



Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riit.com.mx

Diseño de una nueva herramienta de corte para brocas de perforación en Minería

Design of a new cutting tool for drill bits

Ortiz-Rivera, A^a., Carrera-Escobedo, J^a., García-Ruiz, M^a., Cruz-Domínguez, O^a., Arroyo-Álvarez, A^a.,
Valdivia-Guzmán, C^b., Ortíz-Hernández, A^a., Vidales-Basurto, C^c., Durán-Muñoz, H^{c*}.

^a Ingeniería Industrial. Universidad Politécnica de Zacatecas. Plan de Pardillo Sn, Parque Industrial, 99059.
Fresnillo, Zac.

^b Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Avenida Universidad 940, C.U.,
20130. Aguascalientes, Ags.

^c Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica. Universidad Autónoma de Zacatecas. Jardín Juárez 147, Zacatecas
Centro, 98000. Zacatecas, Zac.

hectorduran3@gmail.com; angara5@hotmail.com; aortiz987@yahoo.com.mx; cesar.gzm@hotmail.com;
emcmario@gmail.com; racso_zurc@hotmail.com; jlcarrera@hotmail.com; claudiavidales22@gmail.com;
icearturoortiz@hotmail.com

Innovación Tecnológica: Desarrolló de una herramienta de corte para brocas de perforación, esto desde un nuevo enfoque de la simulación computacional.

Área de aplicación Industrial: Industria Minera Mexicana.

Recibido: 15 julio 2020

Aceptado: 30 octubre 2020

Abstract

Traditional manufacturing techniques applied in the Mexican Mining Industry require a high number of experimental tests, long periods of machining time used, and high economic costs are generated. To solve this problem, it is proposed to use the computational simulation technique, which turns out to be a faster, low-cost, highly accurate, simple, and reliable technique to evaluate the performance of a cutting tool. In addition, with this technique, it is possible to simulate different geometries during the machining process, without generating economic losses and increasing the test accuracy. For this reason, the objective of this work was to design and validate a new cutting tool for the internal string of drill bits used in mining. The methodology used was through the implementation of the computational simulation technique and later the manufacture of the new tool. Which was mounted on a computerized numerical control lathe, and it was simultaneously

introduced into the drill bit to perform the machining of the internal chord. To find the optimal geometry of such a tool, the finite element and design of experiment methods are used. Among the main results of this work is to identify the model that showed the best maximum effort performance, and that allows us to have a high safety factor. The deformation shown by the new cutting tool allows the manufactured parts to have adequate dimensional tolerances for their fit in the drill bit. The validation of the cutting tool design was carried out considering the cutting force that is generated in the machining process.

Keywords: Computer-Aided Design, Cutting Tools, Drill Bits and Computational Simulation.

Resumen

Las técnicas tradicionales de manufactura en la Industria Minera Mexicana, requieren de un alto número de pruebas experimentales, utilizan largos periodos de tiempo de maquinado y generan altos costos económicos. Para resolver tal problemática, se propone utilizar la técnica de simulación computacional, la cual resulta ser una técnica más rápida, de bajo costo, de gran exactitud, sencilla y confiable para evaluar el desempeño de una herramienta de corte. Además, con esta técnica es posible simular diferentes geometrías durante el proceso de maquinado. Es por ello, que el objetivo del presente trabajo fue diseñar y validar una nueva herramienta de corte para la cuerda interna de brocas de perforación utilizadas en la minería. La metodología utilizada fue mediante la implementación de la técnica de simulación computacional y posteriormente la manufactura de la nueva herramienta. Posteriormente, fue necesario montar tal herramienta en un torno de control numérico computarizado, y simultáneamente introducirla al interior de la broca de perforación para realizar el maquinado de la cuerda interna. Para encontrar la geometría óptima de la herramienta se utilizan los métodos del elemento finito y de diseño de experimentos. Entre los principales resultados de este trabajo se encontró el determinar la geometría de la herramienta de corte que mostró el mejor desempeño de esfuerzo máximo, y que permite tener un factor de seguridad alto. La deformación que mostró la nueva herramienta de corte, permite que las piezas fabricadas tengan tolerancias dimensionales adecuadas para su ajuste en la broca de perforación. La validación del diseño de la herramienta de corte se realizó considerando la fuerza de corte que se genera en el proceso de maquinado.

Palabras clave: Diseño asistido por computadora, Herramientas de corte, Brocas de perforación y Simulación computacional.

I. Introducción

La Industria Minera es considerada en algunos países como una “locomotora” para el desarrollo económico (Argaiz, 2014). Debido a que genera sustanciosos ingresos económicos, acelera la competitividad, estimula el comercio, entre otros (Madzík *et. al.*, 2016, Guirette-Barbosa *et. al.*, 2019). En el caso de la Industria Minera en México, es considerada una actividad fundamental

debido a que se encuentra entre los principales países proveedores de minerales a nivel internacional, además de generar cuantiosos dividendos económicos. En el año 2015, México ocupó el decimoséptimo lugar en la producción total de minerales, logrando generar cerca de 210 millones de dólares y extrayendo 5,955 toneladas de plata (Bastidas-Orrego *et. al.*, 2018; Reichl *et. al.*, 2017; SGM, 2019). Una manera adicional de incrementar los dividendos económicos

generados por la extracción de metales preciosos y minerales es por medio de la implementación de nuevas tecnologías (Zamora-Echenique y Trujillo-Lunario, 2016).

Debido a los altos dividendos económicos generados por la minería en México, resulta propicio el uso de nuevas tecnologías que ayuden a facilitar tal actividad. Para ello, es adecuado realizar un breve análisis de la evolución de las tecnologías utilizadas para la extracción, el procesamiento y la fundición de minerales, el cual se ha dado desde 1876 y continúa hasta la actualidad (Robles y Foladori, 2019). Entre los principales puntos de inflexión tecnológicos en la minería se encuentra el inicio de la mecanización, década de los cincuenta, en donde se introduce la maquinaria electromecánica y diésel en la minería (Sariego *et. al.*, 1988). Mientras que el estudio de la mecánica de rocas se desarrolla mayormente a partir de la década de los setenta. Con lo cual fue posible mejorar la planeación de operaciones en la Industria Minera (Ramírez y Alejano, 2004).

