapa geológico de España, E. I: 50.000, Hoja N° 52 (Proaza). *Inst. Geol. Min. Esp.*
- Purser, B.H., Tucker, M.E., Zenger, D.H., 1994. Problems, progress and future research concerning dolomites and dolomitization. In: Purser, B., Tucker, M., Zenger, D. (Eds.), *Dolomites. A Volume in Honour of Dolomieu*. Int. Assoc. Sedimentol. Spec. Publ. 21, 3–20.
- Terente, L. M. R., González, Á. F., Quintana, J. Á., Coronas, A. M. B., Troiteiro, N. F., Llera, A. R., & Sales, G. (2011). Caracterización de Cristales de Aragonito en las Minas del Aramo (Riosa, Asturias). *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (15), 177-178.
- Weil, A. B., Van der Voo, R., Van der Pluijm, B. A., & Parés, J. M. (2000). The formation of an orocline by multiphase deformation: a paleomagnetic investigation of the Cantabria–Asturias Arc (northern Spain). *Journal of Structural Geology*, 22(6), 735-756.

9. ANEXOS



Área de Sistemas de Información Geocientífica
Revisión vectorial: Yolanda Martín Ferrero

Escala 1:50.000

Proyección y Cuadrícula UTM, Elipsoide Internacional, Huso 29

NORMAS, DIRECCIÓN Y SUPERVISIÓN DEL I.G.M.E.
AÑO DE REALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA: 1973
Autor: J. Pello (ENADIMSA)
Dirección y supervisión: (IGME)

ZONA	ESTE	NORTE	Altitud (m)	ZONA	DATUM	LOCALIDAD	UBICACION I	PUNTO TIPO	Lado (E./O.)	Una Descripción	GENERAL	DIRECCION	RUZ	POTENCIAL	Fecha	Geólogo	
VENEROS-CHOBI	26002	478882	140	SON	WGS84	LOS VENEROS inferior	Entrada general	GALENA		DIRECCION GALENA		N 40			8/5/00	Victor A. Santiago G.	
								ESTRUCTURA	Este	Colocaciones a gran escala. Fin. indistinto?		N 40	30°				
												N 12	30°				
								VETA		Brecha estirada (2m) con arena de caliza y mineralización (30 g/ton)	?	N 120	80°	3m			
								VETA		Pequeña brecha estirada (20cm) con arena de caliza aparentemente sin mineralización		N 120	80	60cm			
								ENTRADA GENERAL									

ZONA	ESTE	NORTE	Altitud (m)	ZONA	DATUM	LOCALIDAD	UBICACION I	PUNTO TIPO	Lado (E./O.)	Una Descripción	GENERAL	DIRECCION	RUZ	POTENCIAL	Fecha	Geólogo	
SAMONTEIRO	26004	478834	140	SON	WGS84	MINA CUMBELLO	Sistema superficial	LACRES		Lacres mineralizados		N 140			4/5/00	Victor A. Santiago G.	
								ESTRUCTURA		Planos de fracturación		N 140					
								ESTRUCTURA		Planos de fracturación		N 30					
								ESTRUCTURA		Sur?		N 5	40°				

ANEXO 2. Datos cartográficos tomados en las diferentes zonas de exploración.

	ESTE	NORTE	Altitud(m)	ZONA	DATUM	LOCALIZACION	UBICACION E	PUNTO TIPO	Descripcion	MINERAL	DIRECCION	BUZ	Fecha	Geólogo	
SISTEMA E-W	263820	4783832	1404	30N	WQ084	LOS VENEROS inferior	Interior galería	FALLA	Falla sencilla con reflejos arcillosos		N 85	1	8/9/20	VA y SO	
	263448	4783917	2400	30N	WQ084	LOS VENEROS 2		VETA	Vena de calcita con mineral		N 120	90			
	264080	4783347	2317	30N	WQ084	CHOBES	Interior galería	ZONA DE CICALA FALLA	Fractura sencilla con cantos angulosos		E-W	40/70 E			
	262636	4783334	2128	30N	WQ084	SANDONTERO 2		ESTRUCTURA	Dieléctico		E-W	70 N			
	263436	4783434	2171	30N	WQ084	PICO SANDONTERO	Estación Sandontero	ESTRUCTURA	Planos de fracturación		N 105	90			
	264436	4783321	2178	30N	WQ084	LEVEL 4		130 m	FALLA	Falla simple de arcilla		E-W			30 N
								125 m		Deflexión gen asociada a reflejos de calcita (hacia el este)		E-W			30 E
								70 m	VETA	Vena mineralizada	X	N 80			80 E
								82 m	VETA	Vena mineralizada		E-W			78 E
								30 m	ESTRUCTURA	Intersección de estructuras, engrosamiento y mineral en la unión	X	E-W / N 140			
								23 m	VETA	Vena mineralizada	X	E-W			60 N
	20 m	VETA	Vena mineralizada	X	E-W	70 N									
11 m	VETA	Vena mineralizada	X	E-W	70 N										
264436	4783321	2178	30N	WQ084	LEVEL 4	Pisar laberos antiguos		Dieléctico?		E-W	90				
263436	4783434	2171	30N	WQ084	LEVEL 5	Sección		Sistema de fracturas		E-W	71 N				
										E-W	60/70 E				

