**Metodología del estudio de la Ingeniería Mecánica en la minería peruana prehispánica**

**Jorge Antonio Rodríguez-Hernandez1, Daniel Lavayen-Farfán 2, Brunella Yzú-Rossini 3**

1Sección de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Email: crodrig@pucp.edu.pe

2 Sección de Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Email: dlavayen@pucp.edu.pe

3Sección de Historia, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú. Email: brunella.yzu@pucp.edu.pe

**Resumen**

La Ingeniería Mecánica ha acompañado al hombre durante todo su desarrollo, lo que la hace adecuada para realizar estudios históricos a partir de ella. Con este trabajo se busca postular una metodología para el estudio de la historia de la Ingeniería Mecánica en el Perú con inclinación al sector minero, que fue una de las actividades relevantes para la producción de bienes suntuarios y el mantenimiento del ideario de sus deidades. En el presente ensayo nos aproximaremos a partir de fuentes arqueológicas, antropológicas e históricas al caso de las *guayras* (hornos de fundición) y cómo estas pueden ser de utilidad para el estudio de la historia de la ingeniería mecánica de manera local.

**Palabras clave:** ingeniería mecánica; minería; Perú; estudios prehispánicos; guayras.

**Abstract**

Mechanical engineering has accompanied man all throughout history, thus making it ideal for historical studies. In this work, a proposal of methodology for the study of the history of mechanical engineering is proposed and focused on the mining activities during the precolonial era of Peru. With the help of archaeological, anthropological, and historical sources, the smelting furnaces known as *guayras* are studied, as a study case to illustrate how technologies and the development of mechanical engineering from these times can be studied.

**Keywords:** mechanical engineering; mining; Peru; prehispanic studies; guayras.

# Introducción

La minería de metales fue una actividad de relevancia para las culturas prehispánicas. El oro y la plata estaban generalmente reservados para uso religioso y ceremonial, mientras que el cobre se empleaba para una variedad de instrumentos y herramientas [1]. Si bien solemos abordar este tipo de objetos con un interés histórico, arqueológico y antropológico, el estudio de las tecnologías empleadas para la extracción, fundición y trabajo de estos metales no han sido profundizados a pesar de ser de vital importancia para el estudio del desarrollo tecnológico de la ingeniería mecánica. En el presente trabajo se plantea una metodología para el análisis de la tecnología empleada por la cultura inca en el trabajo de los metales. Concretamente, se estudia el caso de los hornos de fundición, también conocidos como *guayras*. Cabe destacar, que muchas de las tecnologías empleadas por culturas preincas fueron luego adaptadas por el imperio incaico [2] [3] [4] [5].

Para la realización del presente artículo se hace una revisión de fuentes primarias y secundarias relacionadas a temas de metalurgia, trabajo y fundición de metales durante el periodo prehispánico. Asimismo, se consideran para este trabajo las crónicas coloniales, ya que no existen registros escritos de la era prehispánica. Además de las crónicas, se complementará el estudio con menciones a esta tecnología en artículos históricos, arqueológicos y antropológicos. De esta manera, se ofrece una aproximación más completa para el estudio de la historia de la ingeniería mecánica y su nexo con la minería prehispánica.

# La tecnología prehispánica y la ingeniería mecánica

El estudio de la historia de la ingeniería mecánica, y sobre todo, de la tecnología prehispánica trae consigo dos importantes preguntas:

*¿Por qué estudiar la tecnología de la época prehispánica y como conectarla con la ingeniería mecánica?* Según Shanker et al. [6] el interés de la ingeniería mecánica radica en reducir o eliminar el trabajo humano (y animal), reemplazándolo por máquinas, herramientas y aparatos. El uso de estos equipos se ven con más frecuencia en la explotación de recursos naturales. Por ello es necesario destacar que la explotación de metales en la época prehispánica no habría sido posible sin el desarrollo de ciertos equipos para realizar la extracción, fundición y trabajo de los metales. Si bien este desarrollo corresponde a una civilización del pasado, se puede aprender bastante de sus métodos. Como señalan Bautista et al. [7], el desarrollo de la ingeniería mecánica se beneficia de gran manera de las raíces, ya que se puede emplear para guiar futuros desarrollos. Es así que se podrían encontrar soluciones a problemas actuales explorando actividades/ sucesos que se pueden haber dado en la antigüedad. Esto es posible ya que el conocimiento se construye a partir de diferentes ramas del ingenio humano. Por otro lado, también es relevante estudiar el trabajo en metalurgia ya que revela características de los hábitos, tradiciones y, sobre todo, tecnologías desarrolladas por las poblaciones estudiadas [8].