Otro importante punto de inflexión tecnológico en la minería fue en los años noventa, donde se generó una revolución digital, teniendo un gran impacto en el sector minero. Propiciando el surgimiento de nuevos tipos de servicios. Por ejemplo, para almacenar, procesar y analizar grandes cantidades de datos en tiempo real durante distintos procesos de extracción de minerales (Hashem *et. al.*, 2015). En esta misma etapa, también se logró reducir el tamaño de varios equipos para análisis de muestras y aumentar sus capacidades de procesamiento. Uno de estos equipos fue el analizador portátil de minerales "X-Ray Fluorescence", que a finales de los años ochenta llegó a tener un peso de más de 30 kilogramos (Cufari, 2016).

También se logró mejorar el equipo Niton xrf manual, con una mayor capacidad de

procesamiento y que sólo pesaba un kilogramo y medio (Thermo Scientific, s/f). Por medio de este equipo se logró realizar el análisis de muestras en el lugar de extracción, evitando el traslado de muestras al laboratorio para poder ser analizadas. Otro importante avance tecnológico fue lograr identificar y medir la composición de la tierra, de la atmósfera y realizar mapas de rocas vía satelital. Lo cual facilita la exploración en áreas de difícil acceso. Los sistemas de información geográfica hicieron que los planos físicos se volvieran obsoletos (Smith, 1995).

Finalmente, un importante avance tecnológico en la minería fue la implementación de la técnica de simulación computacional para diferentes procesos. Esta técnica combinada con otros métodos se ha vuelto bastante útil para elaborar mapas de estrés de rocas, esto para identificar las fracturas con potenciales yacimientos de oro (Robles y Foladori, 2019).

También, Morales *et. al.*, (2001) usaron la simulación computacional e ingeniería asistida por computadora para el diseño y evaluación de un molde para manufactura de una carcasa de disco compacto. Además de mejorar y facilitar el diseño de herramientas de perforación y algunas otras aplicaciones (Waurzyniak, 2003; Carrera-Escobedo *et. al.*, 2016). Su uso en la industria minera se debe a que por medio de esta técnica se reduce en gran medida el número de pruebas experimentales que sean necesarias antes de llegar a un modelo final para la broca de perforación (Dieter y Schmidt, 2009; Flegner *et. al.*, 2015). Es decir, la simulación computacional resulta sumamente útil en la predicción del comportamiento de sistemas complejos. Debido a que puede generar resultados de manera rápida, confiable, es muy sencilla para diseñar herramientas de mayor precisión y es una técnica de bajo costo económico (Castro-Castaneda, 2019).

Esto en comparación con un proceso de experimentación, que normalmente requiere una gran cantidad de tiempo para su manufactura y de recursos económicos. Por ejemplo, para el proceso de taladrado de rocas y de extracción de minerales es necesario manufacturar herramientas de corte que utilizan la técnica de maquinado, pero estas tienen un elevado costo económico (Arrazola, 2013). La técnica de torneado también genera altos costos económicos y es necesario utilizar otras técnicas de manera conjunta (Groover, 2010).

El objetivo del presente trabajo es diseñar y validar una nueva herramienta de corte para la cuerda interna de brocas de perforación utilizadas en la minería. La nueva herramienta que se propone en este trabajo necesita un cambio de sección transversal, ya que en el diámetro mayor se considera la condición de ser montada en un torno de control numérico computarizado. Mientras que, para el diámetro menor, fue necesario considerar que debe acceder al interior de la broca de perforación y llevar a cabo el maquinado de la cuerda.

En el extremo de la parte más delgada de la herramienta de corte se colocó un inserto de carburo de tungsteno, con el cual se realiza el corte para el maquinado de la cuerda interna de la broca de perforación. También fue necesario realizar una caracterización estructural completa. En donde se utilizó la técnica de simulación computacional de la nueva herramienta de corte para brocas de perforación. Para encontrar la geometría óptima se utilizaron los métodos del elemento finito y de diseño de experimentos. La geometría propuesta debe resistir los esfuerzos provocados por la fuerza generada durante el maquinado, tener el menor volumen posible y cumplir con el requisito de que las deformaciones generadas no puedan

afectar significativamente las dimensiones de la pieza de corte.

Durante el maquinado de la cuerda interna de la broca de perforación fue posible superar los siguientes tres retos: El primero, es el requisito de que la pieza diseñada debe tener suficiente fuerza y rigidez como para soportar el esfuerzo generado por el contacto entre la herramienta y las rocas. El esfuerzo puede provocar un fallo en la pieza y, por lo tanto, es necesario llevar a cabo la evaluación del diseño antes de comenzar con la manufactura. El segundo es que, cambiando el inserto de carburo de tungsteno, se debe poder maquinar diferentes perfiles de rosca circular. Tercero, el uso de la simulación computacional permitió minimizar en gran medida los costos de la nueva herramienta de corte, esto en comparación con los costos generados por métodos tradicionales utilizados en la industria de la minería. Durante el diseño de una herramienta de corte, se generan diversas propuestas que son sujetas a diferentes tipos de pruebas estructurales para encontrar la mejor solución (Budynas y Nisbett, 2008; López-Jimeno, 2003).

II. Metodología para el diseño de la nueva herramienta de corte

Para el diseño de la nueva herramienta de corte se utilizó la simulación computacional con el software SolidWorks®. Realizando un análisis paramétrico combinado con un análisis de esfuerzos por elemento finito. Por lo que, para la nueva herramienta de corte fue considerada una geometría óptima para ser utilizada en el maquinado de brocas de perforación. Además, fue posible identificar de manera eficiente el ajuste del acoplamiento de roscado circular interno de la broca de perforación. En la nueva herramienta de corte también se consideró un cambio de sección transversal. Es bien sabido que los cambios de sección implican una

concentración de esfuerzos y que, al cambiar gradualmente, se reduce el factor de concentración. El cambio gradual genera una geometría cónica y el ángulo de cono fue uno de los principales parámetros a optimizar en este trabajo.

El otro parámetro a optimizar fue el diámetro menor de la herramienta. Para optimizar ambos parámetros se realizó un estudio paramétrico con ayuda del software SolidWorks®.