	ESTE	NORTE	Altitud(m)	ZONA	DATUM	LOCALIZACION	UBICACION E	PUNTO TIPO	Descripcion	MINERAL	DIRECCION	BUZ	Fecha	Geólogo
SISTEMA N 140E	263820	4783832	1404	30N	WQ084	LOS VENEROS inferior	Interior galería	VETA	Vena explotada	X	N 140	60 NE	8/9/20	VA y SO
								VETA	Vena explotada		N 130	90		
								FALLA	Sistema de fracturas		N 130	60 NE		
	263737	4783801	2442	30N	WQ084	LOS VENEROS superior	Labores superficiales	VETA / JACONES	Vena mineralizada	X	N 121	80 NE		
	263713	4783864	2440	30N	WQ084	LOS VENEROS 2	J de labores superficiales	ESTRUCTURA	Planos de fracturación		N 140	60 NE		
	263328	4784144	2400	30N	WQ084	MINA CUBELLOS	Labores superficiales	ESTRUCTURA	Planos de fracturación		N 140			
	263021	4784294	2334	30N	WQ084	RUBILLOS	Labores superficiales	LABORES	Brecha refina de calcita (1m) asociada a zona de fracturación (15m)		N 120	65 SW		
	264436	4783321	2178	30N	WQ084	LEVEL 4		VETA	Vena de calcita y antracita con mineralización aparente		N 120			
								110 m		Planos de fracturación		N 130	90	
								70 m		Fractura		N 140	90	
								55 m		Fractura		N 140		
								55 m	VETA	Vena mineralizada	X	N 130	40 SW	
21 m	VETA	Plano de fracturación con mineral negro: Adolana?	X	N 130	90									
21 m	VETA	Vena mineralizada	X	N 140	50 NE									

ANEXO 4. Datos cartográficos según sistemas E-W y N140E.