*¿Cómo se pueden abordar culturas de las que no se ha encontrado registros históricos escritos?*

Si bien los estudios históricos se suelen apoyar en documentación escrita, hay que tomar en cuenta que estos estudios también suelen apoyarse en otras disciplines afines e igual de importantes para la construcción del conocimiento, como la arqueología y la antropología. Así, podemos emplear los restos materiales y extraer de ellos conocimiento acerca de las tecnologías y técnicas empleadas durante la época [7]. Por otro lado, estudios recientes intentan rellenar los vacíos en los documentos históricos empleando registros de trazas de metales en sedimentos y registros de contaminación ambiental [9].

Por estos motivos es que estudiar el desarrollo de la ingeniería mecánica, es decir, de los instrumentos, herramientas y máquinas empleadas, se presenta como una oportunidad en la que pueden converger distintas ramas del conocimiento, y se puede alimentar de fuentes y registros diversos.

# La minería prehispánica

Las civilizaciones prehispánicas se caracterizaron por dedicarse al trabajo ganadero y agrícola. Así, sus deidades al igual que su noción del tiempo estaban íntimamente ligadas a los astros, la tierra y aquellos elementos que les aseguraban la producción de alimentos para la supervivencia. Además, producían herramientas, bienes de prestigio y otros productos de índole ceremonial, como señala Santillana [8]. Los bienes de prestigio y muchas de las herramientas solían producirse a través del trabajo con metales, principalmente con cobre. De igual manera, según destaca Lechtman [10] el manejo de metales era visto como derecho divino por parte de los personajes de poder. Así, al pertenecer el Inca a una *panaca* y ser hijo del sol tenía acceso a bienes producidos a partir del trabajo en oro (ya que representaban el sudor de dicho astro) mientras que la plata era asumida como un recurso proveniente de la luna. En consecuencia, la posesión de dichos bienes suntuarios eran señal de su ascendencia además de su poder político y religioso.

Adicionalmente, los estudios realizados hasta los 1970s buscaron, a través de la investigación en laboratorios, generar una interpretación del rol de los diversos artefactos metálicos encontrados. Sin embargo, el estudio de vestigios arqueológicos nos brinda una mirada tan completa como la que se obtiene al estudiar también la tecnología empleada en la fabricación de dichos artefactos. Así también, es necesario conocer la naturaleza y organización para entender completamente como se articulaba la metalurgia andina con la cultura [11].

El trabajo en metales se remonta a milenios antes de la invasión de América [9] [12] [13]. Las culturas preincas como Tiahuanaco, Huarí, Chimú, y Nazca buscaron hacerse de estos recursos para elaborar tanto elementos ceremoniales como herramientas para la vida cotidiana [13]. De hecho, según Bouchard [12], la costa norte del Perú fue una de las regiones más activas en el ámbito de orfebrería, y que esto se hizo más relevante una vez que fueron conqusitados por los Incas. La región del Cusco, y por consiguiente el imperio Inca, se benefició enormemente del conocimiento de metalurgia de culturas previas para la producción de bienes y decoración de templos o centros religiosos importantes como el *Qorikancha*. Según Van Buren & Weaver [14] la producción minera era concebida como un acto de sacralidad tomando en cuenta que la tierra era vista como una deidad y el trabajo de los minerales extraídos servían para producir bienes en beneficio de espacios y objetos religiosos. Mas aún, Van Buren & Weaver destacan que los metales extraídos fueron trasladados a lugares importantes para la conservación del culto imperial, como era el *Qorikancha*, al igual que bienes para el desplazamiento del Inca que podrían ser interpretados como el movimiento de recursos por el territorio, similar a la cosmovisión que persiste hasta ahora [14].

El espacio de Porco es de relevancia para el estudio de la tecnología andina empleada para el trabajo de metales ya que fue una de las primeras minas explotadas, además de ser una de las más ricas, según destaca Modesto Bargalló [15]. Porco se ubica en Charcas, una provincia de la actual Bolivia (que durante la época pertenecía al imperio del Tahuantinsuyo, de forma posterior, Reino del Perú). Si bien no se le conocía una actividad intensiva en la zona antes de la conquista, Bargalló enfatiza que sí fue trabajada por los incas debido a un recurso llamado *cochizo* que era de su interés [15].