Durante el diseño de la nueva herramienta de corte se consideró que el ángulo de cono sea constante, con un valor inicial de 18° , mientras que el radio más pequeño varía de 8 mm a 10 mm con intervalos de 0.5 mm. Una vez que se realizan las simulaciones computacionales con los valores mencionados, cambia el ángulo de cono a 18.5° y se repite el mismo procedimiento. El cambio de dimensiones del modelo se realiza de forma automática, es decir, sin necesidad de manipular en ningún momento el modelo

de broca de perforación. Durante el ajuste del roscado interno de la broca de perforación fue considerado un error asociado, en caso contrario sería complicado el desacoplamiento de la varilla al sacarla del taladro.

Las características que determinan si las varillas son fáciles de desensamblar o no son las siguientes: el perfil, ángulo y paso de la cuerda. Un paso mayor con un perfil más pequeño permitirá que la cuerda sea más fácil de desensamblar. Los principales tipos de cuerda son: Tipo R, Tipo T, tipo C y tipo GD (Sandvik, 1999). La cuerda que fue maquinada está estandarizada por la ISO-10208:1999, esta cuerda es ampliamente usada para el ensamblaje de equipo de minería (Parus, 2016). Debido a que permite un rápido acoplamiento con las varillas de montaje y previene que se queden atorados al perforar la roca. Los parámetros geométricos y dimensionales del perfil de la cuerda interna para la broca tipo R-32 se muestran en la Tabla 1 y la Fig. 1.

Tabla 1. Especificación de la rosca interna tipo R32.

Diámetro nominal	D_1 (mm)	H (mm)	R_1 (± 0.4 mm)	R_2 (± 0.4 mm)	Paso P
32	28.36	1.5	5.5	6	12.7

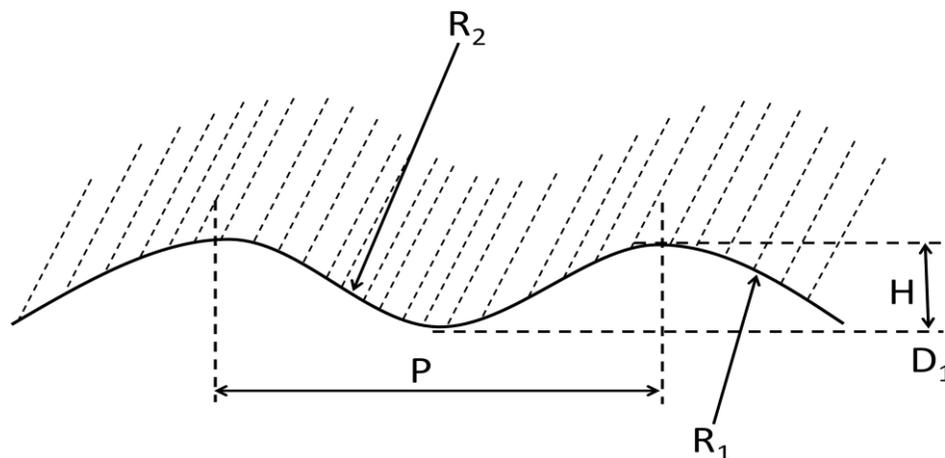


Figura 1. Nomenclatura del perfil para minería de cuerda circular R-32 (ISO 10208, 1991).

Una sección del modelo interno de broca perforación que utiliza este tipo de cuerda se muestra en la Fig. 2. La longitud de la cuerda

para el acoplamiento tiene un valor de $L = 70$ mm; con un diámetro mínimo $D = 28$ mm.

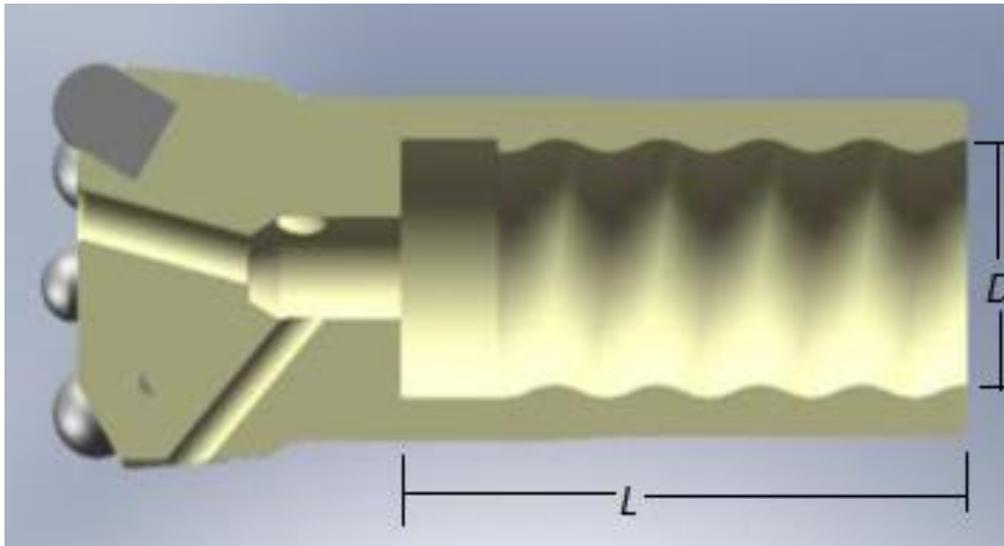


Figura 2. Sección parcial del modelo de broca de perforación de roca mineral.

Con base en los requisitos geométricos del modelo de broca de perforación anterior, se propuso el nuevo diseño de la herramienta de corte (Fig. 3). La cual tiene un cambio de sección transversal; y fue considerado que el diámetro más grande debe ser suficiente para el montaje en un torno de control numérico.

Mientras que el diámetro menor debe ser suficiente para acceder al interior de la broca de perforación y llevar a cabo el maquinado de la cuerda interna. En el extremo de la parte más delgada se colocó un inserto de carburo de tungsteno, con el cual se realiza el corte.

