



01

SAX

SISTEMA DE ANÁLISIS
MINERALÓGICO

MINERALOGICAL ANALYSIS SYSTEM

El Sistema de Análisis Mineralógico de SAX determina, de manera precisa, rápida y en la misma línea de producción, las especies mineralógicas presentes en el material de cualquier proceso productivo de las mineras, haciendo posible optimizar el proceso de extracción.

The Mineralogical Analysis System developed by SAX determines in an accurate and quick manner and on the line of production, the mineralogical species present in the material of any productive process of the mining company and makes possible the optimization of the extraction system.





SAX
Soluciones Analíticas SpA

CONTACTO / CONTACT:

Oswaldo Maldonado
Gerente General

www.sax.cl
+56 2 27842470
Los Alerces 2714
Ñuñoa, Santiago – Chile

RESEÑA DE LA EMPRESA

Los inicios de SAX están marcados por un giro en el rubro de la empresa. Corría el año 1994 y Osvaldo Maldonado era el fundador de una compañía llamada Computec, dedicada principalmente al negocio de insumos de computación, la misma que nueve años después se convertiría en Soluciones Analíticas SAX. Ese año, y gatillado por la venta de la división de rayos X de Siemens —donde Osvaldo Maldonado era consultor— a la empresa alemana Bruker AXS, Computec decidió ser la representante para Latinoamérica de Bruker AXS. Una compañía dedicada a la fabricación de instrumentos científicos para la investigación molecular, de materiales y análisis químico a nivel industrial en los sectores farmacéutico, químico, nanotecnológico y defensa.

A partir de 1998, Computec identificó una creciente demanda por servicios de análisis químicos, moleculares y de materiales, la que complementó con la comercialización de instrumentos. Uno de sus primeros clientes de servicios de análisis fue el laboratorio de control metalúrgico de la concentradora de la División Chuquicamata de Codelco. Experiencia que les permitió conocer de cerca las

necesidades y oportunidades de la industria minera asociadas a este tipo de servicio.

Uno de los principales hitos de la empresa sucede en 1998. Hasta esa fecha no existía en el mercado un instrumento capaz de hacer un análisis mineralógico rápido y en terreno para el control operacional del proceso de concentración. Esta carencia obligó a Codelco a solicitar un sistema que cumpliera con esos requerimientos. Computec se hizo cargo de esta necesidad y, tras algunos estudios de factibilidad, en el año 2000 inició el desarrollo del primer prototipo de Sistema de Análisis Mineralógico, utilizando como base los equipos y tecnologías de difractómetros de rayos X de Bruker AXS. Sin embargo, tuvieron que pasar 11 años para que la División Chuquicamata solicitara pasar a una fase de desarrollo industrial y puesta en marcha de la innovación.

En el año 2003, el negocio principal de Computec era el de análisis de rayos X. En este contexto, su fundador decidió cambiar el nombre a Soluciones Analíticas SAX y consolidar su oferta de instrumentación. De ahí en adelante representaron no solamente a Bruker AXS, con sus espectrómetros y difrac-



Fotografía Codelco Chile

COMPANY OVERVIEW

A change in the perspective of the company marked SAX's beginnings. The year was 1994 and Osvaldo Maldonado was the founder of a company named Computec, mostly dedicated to the computer supplies business, the same company that 9 years later would become Soluciones Analíticas SAX. This year and triggered by Siemens' sale of their X rays division -where Osvaldo Maldonado was a consultant- to the German company Bruker AXS, Computec decided to be Bruker AXS' representative in Latin America. A company dedicated to the manufacturing of scientific devices for molecular investigation, materials, and chemical analysis on an industrial level in the pharmaceutical, chemical, nanotechnological and defense areas.

Since 1998, Computec identified a growing demand for chemical, molecular and materials analysis services, which it complemented with marketing of devices. The metallurgic inspection laboratory of the concentrator of Codelco's Chuquicamata Division was one of its first analysis service clients. This experience allowed them to become familiar with

the needs and opportunities inside the mining industry associated with this kind of service.

In 1998 one of the major milestones of the company took place. Until then there wasn't a single device in the market that was able of doing a quick metal analysis and on the site for the operational control of the concentration process. This lack forced Codelco to request a system that met these requirements. Computec took over this necessity and, after carrying out some feasibility studies, in 2000 it started the development of the first prototype of mineral analysis system, using as a base the equipment and technology of X-ray diffractometer of Bruker AXS. However, 11 years had to elapse for Chuquicamata Division to request an industrial development phase and the setting up of the innovation.