Los Incas sabían que los españoles querían hacerse del oro desde antes de su llegada, por lo que no les quisieron comentaron inicialmente respecto a las minas, según Cruz y Téreygeol [16]:

*“Poco tiempo antes de morir en su palacio de Tumibamba (Ecuador), alrededor del año 1525, el Inka Wayna Qhapaq fue alertado sobre el inminente arribo de los españoles en sus dominios y sus intensiones de hacerse con las riquezas de la tierra (…) Y una vez que fueron expoliados los tesoros de los templos indígenas y vaciados numerosos pueblos de sus riquezas metálicas, la atención de los conquistadores se centró en las minas surandinas.”*

****

**Figura 1**. Ejemplo de guayra actual según Téreygeol y Cruz. Fuente: [21].

# El trabajo en metales – el uso de guayras

Los Incas, al igual que las anteriores culturas, no concentraron del todo su energía en la producción de bienes en metales preciosos, sino que esta tenia un papel secundario en la vida económica del imperio [17]. De este modo, los avances tecnológicos provenían de la réplica de grupos humanos conquistados. Como indica Bouchard [12], el imperio Inca tenía una gran capacidad de concentrar en manos del poder político una gran cantidad de materias primas para distintos fines. Entre los bienes metálicos empleados destacaban el bronce y el cobre para herramientas y armas; así como el oro y la plata para el culto solar y lunar, aunque en menor escala (precisamente porque las *panacas* reales eran grupos cerrados). De igual modo, esta postura fue respaldada por Heather Lechtman & Ana Maria Soldi [18], destacadas arqueólogas que trabajan el tema de la tecnología andina, cuando señalan: *“Los incas contaban con tecnologías que conocían bien y que ampliaron la escala de las exigencias de un imperio. Los más importantes entre los logros tecnológicos que han hecho famosos a los incas- la red de caminos, el sistema de almacenamiento y de contabilidad, la explotación minera, la elaboración de tejidos, los cientos de miles de andenes labrados en las laderas de los cerros- exigían sistemas de manejo y coordinación sin los cuales las solas técnicas habrían sido ineficaces”*.

Es importante destacar que los Incas y otras culturas prehispánicas no empleaban el hierro [19], es decir, aún no habían llegado a la edad de hierro. El trabajo en hierro requiere un proceso técnicamente más avanzado y con temperaturas de trabajo mucho más elevadas (mayores a 1500 C) que las empleadas para el bronce, cobre, oro y plata (entre 900 y 1100 C).

La manera de trabajar los metales variaba según la calidad de estos. Por ejemplo, según lo que indica Regal [17], el oro era extraído de las arenas de los ríos empleando además bateas y trabajado con instrumentos como las *huayrachinas*. Luego de la extracción y una vez trabajado a golpes, se procedía a emplear hornos de fundición llamados *huayras* o *guayras*. Según indica Hernández [20], estas eran ubicadas en espacios altos, como colonias o cerros, con el fin de beneficiarse de los vientos por la noche (para que estos sirviesen como fuelles). Asimismo, esta tecnología debía permitir la purificación parcial de los metales, pues quedaban rezagos de plomo que debían ser extraídos de forma posterior con la ayuda de *toccochimpus*, hornos especiales para el refinamiento.

Para el trabajo en metales se han logrado encontrar tres formas diferentes de procesamiento, según el metal que se buscase trabajar. Así, entre los que encontramos están: el crisol, los hoyos (empleados para metales con un elevado porcentaje de plata en su composición) y las *guayras* (hornos de reducción). Estos últimos, además, se emplearon hasta años después de la conquista, pues aún no se había introducido el trabajo con mercurio (llamado azogue) para el procesamiento en las minas [20]. Las guayras fueron descritas por Regal [17] de la siguiente manera:

*“Las huayras eran portátiles, de sección circular, de forma parecida a la de nuestras macetas de flores, o sea más anchos en la boca que en la base; tenían cerca de un metro de alto, unos 30 cm. en la base y 50 cm. de diámetro en la boca. Como hemos dicho, eran de barro, de unos dos a tres centímetros de grueso, y estaban perforados con numerosos agujeros para la entrada del aire; delante de estos agujeros el hornito tenía unas repisas u orejeras, en las que se colocaba carbón para que el aire que ingresaba al horno fuera caliente”.*

En la Figura 1 se puede apreciar una guayra según Téreygeol y Cruz [21], reconstruida según datos arqueológicos obtenidos en Potosí (donde se extraía plata) adscritos a los inicios de la colonia. Las guayras eran un mecanismo algo elemental a la hora de fundir metales. No obstante, permitió el trabajo de los naturales y facilitó este tipo de labores por su carácter portátil y ligero, además de requerir para su función materiales que se encontraban con facilidad en la zona, lo que la hacía adecuada para su uso cotidiano. La descripción que dio Regal [17] respecto a su funcionamiento era el siguiente:



Figura 2. Ejemplos de guayras ilustradas por Barba [22] en “El arte de los metales”.