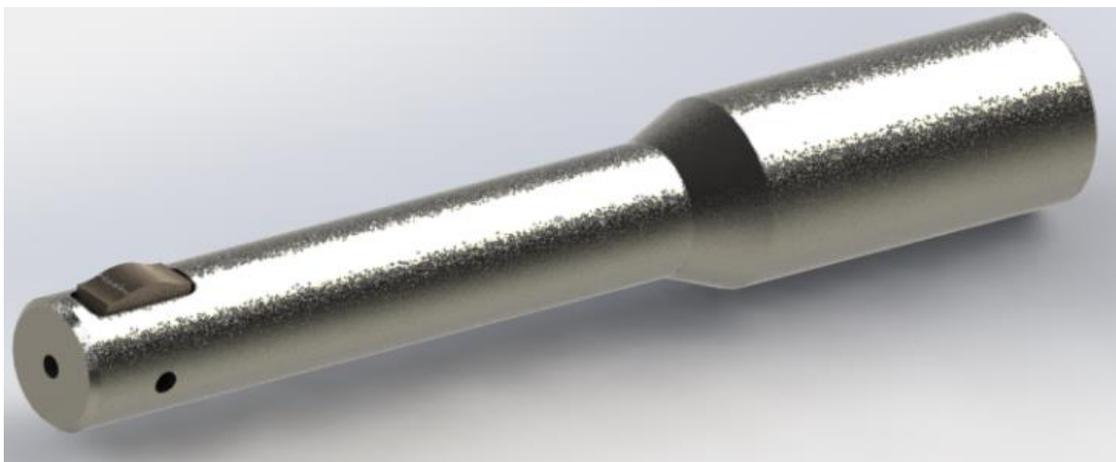


Figura 3. Modelo propuesto de la nueva herramienta de corte.

Posteriormente se determinó el diámetro más pequeño y el ángulo de la reducción de diámetros. Ambos permitirán asegurar que el límite elástico de la herramienta de manufactura no se exceda, esto debido a la fuerza que se genera durante el maquinado de la cuerda. También fue necesario verificar que el desplazamiento máximo no supere 0.5 mm en el extremo de la herramienta, de esta manera, el maquinado de la cuerda se realizará en forma adecuada y la herramienta no fallará, esto por consideración de Hartman (1992). Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, es posible asegurar dos elementos principales.

Primero, que la herramienta de corte no fallará al momento de maquinar la cuerda interna. Segundo, que se logrará el adecuado acoplamiento entre la varilla de extensión del Jumbo y la broca de perforación estará asegurada. La configuración inicial de las dimensiones de la herramienta es: (1) Radio menor de la herramienta = 8.0 mm, (2) Radio mayor = 12.7 mm y (3) Ángulo de cono (inicial) = 18°. El material deseable para fabricar la broca de perforación es acero 1045. La Tabla 2 muestra las propiedades mecánicas de este material.

Tabla 2. Propiedades mecánicas del acero 1045 para la broca de perforación (Budynas y Nisbett, 2008).

Propiedad	Valor
Resistencia última a la tensión	725 N/mm ²
Resistencia a la fluencia	620 N/mm ²
Módulo de elasticidad	205000 N/mm ²
Módulo de corte	80000 N/mm ²
Densidad	7850 kg/m ³
Relación de Poisson	0.29

Para resolver el problema de esfuerzos generados en la nueva herramienta de corte fue necesario discretizar, de tal forma que el número y la localización de los nodos y tipo de elementos no sean un factor que deje inoperante la herramienta de corte. En el módulo de simulación de Solidworks®, fue posible llevar a cabo la generación automática de la malla con posibilidad de adaptación.

Es decir, con la posibilidad de refinar la malla en los lugares con las mayores gradientes de esfuerzos. Por ejemplo, en donde se generan cambios de sección y zonas cercanas a orificios y cavidades. Para la simulación

computacional se seleccionó una malla sólida con elementos de 3 mm de longitud. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de esfuerzos utilizando la técnica del elemento finito.

Con base en las condiciones del maquinado, en la nueva herramienta de corte fue considerada como una viga en cantiléver con la fuerza concentrada en un extremo de la herramienta y el otro extremo se considera fijo, debido a la sujeción en el torno de control numérico. La simulación computacional por medio del elemento finito de la nueva herramienta de corte se muestra en la Fig. 4.

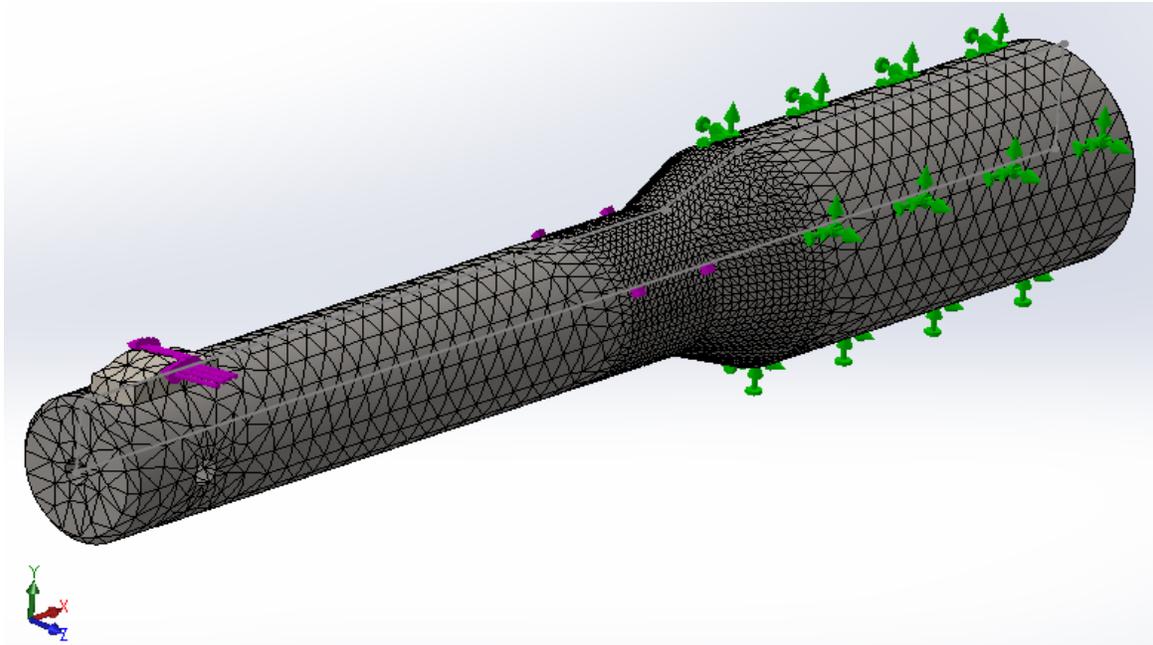


Figura 4. Simulación computacional por elemento finito de la nueva herramienta de corte para el maquinado de cuerda circular.