In 2003, Computec's major business was X-ray analysis. In this context, its founder decided to change the name to Soluciones Analíticas SAX and consolidate its devices offer. From then on, they not only represented Bruker AXS, with their spectrometers and

Diseñan y desarrollan soluciones de medición y preparación de muestras a partir de las demandas de sus clientes.

tómetros, sino también instrumentos de mineralogía automatizada como TIMA, utilizados para determinar la concentración y textura de especies minerales en muestras de roca. Más adelante, se sumaron equipos de absorción atómica y plasma de Analytik Jena, que permitían medir concentraciones de elementos químicos en soluciones a nivel de trazas. Luego se agregaron instrumentos de microscopía electrónica de Tescan para obtener imágenes microscópicas ampliadas de muy alta resolución e instrumentos de preparación de muestras. Todo este crecimiento tuvo como objetivo satisfacer las necesidades de los laboratorios de análisis y caracterización de materiales dentro de Chile, principalmente en universidades, compañías mineras y cementeras. Esta experiencia e interacción con múltiples proveedores permitió que SAX pudiese identificar necesidades insatisfechas para desarrollar e integrar soluciones de mayor sofisticación y valor agregado.

Actualmente, SAX brinda soluciones de instrumentación analítica mediante la venta y comercialización de equipos, servicio técnico, venta de repuestos, análisis químico elemental y mineralógico. Además, diseñan y desarrollan soluciones de medición y preparación de muestras a partir de las demandas de sus clientes y las capacidades que tienen como empresa para hacerlas realidad. Un ejemplo de lo anterior es el Sistema de Análisis Mineralógico y Difracc-Press, una prensa neumática para preparar muestras de polvo para análisis por difracción de rayos X. Con aproximadamente 50 profesionales, la organización ha crecido a través de la entrega de soluciones que resuelven de manera integral las necesidades de sus clientes. Para esto, además de su oficina principal en Santiago, cuentan con 2 laboratorios de análisis en las regiones de Valparaíso y de Atacama, que les permite establecer presencia y servicios periódicos a sus clientes.



diffractometers, but also automatic mining devices like TIMA, used to determine the concentration and texture of mineral species in rock samples. Further on, Atomic Absorption and Plasma equipment of Analytik Jena were added, which allowed to measure the chemical elements concentrations in solutions at trace levels. Then Tescan's devices of electronic microscopy were added to obtain enlarged microscopic images of a very high resolution and sample preparation devices. All this growth aimed to fulfill the needs of analysis laboratories and material characterization inside Chile, mostly in universities, mining companies and cement plants. This experience and interaction with numerous suppliers allowed SAX to identify unfulfilled needs to develop and incorporate highly sophisticated solutions with added value.

Currently, SAX provides analytic device solutions through the sale and marketing of equipment, technical service, spare-parts sales, elemental chemical and mineralogical analysis. Moreover, they design and develop sample measurement and preparation solutions arising from their clients' demands and the abilities they have as a company to make them real. An example of the latter is the Mineralogical Analysis System and the Diffrac-Press, a pneumatic press to prepare dust samples for analysis through X-ray diffraction. With approximately 50 professionals, the organization has grown through the delivery of solutions that solve in an integral manner their clients' needs. To achieve this, besides their main office in Santiago, they have 2 analysis laboratories in the regions of Valparaiso and Atacama, which allows them to establish presence and regular services to their clients.

DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA INNOVACIÓN

PROBLEMA

La eficiencia de un proceso metalúrgico depende, en gran medida, de la adecuada y oportuna toma de decisiones operacionales ante la variabilidad de la calidad física y química de los minerales que entran al proceso. Para esto es necesario cuantificar los cambios de los parámetros intrínsecos, como leyes, y del proceso de concentración de minerales, en particular la mineralización de mena y ganga, de forma de poder aplicar estrategias de control que permitan ajustar las condiciones operacionales y optimizar la eficiencia del proceso.

En la actualidad existe tecnología para proporcionar información en línea de leyes de mineral, en especial de cobre. Sin embargo, esta información no es suficiente para optimizar el proceso de flotación de minerales de cobre. De aquí que es una práctica operacional habitual complementar dicha información con datos de mineralización obtenidos en forma discreta desde muestreos poco representativos de la realidad operacional.

En otros casos es común estimar la composición mineralógica a partir de la composición química, información que es de carácter cualitativa. En ambos significa tomar decisiones operacionales que dan respuesta a fenómenos ocurridos en otro instante de tiempo, que no aseguran la optimización de la eficiencia del proceso en términos de recuperación de la especie de interés, consumo específico de reactivos y costo de operación.