*“Llenaban las huayras con carbón de palo hasta cierta altura, y encima ponían el mineral que al fundirse iba goteando en una cazuela de barro crudo, donde se formaban los tejos, que después se refinaban. Los hornitos eran portátiles para subirlos o bajarlos, en las laderas de los cerros, de acuerdo con la intensidad del viento. Los usaban en gran número, como consecuencia de su pequeña capacidad; en los asientos metalúrgicos se contaban por millares”.*

El procesamiento del metal en una guayra constaba de tres etapas según los tratados. Por ejemplo, según Barba [22], se hablaba de un tostado, reducción además del refinamiento de dicho metal [20]. No obstante, como señalado anteriormente, también se usaron los *tocochimpos* de forma complementaria, los que fueron descritos de la siguiente manera, también por Regal [17] quien señalaba que dichos hornos tenían como características:

*“Eran parecidos a los actuales hornos de panadería. Tenían un metro de diámetro, aproximadamente, y dos puertas: una pequeña para la entrada del aire, y en frente otra grande para introducir la mufla, la cual era en forma de medio cilindro perforada con muchos agujeros”.*

# Fuentes para el estudio de la tecnología andina

En el siguiente apartado presentaremos los tres tipos de fuentes que son de utilidad para comprender los usos que se le dieron a las *guayras*, además de los idearios y restos que confirman su utilidad para el trabajo de los metales en la cosmovisión andina.

## Fuentes históricas

Como se indica al comienzo del presente artículo, se considera que las guayras pueden ser abordadas a partir de una gran diversidad de fuentes y con ellas, los primeros pasos en el estudio de la historia de la ingeniería mecánica y la tecnología en tiempos anteriores a la revolución industrial para el caso peruano. Por lo tanto, se presentan fuentes que permiten comprender el aspecto técnico de esta tecnología, así como ubicarla dentro de su contexto histórico.

Hasta entrado el siglo XVIII, la minería peruana no había logrado grandes avances en el tema tecnológico conectado a la minería. Por el contrario, como indica López-Soria [23], el aspecto técnico no se había visto modificado en dos siglos de conquista, lo que generaba una sensación de retraso tecnológico. Esto además se vio respaldado por Modesto Bargalló [15] quien señalaba que la falta de conocimientos para la explotación de la zona además de la carencia de unidad entre aquellos que se dedicaban a la extracción impidió el desarrollo de una industria ordenada. Por ello, los hombres que trabajaban con *guayras* siguieron empleados después de la conquista: *“Ejemplo significativo lo constituyen los guairadores peruanos (fundidores con hornos guayras) que con sencillísimas hornillas fundían las menas que no supieron fundir los conquistadores, porque eran soldados y no mineros”* [15].

Esto es relevante, pues, existía una noción de desarrollo y progreso conectada a los avances de la racionalidad en Europa. En efecto, se intentó generar cambios tecnológicos, aunque sin mucho éxito. Por ejemplo, según indica López-Soria [23], se trajo para el año de 1560 a mineros alemanes, con el afán de mejorar la productividad de Potosí (para la extracción de plata) aunque sin mucho éxito. Esta falta de desarrollo tecnológico y preservación de tecnologías consideradas menos aptas se manifestó en fuentes coloniales. Para ilustrar, se cita el caso de Cieza de León [24]:

*“Es que antiguamente, como los incas fueron tan ingeniosos en algunas partes que les sacaban plata, debía no querer correr con fuelles, como en esta de Potosí, y para aprovecharse del metal hacían unas formas de barro, del talle y manera que es un albahaquero en España, teniendo por muchas partes algunos agujeros o respiraderos. En estos tales ponían carbón, y el metal encima; y puestos por los cerros o laderas donde el viento tenía más fuerzas, sacaban de él plata, la cual apuraban y afinaban después con sus fuelles pequeños, o cañones con que soplan. De esta manera se sacó toda esta multitud de plata que ha salido de este cerro, y los indios se iban con el metal a los altos de la redonda de él a sacar plata. Llaman a estas formas guairas, y de noche hay tantas de ellas por todos los campos y collados, que parecen luminarias; y en tiempo que hace viento recio se saca plata en cantidad; cuando el viento falta, por ninguna manera pueden sacar ninguna. De manera que, así como el viento es provechoso para navegar por el mar, lo es en este lugar para sacar la plata, y como los indios no hayan tenido veedores ni se pueda irles a la mano en cuanto al sacar plata, por llevarles ellos (como ya está dicho) a sacar a los cerros, se cree que muchos han enriquecido y llevado a sus tierras gran cantidad de plata. Y fue esto causa que de muchas partes del reino acudían indios a este asiento de Potosí para aprovecharse, pues había para ello tan grande aparejo”.*