Para determinar la geometría óptima de la nueva herramienta de corte, fue utilizada la técnica de ajuste con modelos cuadráticos para dos o tres niveles de análisis (Huertas-

García *et. al.*, 2014). Las variables y restricciones utilizadas para la nueva herramienta de corte se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Variables y restricciones de diseño.

Nombre	Mínimo	Máximo	Cambio
Radio	8 mm	9.5 mm	0.5 mm
Ángulo	18°	20°	0.5°
Restricciones			
	Condición	Valor	
Esfuerzo	Es menor que	350 Mpa	
Desplazamiento	Es menor que	0.5 mm	

El valor de 350 MPa fue establecido como un valor de referencia, considerando un factor de seguridad mínimo de 2. Además, el valor de 0.5 mm del desplazamiento fue establecido de acuerdo a Horton (2004), con un ajuste 6H, generando una calidad promedio de la cuerda interna. De acuerdo a Rohit y Quraishi (2017) se sabe que suele haber concentración de esfuerzos en las zonas donde hay cambios de sección, lo cual puede llevar a la falla del

elemento. Por lo tanto, en este trabajo se buscó el radio más pequeño de la herramienta y su respectivo ángulo de cono. La finalidad es reducir la concentración de esfuerzos en la zona del cambio de diámetro. Una vez que se definen los parámetros geométricos, fue necesario determinar la fuerza que soportará la herramienta durante el maquinado de la cuerda.

Durante el maquinado de la cuerda, la profundidad del corte fue definida en función del tamaño y el paso y del tipo de torno que fue utilizado. En este trabajo se considera un torno de control numérico computarizado de 5 ½ ejes de la marca Guss & Roch. A partir de la geometría de la cuerda y las características del torno, se definieron los siguientes parámetros: Profundidad del corte = 0.380 mm; ancho de la superficie de corte = 2.54 mm; área de corte = 0.968 mm²; Velocidad de giro = 200 rpm y Velocidad de corte = 14.5 m/s.

Con la velocidad de corte e interpolando con la curva que incluye al fluido de corte, se obtiene la energía de corte:

$$K_s = 175 \text{ kg/mm}^2$$

Por lo tanto, la fuerza de corte necesaria se obtiene de la ecuación (1):

$$F_c = A_c * k_s = 169 \text{ kg} = 1662 \text{ N} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde: F_c ; Es la fuerza de corte (N), K_s ; es la energía absorbida por unidad de volumen de material y A_c ; es la sección transversal del área de corte.

Cabe mencionar que la determinación de la fuerza de corte necesaria para el maquinado permite conocer tanto el esfuerzo al que la herramienta se va a someter como la potencia requerida para llevar a cabo el proceso (Groover, 2010). Considerando que el valor de la fuerza permanece constante durante el

proceso de maquinado de la herramienta, el valor encontrado se utilizó para definir el análisis por elemento finito, a fin de validar la resistencia de la nueva herramienta de corte.

III. Resultados y discusión de pruebas de desplazamiento y esfuerzo

La importancia del presente estudio también radica en el análisis del desgaste de herramientas de corte, debido a que se requieren estrategias para evitar que las máquinas herramientas CNC sufran un rápido deterioro (Meneses-Flórez & Peña-García, 2019).

En este trabajo se realizaron 20 diferentes pruebas de las variables de diseño de la nueva herramienta de corte que se propone en este trabajo. Las cuales fueron basadas en un estudio paramétrico combinado y un análisis de esfuerzos por la técnica del elemento finito. En tales pruebas fueron consideradas dos variables principales: (1) El radio más pequeño y (2) El ángulo de cono. Con base en los resultados encontrados, se obtuvo un diseño de geometría óptimo para manufacturar la nueva herramienta de corte. Los resultados de las variables de diseño y las restricciones se muestran en la Tabla 4 (desde la prueba 1 hasta la prueba 6). En donde también se presentan los valores del radio, el ángulo, los valores de esfuerzo máximo bajo el criterio de Von Mises y el desplazamiento máximo.

Tabla 4. Variables de diseño y los resultados obtenidos en las pruebas 1-6.

Parámetro	Unidad	Número de Prueba					
		1	2	3	4	5	6
Radio	Mm	8	8.5	9	9.5	8	8.5
Ángulo	Deg	18	18	18	18	18.5	18.5
Esfuerzo	N/m ²	379	341.3	321.34	294.7	386.21	342.56
Desplazamiento	mm	0.54	0.47	0.41	0.357	0.5411	0.4686
Volumen	mm ³	46175	48354	50712	53286	46115	48306

Los resultados de las 20 pruebas se muestran en la Fig. 5, en las cuales se presentan las variables de diseño de desplazamiento (Fig. 5-a) y de esfuerzo (Fig. 5-b). A partir de un análisis numérico, es posible cuantificar la disminución del desplazamiento y el esfuerzo cuando se incrementa el radio de la sección transversal de la herramienta. Específicamente, la Fig. 5 muestra que las

pruebas 4, 8, 12, 16, y 20 presentan menores valores de desplazamiento y de esfuerzo. Por lo tanto, dichas pruebas son las que mejor cumplen con las restricciones establecidas en la Tabla 3. A partir de analizar la Fig. 5, se muestra que la prueba 4 presenta el menor desplazamiento, mientras que la prueba 8 presenta el menor esfuerzo.