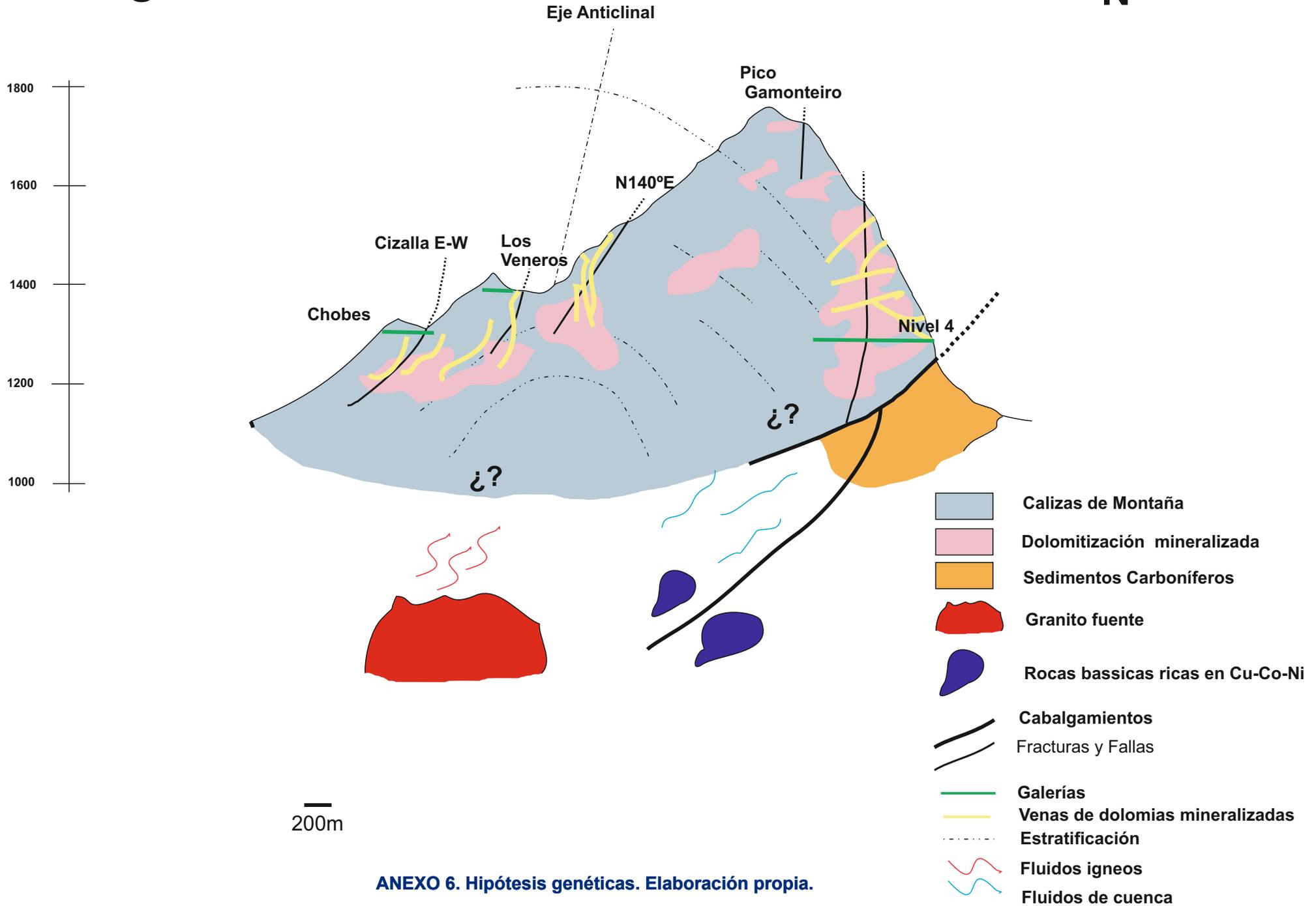
	ESTE	NORTE	Altitud (m)	ZONA	DATUM	LOCALIZACION	UBICACION 1	PUNTO TIPO	Descripción	MINERAL	DIRECCION	BUZ	Fecha	Geólogos
SISTEMA N - S	263820	4783832	1404	30N	WGS84	LOS VENEROS inferior	Interior galería	FALLA	Sistema de fracturas		N 5	80 E	8/9/20	VA y SG
	263713	4783884	1460	30N	WGS84	LOS VENEROS 1	7 de labores superficiales	ESTRUCTURA	Plano de fracturación		N 5	70 E		
	263469	4783957	1469	30N	WGS84	LOS VENEROS 2	Curva de la carretera	ESTRUCTURA	Plano de fracturación		N 5	60 E		
	263308	4784144	1489	30N	WGS84	MINA CUBILLOS	Labores superficiales	ESTRUCTURA	Plano de fracturación		N 30			
	263481	4783127	1642	30N	WGS84	GAMONITEIRO 2		FALLA	Zona de fractura		N 5	90	8/9/20	VA y SG
							148 m		Sistema de fracturas		N 30	90		
							139 m		Sistema de fracturas		N 30	90		
	264406	4783421	1178	30N	WGS84	LIVEL 4			Fractura simple		N 25	90		
							110 m		Plano de fracturación		N 25	90		
							60 m		Plano de fracturación		N 5	25 W		
264406	4783472	1170	30N	WGS84	LIVEL 4	Pilar labores antiguas		Plano de fracturación		N 5	90			

	ESTE	NORTE	Altitud (m)	ZONA	DATUM	LOCALIZACION	UBICACION 1	PUNTO TIPO	Descripción	MINERAL	DIRECCION	BUZ	Fecha	Geólogos
So	263820	4783832	1404	30N	WGS84	LOS VENEROS inferior	Entrada galería	ESTRUCTURA		So?	N 65	30 SE	8/9/20	VA y SG
											N 55	90 SE		
	263469	4783957	1469	30N	WGS84	LOS VENEROS 2	Curva de la carretera	ESTRUCTURA		So?	N 60	20 SE		
	262585	4784916	1609	30N	WGS84	GAMONITEIRO 1		ESTRUCTURA		So	N 120	40 NE		
	262636	4785536	1728	30N	WGS84	GAMONITEIRO 3		ESTRUCTURA		So	N 165	70 NE		
	262591	4784830	1608	30N	WGS84	GAMONITEIRO 4		ESTRUCTURA		So	N 120	40 NE		
262980	4784173	1513	30N	WGS84	CERCADO GANAOD 1		ESTRUCTURA		So	N 110	40 SW			

ANEXO 5. Datos cartográficos según sistema N-S y estratificación.

S

N



ANEXO 6. Hipótesis genéticas. Elaboración propia.



un
i Universidad
Internacional
de Andalucía
A



Universidad
de Huelva