Así como Cieza de León, Alonso Barba [22], también manifestó el descontento de la ausencia de fuelles en el trabajo de fundición; sin embargo, describió e ilustró algunas de las geometrías empleadas para la construcción de guayras (ver Figura 2). Esta fuente [22] es de vital importancia por varios factores. En primer lugar, posee bosquejos de los instrumentos y tecnologías según el autor logró interpretar, como el mostrado en la Figura 2, que permitió construir la guayra mostrada en la Figura 1 por [21]. En consecuencia, ofrece un panorama general respecto a los conocimientos de la época y nos sirve como base para estudios históricos conectados a la ingeniería mecánica. En segundo lugar, el autor Alvaro Alonso Barba era un cura que no solo habitaba la zona de Potosí, sino que aborda los avances locales en contraposición con el caso español. En efecto, parte de su obra tiene añadido el *Tratado de las antiguas minas de España, que escribió Don Alonso Carrillo y Laso, Caballero del Aviso de Santiago y Caballero de Cordova.* En tercer lugar, para aquellos interesados en el estudio de la historia, las crónicas nos ofrecen información y conocimiento generados durante la época que nos interesa, como fuente primaria que es. No obstante, hay que recordar que una de las características de las crónicas es que al ser escritas por europeos tengan una mirada y sesgos europeos. En efecto, como indican autores como Cañizares-Esguerra [25] [26], no es que no se hubiesen dado avances en el ámbito de la tecnología de manera local, sino más bien, el conocimiento estaba ligado a la perspectiva eurocéntrica y una percepción de retraso en el caso de las colonias [25].

Por otro lado, el uso de guayras también fue criticado por autores como Capoche et al. [27], pero las consideraron importantes a la hora de abordar los avances locales sobre el trabajo en metales. Los autores mencionados también destascaron como los distintos elementos empleados se unian para el beneficio de la plata. Asimismo mencionaron el espectáctulo que ofrecian las guayras al funcionar durante las noches, ilumninando cumbres y faldas de los cerros y collados, llegando a funcionar incluso 6000 guayras en simultáneo.

## Fuentes arqueológicas y antropológicas

El estudio de la tecnología andina constituye un elemento importante y necesario para la comprensión de las culturas antiguas. En efecto, autores como Heather Lechtman & Ana Maria Soldi [18] señalan que el estudio de esta debería ser retomado tanto por parte de los arqueólogos como antropólogos, en la medida que nos ofrece una aproximación a la manera en que se configuró la vida en el territorio. Como señalan las autoras: *“El estudio de las actividades técnicas va mucho más allá del mero conocimiento de las materias primas, las herramientas, las elaboraciones y los resultados de las actividades tecnológicas humanas. Trata de comprender de qué manera tales actividades son conceptuadas y valoradas por quienes las practican; qué conceptos generales del mundo, de sus elementos y su comportamiento han sido elaborados a partir de las experiencias tecnológicas; cómo los conceptos desarrollados en otras esferas de la cultura han influido la formación de conceptos tecnológicos, etcétera”(1981:15).*

Según autores como Michael Geselowitz, las fuentes arqueológicas pueden ofrecer facilidades para el estudio de la historia de la tecnología, en la medida que permite la reconstrucción de los mecanismos y objetos empleados en su contexto. Así, los documentos de por sí no son del todo transparentes a la hora de realizar una investigación. Por ello, el uso de fuentes arqueológicas nos permite una reconstrucción más fehaciente de los mecanismos empleados por las culturas prehispánicas [28].

Las guayras representan una forma de trabajo distinta a la europea para la extracción y trabajo de la plata además de otros metales [29]. Las diferencias no solo se manifestaban en la extracción misma, sino en toda la cadena operativa. Una posible razón de estas diferencias, según Cruz y Absi [29], es que en el Viejo Mundo, por esta época, no se conocían yacimientos de plata nativa, o de sulfuros y cloruros de plata comparables a los de Potosí. Por otro lado, la altura de las operaciones también marcaba una diferencia. En el caso europeo las operaciones mineras y de fundición se realizaban por debajo de los 2000 metros y con acceso a combustibles vegetales, mientras que los sitios metalúrgicos andinos encontrados podían estar sobre los 4000 metros [24]. Como se mencionó anteriormente, a partir de las fuentes históricas, la actividad minera prehispánica no era constante, ya que, a diferencia del caso europeo, en el que se trataba de maximizar la producción de metales como la plata para la producción monetaria, en los Andes prehispánicos los metales no tenían este fin. El uso de metales preciosos estaba reservado a fines ceremoniales y de culto. En la zona de Potosí, concretamente en Cerro Rico, Cerro Kari Kari, Cerro Huayna Cabra fue que se encontraron sitios asociados a actividades metalúrgicas donde funcionaron guayras mucho antes de la colonia [29].