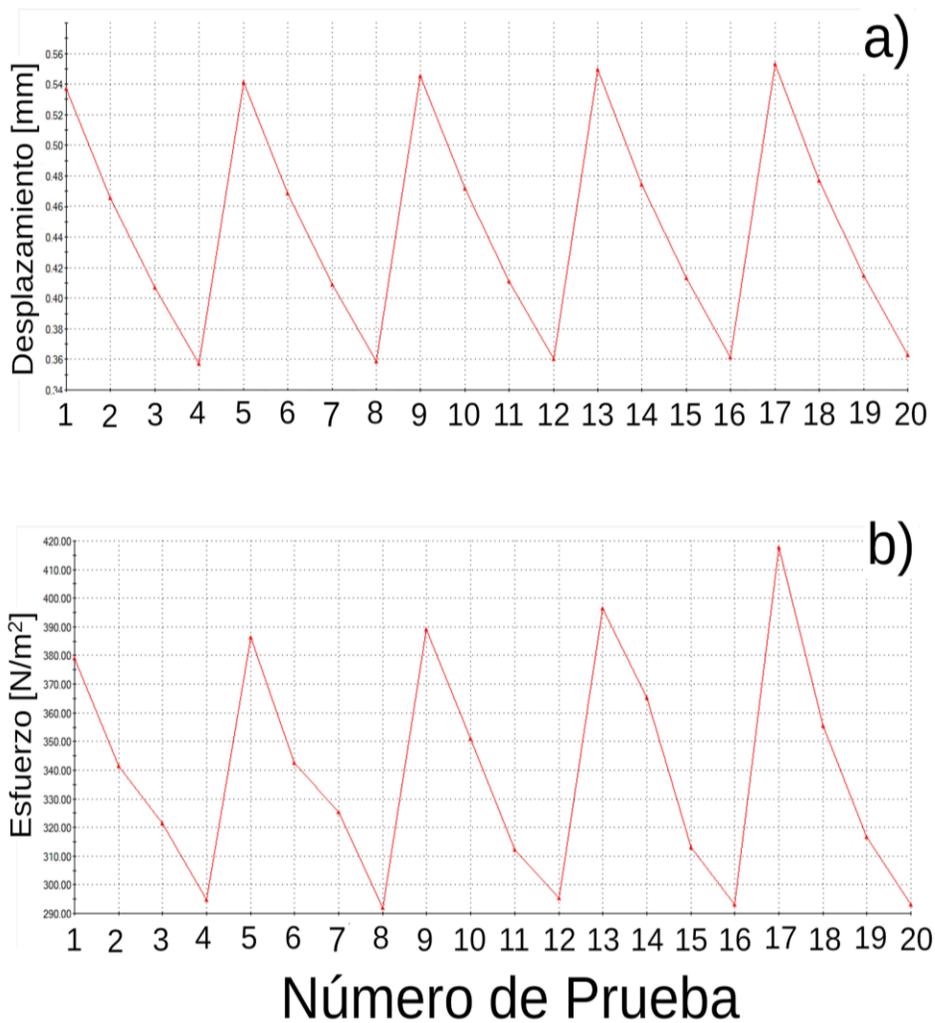


Figura 5. a) Desplazamiento obtenido. b) Esfuerzo máximo obtenido.

La Tabla 5 muestra una diferencia entre los valores del desplazamiento de 0.00149 mm, mientras que la diferencia entre los valores de esfuerzo máximo es de 2.81 MPa. Por lo tanto, se selecciona la geometría de la prueba

8, debido a que presenta los mejores resultados. La Tabla 5 muestra los resultados de las pruebas 4 y 8. La distribución de esfuerzos, basada en la teoría de la distorsión de la energía de Von Mises, de la prueba 8 se

muestra en la Fig. 6. El mayor esfuerzo se localiza en la superficie cercana al cambio de

sección transversal, pero tiene un valor menor que 350 Mpa.

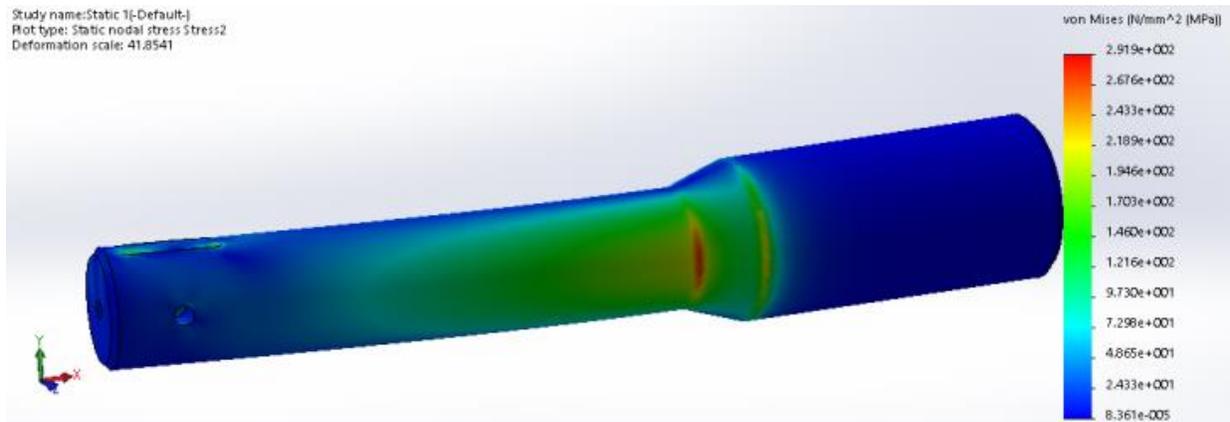


Figura 6. Distribución de esfuerzos en la herramienta de corte de cuerda interna de la prueba 8.

El desplazamiento de la nueva herramienta de corte se muestra en la Fig. 7. En la cual es

posible verificar que el desplazamiento es menor que 0.5 mm.