Hasta el momento no había un equipo que pudiese alcanzar un nivel de precisión razonable del tipo de mineral, que su resultado se conociera en minutos y que pudiese operar en la misma planta de procesamientos de mineral. SAX se hizo cargo de estas necesidades e inició para la Gerencia de Concentración de la División Chuquicamata de Codelco, el diseño y construcción de una solución que resolviera estos problemas y condiciones de borde.



Fotografía SAX / Cubículo del difractómetro

DESCRIPTION AND CHARACTERISTICS OF THE INNOVATION

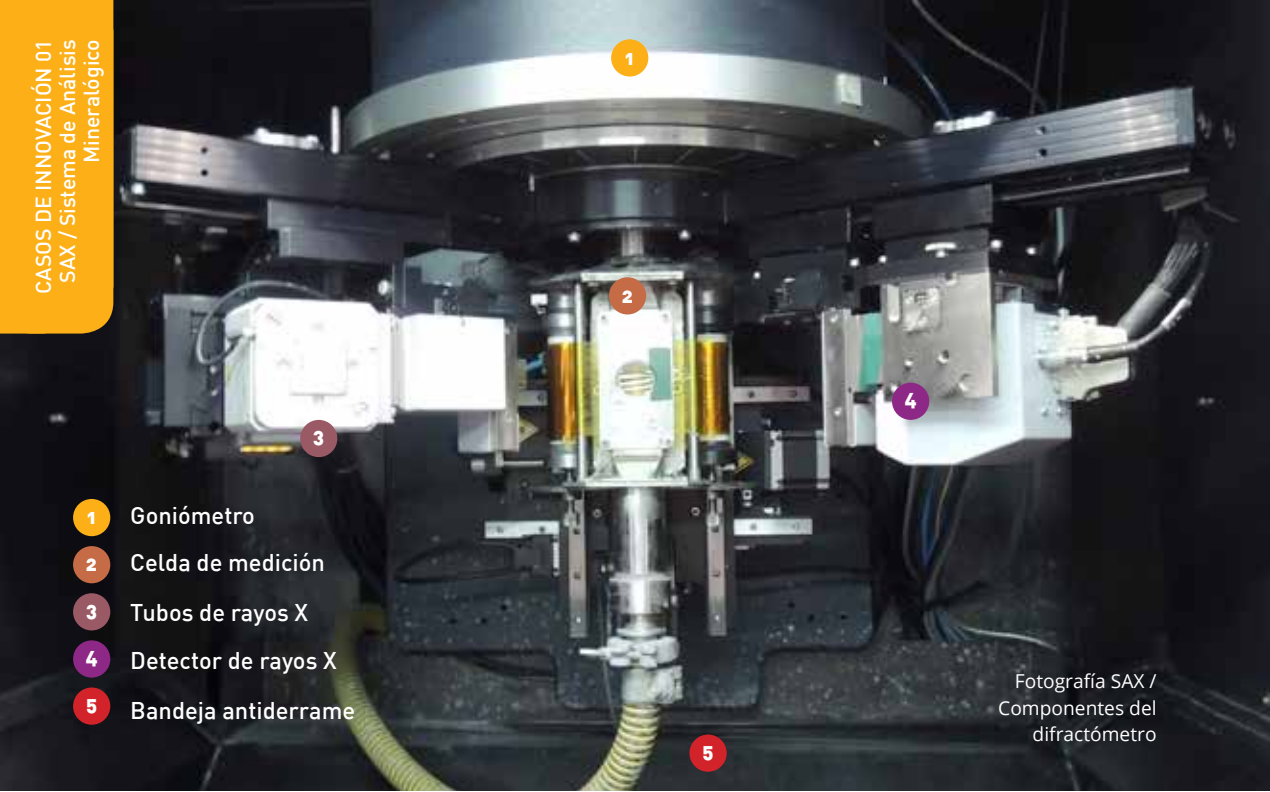
PROBLEM

The efficiency of a metallurgic process depends, to a large extent, of the adequate and timely operational decision making in light of the variability of the physical and chemical quality of the minerals that go into the process. To do this, it is necessary to quantify the changes of the intrinsic parameters, such as grades, and of the mineral concentration process, in particular the mineralization of ore and rocks, so that control strategies can be applied allowing the adjustment of operational conditions and optimize the process' efficiency.

Nowadays there is technology to provide online information about mineral grades, especially copper. However, this information is not enough to optimize the process of mineral flotation of copper. Hence, it is a regular operational practice to complement said information with mineralization data attained in a discrete way from samples that do not fully

represent the operational reality. In other cases, it's common to estimate the mineralogical composition from the chemical composition, this information is qualitative. In both, it means making operational decisions that answer phenomena that took place in another moment of time, which do not ensure the optimization of the process' efficiency in terms of the recovery of the interested specie, specific reagent consumption, and, lastly, operational cost.