Por otro lado, los Incas aprendieron y favorecieron los avances realizados por culturas anteriores, como los Tiahuanaco. Precisamente, según Rovira [5], diversos yacimientos y restos, como los de encontrados en Tarapacá (actual norte de Chile), han proporcionado todos los materiales arqueometalúrgicos necesarios para describir las cadenas operativas. Estas cadenas consisten en la fundición en guayras de minerales argentíferos con un captador de plomo, seguida de un proceso de depuración de la masa de plomo, plata y escoria realizada en vasijas [5]. Adicionalmente, el uso de plomo en la actividad metalúrgica dejó fuertes rastros de metales pesados en el medio ambiente [9], los cuales se pueden emplear para buscar otros sitios de actividad metalúrgica. Finalmente, el empleo de esta tecnología continuó incluso después de la introducción de procesos de amalgamación en 1571 para el beneficio del metal [30].

Si bien las minas mismas han sido destruidas tras 500 años de explotación y las excavaciones incas no pueden identificarse con precisión, existen restos de guayras en las colinas de los cerros adyacentes [31]. Cruz y Téreygeol [16] afirman que esto se debería a la función que estas tenían y los vestigios de metales en dicha tecnología:

*“Una de las principales razones de esta ausencia de registros, es que ellas resultaron desmanteladas y destruidas en momentos de baja del mineral con el fin de recuperar los restos de plata que quedaban atrapadas en sus paredes y escorias. Las prospecciones realizadas en Potosí permitieron identificar nueve sectores metalúrgicos con fragmentos de estos hornos(…) Entre estos espacios destaca el sitio Juku Huachana donde se hallaron también 60 estructuras circulares y rectangulares que sirvieron como base para los hornos”*.

La antropología es otra disciplina que nos podría permitir profundizar en los estudios de la historia de la tecnología andina, en la medida que las prácticas y cosmovisión de la época han logrado persistir hasta la actualidad. La extracción de metales y minerales tenía un componente místico durante el imperio Inca. Así, las prácticas de idolatría panteísta de los antiguos pobladores servían para unirlos a las minas de manera similar al resto de la naturaleza, por lo que se veían obligados a rendirles veneración y aportar ofrendas de manera periódica [19]. Existen registros de que se han empleado guayras de manera artesanal hasta el año 1894, según Robert Peele, quien fue testigo de su uso en la zona central de Bolivia [32]. Por otro lado, un caso de uso de *guayras* en la década de 1950 se encuentra documentado por van Buren [31] quien menciona también que posiblemente la última persona que empleaba dicha tecnología de manera artesanal para la fundición falleció en 2006. Es necesario mencionar dichos casos en la medida que nos permite confirmar la continuidad y practicidad de dicha tecnología inclusive de forma posterior a la revolución industrial.

Es común que al inicio de operación de una mina, se realicen ceremonias de pago a la tierra. En estos rituales se agradece y pide permiso a la tierra por el material que se va a extraer. Como señala Pascale Absi, en la actualidad persiste la perspectiva según la cual las minas no son objetos inertes, sino que cuentan con deidades que protegen los metales y a quienes hay que respetar: *“Las vírgenes y las cruces que vigilan las entradas de las minas protegen la seguridad de los mineros. A cambio, los hombres deben alimentarlos mediante sacrificios y satisfacerlos con su devoción; en caso contrario, son castigados con la desaparición de las vetas, enfermedades o incluso accidentes mortales”* [33]. Esta perspectiva y sacralidad de la extracción de minerales era común en el mundo prehispánico.

 En efecto, según señalan Lechtman y Soldi, muchos de los sistemas que fueron relevantes durante el Tahuantinsuyo, forman parte de la vida cotidiana actual [18]. Por ello, lejos de concebir estas tecnologías como anticuadas u obsoletas, deberíamos estudiarlas como una forma de comprender no solo el origen de las mismas, sino también la razón por la cual estas han logrado persistir y resistir el paso del tiempo [18].

# Resultados

A partir de la revisión de las presentes fuentes podemos afirmar que se puede realizar un estudio de la historia de la ingeniería mecánica con materiales provenientes de disciplinas diferentes a las ciencias puras. Así, artículos provenientes de historia, arqueología y antropología poseen data que nos permiten no solo recrear las tecnologías generadas durante la época prehisánica, sino también abrir la puerta a una gran cantidad de temas novedosos para el estudio de la historia de la ingeniería mecánica y su continuidad en el Perú.

# Conclusiones

Consideramos que para realizar estudios de historia de la ingeniería mecánica de forma más precisa, tendremos que hacer una revisión exhaustiva tanto de la bibliografía a tratar como la revisión de fuentes primarias, en el caso de máquinas o mecanismos coloniales. En consecuencia, es necesario empezar a trabajar con herramientas de corte interdisciplinario para aproximarnos con mayor exactitud.