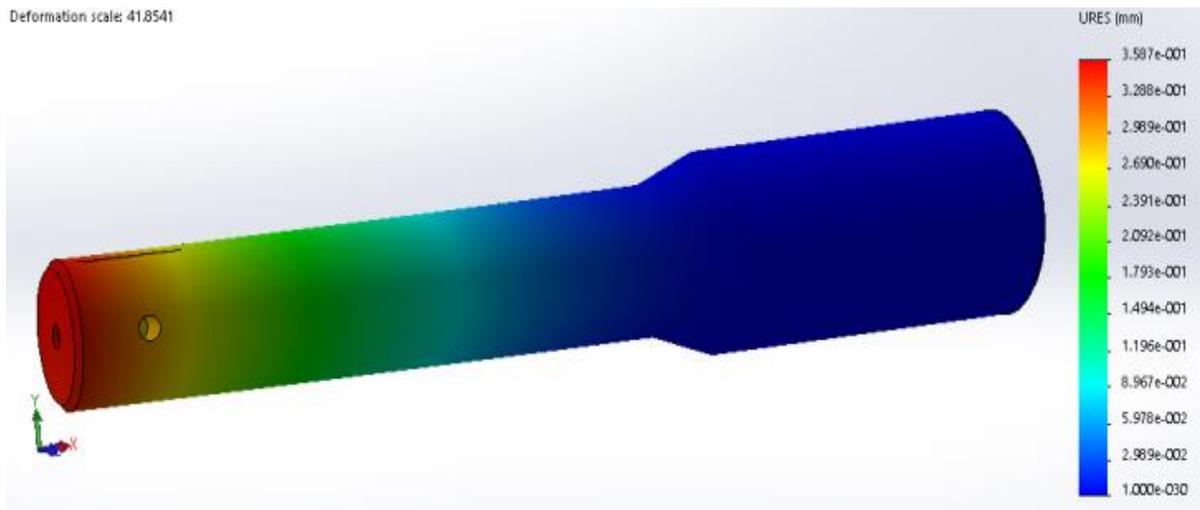


Figura 7. Distribución del desplazamiento de la herramienta para el maquinado de cuerdas en la prueba 8.

Una vez que las diferentes geometrías fueron evaluadas, se encontró la que tiene mejores características. Posteriormente se realizó la manufactura de la nueva herramienta de corte.

La Fig. 8 muestra la herramienta acoplada a un torno de control numérico durante el maquinado de la cuerda interna.

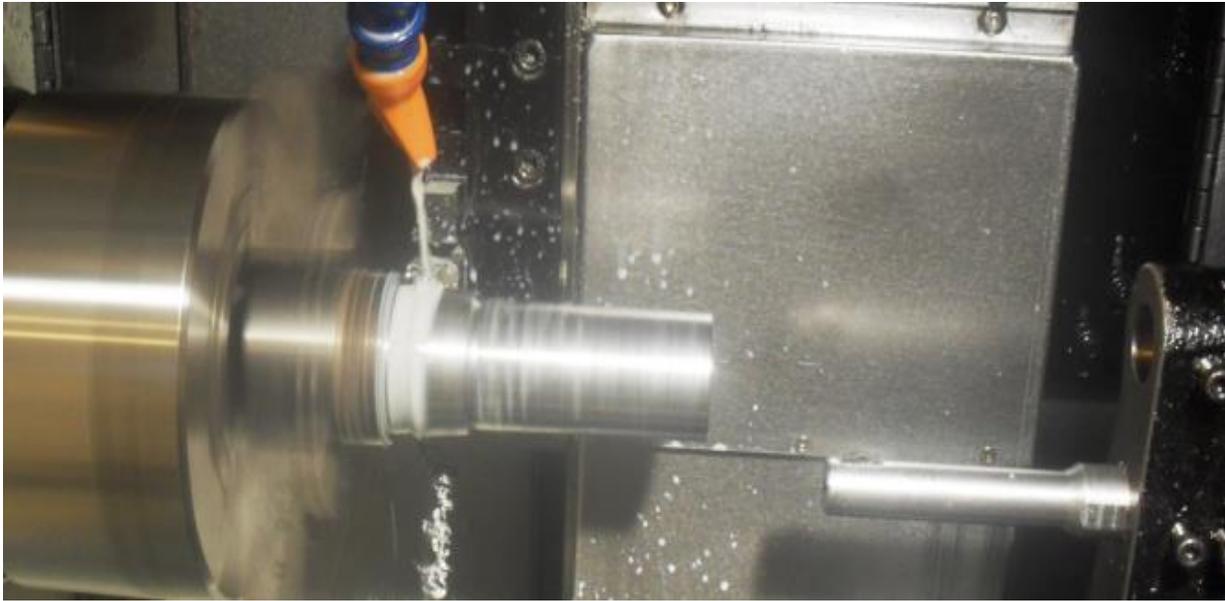


Figura 8. Herramienta de corte propuesta para la manufactura de cuerdas circulares en brocas de perforación.

Finalmente, del análisis anterior, es posible desprender un estudio teórico de confiabilidad para herramientas de corte utilizadas en maquinado CNC (Patiño-Rodríguez & Martha de Souza, 2006).

IV. Conclusiones

En este trabajo se presentó el diseño de una nueva herramienta de corte para brocas de perforación en minería. Además, se presentaron los criterios básicos para manufacturar una herramienta de corte. Para ello fue utilizada la técnica de simulación computacional, con la cual se realizó la caracterización de esfuerzos sobre la herramienta de corte. Esto debido de manera rápida y con un bajo costo de producción. En un análisis tradicional, sería necesario modificar continuamente el modelo y llevar a cabo los análisis uno por uno, lo cual llevaría bastante tiempo y elevados costos monetarios.

El análisis realizado mediante el uso de las herramientas computacionales permite encontrar las dimensiones óptimas de una

herramienta de corte para la manufactura de roscas circulares internas. Las cuales son típicas de las brocas de perforación utilizadas en la Industria Minera Mexicana. Además, la simulación computacional permitió, de manera rápida, sencilla y confiable evaluar el desempeño que tendrían herramientas de corte de diferentes geometrías durante el proceso de maquinado y así, seleccionar las dimensiones óptimas. El modelo que mostró el mejor desempeño tiene un valor de esfuerzo máximo que permite tener un factor de seguridad mayor a 2 y una deformación que permite asegurar que las piezas que se fabriquen con ella tendrán tolerancias dimensionales que permitirán el ajuste adecuado entre la herramienta de perforación de mineral y la varilla de extensión del jumbo. La validación del diseño de la herramienta de corte se realizó considerando la fuerza de corte que se genera en el proceso de maquinado. Gracias al uso de simulaciones computacionales, se diseñó y fabricó una nueva herramienta de corte de cuerdas circulares internas que puede ser aplicada para brocas de perforación utilizadas en la Industria Minera Mexicana.

V. Referencias

1. Argaiz, D. (2014). La minería como "locomotora" de la economía colombiana y su costo ambiental. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 27(3).
2. Arrazola, P. J. (2013). Recent advances in modelling of metal machining processes. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 62. 695–718.
3. Bastidas-Orrego, L. M., Ramírez-Valverde, B., Cesín-Vargas, A., Juárez-Sánchez, J. P., Martínez-Carrera, D., y Vaquera-Huerta, H. (2018). Socio environmental conflicts and open-pit mining in the Sierra Norte de Puebla, México. *Textual*, 72, 00-00. doi: 10.5154/r.textual.2017.72.003.
4. Budynas, R. G. y Nisbett, J. K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mc Graw Hill. 50-70.
5. Castro Castaneda, K. (2019). Proceso de fabricación y reparación de moldes para inyección de plástico utilizando herramientas de diseño y manufactura asistida por computadora. *Revista Tecnológica*. 12.
6. Carrera Escobedo, J., Ortiz Rivera, A., Guzmán Valdivia, C., García Ruiz, M., (2016). CFD Analysis for Improving Temperature Distribution in a Chili Dryer. *Thermal Science International Scientific Journal*.
7. Cufari, B. (2016), Evolution of Handheld xrf Analysis in Mining. Disponible en <https://www.azomining.com/Article.aspx?Articleid=1344>>.
8. Dieter, G. y Schmidt, L. (2009). *Engineering Design*. Mc Graw Hill. 270-293.
9. Flegner, P., Feriančíková, K., y Leššo, E. L. (2015). Some problems in control of the quality of the process of rotary drilling of rocks by using suitable visualization of concurrent vibrations. *Acta Montanistica Slovaca*. 4. 282-289.
10. Guirette-Barbosa, O., A., Arroyo-Álvarez, A., Castañeda-Burciaga, S., Durán-Muñoz, H., A., Cruz-Domínguez, O., Carrera-Escobedo, J., Rodríguez-González, B., Garay-Díaz, J. y Bosque-Bermúdez C. (2019). The Innovation of Quality Control Circles: A Clear Disuse in The Last 15 Years in Mexican Industry, *Journal of Business Research-Turk*, 11 (1), 273-278. <https://doi.org/10.20491/isarder.2019.598>.
11. Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of Manufacturing Modern: Materials, Processes and Systems* (4 ed.). *Mac Graw Hill*. 15-20.
12. Hartman, H. L. (1992). *SME Mining Engineering Handbook*. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. 1.
13. Hashem, I. A. T., Yaqoob, I., Anuar, N. B., Mokhtar, S., Gani, A. y Ullah Khan, S. (2015). The Rise of 'big data' on Cloud computing: Review and Open Research Issues. *Information Systems*, 47. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.is.2014.07.006>>.
14. Horton, J., Jones, F. D. y Oberg, E. (2004). *Machinery's Handbook*. 27th

- Edition. *Inc. Industrial Press*. 120-125.
15. Huertas-García, R., Vázquez-Abad, J. C., Martínez-López, F. J. y Esteban-Millat, I. (2014). A proposed methodology based on Box Behnken Design to improve the performance of conjoint analysis in experimental marketing studies. *Revista Española de Investigación en Marketing ESIC*. 18(1). 57-66.
 16. ISO 10208. (1991). Rock drilling equipment — Left-hand rope threads. Edition: 1. Technical Committee: ISO/TC 82 Mining. ICS: 73.100.30. Equipment for drilling and mine excavation. <https://www.iso.org/standard/18240.html>.
 17. Sandvik, T. (1999). Rock Excavation Handbook. 180-190.
 18. Sariego, J. L., Reygadas, L., Gómez, M. Á. y Farrera, J. (1988). El Estado y la minería mexicana. Política, trabajo y sociedad durante el siglo XX, 1 a edición, México, Fondo de Cultura Económica.
 19. Servicio Geológico Mexicano. [SGM] (s.f.) Recuperado de <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/minerales/propiedades-fisicas>. Consultado en mayo 2019.
 20. Smith, M. (1995). The Effects of Disasters on Modern Societies: World Conference on Natural Disaster Reduction, Technical Committee, Session C. Diane Publishing.
 21. López-Jimeno, C. (2003). Manual de Perforación y Voladuras de Rocas. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 30-45.
 22. Parus, P. S. (2016). Dynamic and positioning analysis of the feed drive of the rope threading lathe. *Advances in Mechanics: Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues*. 43-50.
 23. Patiño-Rodríguez, P., Martha de Souza, G. (2006). Análisis de confiabilidad para herramientas de corte aplicado al proceso de taladrado. Universidad de Antioquia Revista Facultad de Ingeniería. 36. 56-69.
 24. Ramírez, P. y Alejano, L. (2004), Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes, Red DESIR, Madrid. Disponible en <http://oa.upm.es/cgi/export/14183/>.
 25. Reichl, C., Schatz, P., & Zsak, G. (2017). World Mining Data; volumen 32. Viena. International Organizing Committee for the World Mining Congresses. wmc.org.pl/sites/default/files/WMD2017.pdf.
 26. Robles, R., & Foladori, G. (2019). Una revisión histórica de la automatización de la minería en México. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana De Economía*, 50(197). <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2019.197.64750>.
 27. Rohit O, T. y Quraishi, I. (2017). A Review on analysis of stress concentration factor for plate. *International Journal of Research In Science & Engineering*. 3(1).
 28. Madzik, P., Daňková, A. & Ferencz, P. (2016). Effects of the energy and mining industry on management of

- national competitiveness. *Acta Montanistica Slovaca*. 21(1), 67-75.
29. Meneses-Flórez, J. & Peña-García, N. (2019). Estudio correlacional de la señal acústica y la detección del desgaste de la herramienta de corte en un proceso de taladrado CNC. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. 2(32).
30. Morales R., Candal M., V., Y González, O. (2001). Analysis and Design of a CD case using CAD/CAM/CAE software. PPS's Proceedings, 65-74.
31. Thermo Scientific (s/f), niton xl3t 500 Analyze. Thermo Scientific. Disponible en <https://usenvironmental.com/download/manuals/Thermo%20-%20Niton%20xl3t-500-v6.5%20Manual.pdf>.
32. Waurzyniak, P. (2003). Digital Manufacturing Taking Hold. *Manufacturing Engineering Magazine*. 130(1). 93-105.
33. Zamora-Echenique, G. y Trujillo-Lunario E. (2016). Planta de Tratamiento en Interior Mina de las Aguas Ácidas de la Mina San José - Oruro - Bolivia. *Revista de Medio Ambiente y Minería*. 1. 1-7.
34. Servicio Geológico Mexicano. [Conacyt] (s.f.) Servicio Geológico Mexicano. Available at. (accessed May 15, 2019). <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/es/minerales/propiedades-fisicas>.