En este sentido, el estudio de la ingeniería mecánica en la etapa prehispánica se puede realizar complementando las fuentes primarias con fuentes secundarias de índole tecnológica, metalúrgica, química y arqueológica. Indudablemente, abordar este tipo de temas requiere un enfoque interdisciplinario al tener fuentes de diversa índole y sobre todo considerando que no existen registros escritos prehispánicos.

# Referencias

|  |  |
| --- | --- |
| [1]  | C. Zori, «Inca Mining and Metal Production,» de *The Oxford Handbook of the Incas*, Oxford, Oxford University Press, 2018, pp. 375-394. |
| [2]  | M. Shah, H. Pelfrey y J. Stephenson, «The influence of Chimú Metalworks on Inca Metalworks,» *The Kennesaw Journal of Undergraduate Research,* vol. 5, nº 2, pp. 1-10, 2017.  |
| [3]  | G. Hörz y M. Kallfass, «The treasure of gold and silver artifacts from the Royal Tombs of Sipán, Perú - a study on the Moche metalworking techniques,» *Materials Characterization,* vol. 45, pp. 391-420, 2000.  |
| [4]  | K. Lane, «Potosí,» de *New world objects of knowledge. A Cabinet of Curiosities*, London, University of London Press, 2021, pp. 23-40. |
| [5]  | S. Rovira, «La metalurgia inca: estudio a partir de las colecciones del Museo de America de Madrid,» *Billetin de l'Institut francais d'études andines,* vol. 46, nº 1, pp. 97-131, 2017.  |
| [6]  | U. Shanker Dixit, M. Hazarika y J. Davim Paulo, A Brief History of Mechanical Engineering, Springer, 2017.  |
| [7]  | E. Bautista-Paz, M. Ceccarelli, J. Echávarri-Otero y J. Muñoz-Sanz, A Brief Illustrated History of Machines and Mechanisms, Dordrecht: Springer, 2010.  |
| [8]  | J. Santillana, «Economía Prehispánica en el Área Andina (periodo intermedio temprano, horizonte medio y periodo intermedio tardío),» de *Compendio de Historia Económica del Perú. Tomo 1: Economía Prehispánica*, Lima, BCR, IEP, 2020, pp. 231-314. |
| [9]  | S. Guédron, J. Tolu, C. Delaere, P. Sabatier, J. Barre, C. Heredia, E. Brisset, S. Campillo, R. Bindler, S. Fritz, P. Baker y D. Amouroux, «Reconstructing two millennia of copper and silver metallurgy in the Lake Titicaca region (Bolivia/Peru) using trace metals and lead isotopic composition,» *Anthropocene,* vol. 34, p. 100288, 2021.  |
| [10]  | H. Lechtman, «Andean Value Systems and the Development of Prehistoric Metallurgy,» *Technology and Culture,* vol. 25, nº 1, pp. 1-36, 1984.  |
| [11]  | H. Lechtman, «A Metallurgical Site Survey in the Peruvian Andes,» *Journal of Field Archaeology,* vol. 3, nº 1, pp. 1-42, 1976.  |
| [12]  | J. Bouchard, «Oro, riquezas, recursos y poderes andinos en el Tawantinsuyu,» *Bulletin de l'Institut fracais d' études andines,* vol. 46, nº 1, pp. 5-8, 2017.  |
| [13]  | M. Cárdenas, «Minería y Metalurgia PreInca,» de *Historia de la minería en el Perú*, Lima, Milpo, 1999, pp. 19-57. |
| [14]  | M. Van Buren y B. J. Weaver, «Contours of Labor and History: A Diachronic Perspective on Andean Mineral Production and the Making Landscapes in Porco, Bolivia,» *Historical Archaeology,* vol. 46, nº 3, pp. 79-101, 2012.  |
| [15]  | M. Bargalló, La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial, México D. F: Fondo de Cultura Económica , 1955.  |
| [16]  | P. Cruz y F. Téreygeol, «El mineral rebelde. El lado indígena de la producción de plata durante los primeros momentos de la colonia(Bolivia, siglos XVI-XVIII),» *Revista de Arqueología Histórica Argentina y Latinoamericana,* nº 12, pp. 37-62, 2018.  |
| [17]  | A. Regal, «Las minas incaicas,» *Revista de la Universidad Católica del Perú,* vol. 14, nº 1, pp. 43-85, 1946.  |
| [18]  | H. Lechtman y A. Soldi, La tecnología en el mundo andino, México D. F: UNAM, 1981.  |
| [19]  | G. Petersen, «Mineria y Melalurgia en el Antiguo Peru,» *Revista Arqueologica,* vol. 12, 1970.  |
| [20]  | F. Hernández-Astete, «La minería en el Tahuantinsuyo,» de *Historia de la minería en el Perú*, Lima, Milpo, 1999, pp. 61-83. |
| [21]  | F. Téreygeol y P. Cruz, «Metal del viento. Aproximación experimental para la comprensión del funcionamiento de las wayras andinas,» *Estudios Atacameños,* vol. 48, pp. 39-54, 2014.  |
| [22]  | A. A. Barba, Arte de los metales, Madrid: Oficina de la vda. de Manuel Fernandez, 1770.  |
| [23]  | J. I. López-Soria, Tratado del arreglo y reforma que conviene introducir en la Mineria del Reino del Perú para su prosperidad, conforme al sistema y práctica de las naciones de Europa más versadas en este ramo, presentado de oficio al Superior Gobierno de estos Reinos por, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.  |
| [24]  | P. Cieza de León, La Crónica del Perú, Lima: Peisa, 1973 (1553).  |
| [25]  | J. Cañizares-Esguerra, «Bartholomé Inga's mining technologies: Indiands, science, cyphered secrecy, and modernity in the new world,» *History and Technology,* vol. 34, nº 1, pp. 61-70, 2018.  |
| [26]  | J. Cañizares-Esguerra, «On ignored global Scientific Revolutions,» *Journal of Early Modern History,* vol. 21, pp. 420-432, 2017.  |
| [27]  | L. Capoche, L. Concolorcorvo y J. Perez de Tudela y Bueso, Relación general de la Villa Imperial de Potosí, Madrid: Atlas, 1959.  |
| [28]  | M. Geselowitz, «Archaeology and the Social Study of Technological Innovation,» *Science, Technology & Human Values,* vol. 18, nº 2, pp. 231-46, 1993.  |
| [29]  | P. Cruz y P. Absi, «Cerros ardientes y huayras calladas. Potosi antes y durante el contacto,» de *Mina y metalurgia en los andes peruanos desde la época prehispánica hasta el siglo XVII*, Lima, IFEA, 2008, pp. 91-120. |
| [30]  | L. Vetter, S. Petrick, Y. Huaypar y M. MacKay, «Los hornos metalúrgicos del sitio Inca de Curamba (Perú): estudio por DRX, estroscopia Mössabauer y datación por métodos de luminiscencia,» *Bulletin d l'Institut d' études Andines,* vol. 37, nº 3, pp. 451-475, 2008.  |
| [31]  | M. Van Buren, «Conectando el pasado con el presente: la antropología histórica de la producción de metal a pequeña escala en Porco, Bolivia,» *Boletín de Arqueología PUCP,* vol. 20, pp. 63-82, 2016.  |
| [32]  | R. Peele, «A primitive Smelting Furnace,» *School of Mines Quarterly,* vol. 15, pp. 8-10, 1894.  |
| [33]  | P. Absi, Los ministros del diablo. El trabajo y sus representaciones en las minas de Potosí, La Paz: IRD, 2005.  |
| [34]  | P. Bakewell, Mineros de la montaña roja. El trabajo de los indios en Potosí (1545-1650), Madrid: Alianza, 1989.  |
| [35]  | C. Cohen, M. Van Buren y B. Mills, «Current silver smelting in the bolivian andes: a review of the technology employed,» *Historical Metallurgy,* vol. 44, nº 2, pp. 153-162, 2010.  |
| [36]  | N. D. Cook, La catástrofe demográfica andina. Perú 1520-1620, Lima: Fondo Editorial PUCP, 2010.  |
| [37]  | M. Cueto, Saberes andinos: ciencia y tecnología en Bolivia, Ecuador y Perú, Lima: IEP, 1995.  |
| [38]  | F. Mateos, Obras del P. Jose de Acosta de la compañia de Jesús, Madrid: Estades. Artes Gráficas, 1954.  |
| [39]  | C. Salazar-Soler, «Minería y moneda en la época colonial temprana,» de *Compendio de Historia Económica del Perú*, Lima, BCR, IEP, 2020, pp. 109-228. |
| [40]  | M. Van Buren y B. Mills, «Huayrachinos and Tocochimos: Traditional Smelting Technology of Southern Andes,» *Latin American Antiquity,* vol. 16, nº 1, pp. 3-25, 2005.  |
| [41]  | P. Cruz y F. Téreygeol, «Los hornos de Reverbero Andinos. Dinámicas de Transferencias e Innovaciones de Tecnologías Metalúrgicas Indígenas y Europeas,» *Estudios Atacameños,* nº 66, pp. 105-128, 2020.  |