Up to this moment, there wasn't a single equipment that was able to reach the level of reasonable precision of the mineral type, that its result could be ready in minutes, and that it could be able to operate in the same mineral processing plant. SAX took over these needs and started the design and construction of a solution that could solve these problems and boundary conditions for the Concentration Management of Codelco's Chuquicamata Division.



- 1 Goniómetro
- 2 Celda de medición
- 3 Tubos de rayos X
- 4 Detector de rayos X
- 5 Bandeja antiderrame

Fotografía SAX /
Componentes del
difractómetro

SOLUCIÓN

Los factores clave para la construcción del primer Sistema de Análisis Mineralógico en línea fueron 3: la experiencia de SAX en las tecnologías e instrumentos necesarios en laboratorio, el tipo de estudio del mineral que se deseaba realizar y una solicitud específica de la División Chuquicamata de Codelco de avanzar en esa línea. Esta innovación de producto consistió en transformar un difractómetro de rayos X, usado para análisis mineralógico de muestras de polvo en laboratorio, en un instrumento que pueda hacer esto mismo en pocos minutos en una operación minera de una pulpa o material en estado líquido. Además de la transformación del instrumento, se tuvo que diseñar y construir un sistema único de toma de muestras y un software que realizara un análisis preciso del mineral.

El difractómetro de rayos X utiliza una técnica basada en el fenómeno de difracción de los rayos X de un material en estado cristalino. De acuerdo a cómo emergen del material irradiado se puede determinar ciertos patrones de difracción, los que posteriormente permiten identificar qué tipos de minerales contiene la muestra. La transformación de este equipo implica cambiar la forma de calcular y la manera en que se incorpora la muestra, ya que el material en planta viene en estado acuoso (pulpa de cobre) y se le agrega una celda de medición. Ahí se produce la difracción en una sección de tubería que hace un muestreo de aproximadamente 25 litros de pulpa desde la línea de proceso. Una vez terminado el análisis, la muestra es devuelta al proceso nuevamente.



La solución de SAX está diseñada para operar automáticamente, lo que disminuye los costos de operación. La única intervención que requiere es cada 12 meses para hacer mantenencias al sistema y calibraciones al difractor.

Este sistema está compuesto por 5 componentes:

- 1 Difractor de rayos X.** Para análisis cualitativo y cuantitativo, con un computador industrial y software de análisis y control.
- 2 Celda de medición.** Fabricada en acero inoxidable de alta resistencia a la abrasión, con un control motorizado para el cambio de la muestra líquida y un sistema de válvulas neumáticas para el transporte de la misma.

SOLUTION

There were three key factors for the construction of the first on-line mineral analysis system: SAX's experience in technology and necessary devices in the laboratory, the type of mineral study that they wanted to do and a specific request from Codelco's Chuquicamata Division to advance on that same track. This product innovation consisted on transforming an X-ray diffractometer, used for mineralogical analysis of dust samples in the laboratory, into a device that can do the same but in a short amount of time in a mining operation of a pulp or a material in liquid state. Besides the device's transformation, a unique sampling system and software, that would do an accurate mineral analysis, had to be designed and built.

The X-ray diffractometer uses a technique based on the diffraction phenomenon of X-rays of a material in crystalline state. Certain diffraction patterns can be determined in terms of how they surface from the irradiated material, later they allow the identification of the types of minerals the sample contains. The transformation of this equipment involves changing the way of calculating and the manner in which the sample is included, since the material in plant comes in liquid state (copper pulp) and a measurement cell is added. Then the diffraction process takes place in a pipe section that does a sampling of approximately 25 liters of pulp from the process line. Once the analysis is finished, the sample is returned to the process.

SAX's solution is designed to operate automatically, which lowers the operational costs. The only intervention required is every 12 months to do a system maintenance and calibrations to the diffractometer.

This system is made up of five components:

- 1. X-ray diffractometer.** For qualitative and quantitative analysis, with an industrial computer and an analysis and control software.
- 2. Measurement cell.** Made with stainless steel that has a high resistance to wear, with a motorized control for changing the liquid sample and a pneumatic valve system for the transportation of the latter.

Además de realizar el análisis mineralógico, el sistema realiza un diagnóstico de su operación y resuelve errores de funcionamiento y cálculo de forma automática.

- 3 **Sistema automático de carga de muestra.**
- 4 **Software específicamente diseñado para análisis cuantitativo de muestras.** No necesita patrones y utiliza el método de parámetros fundamentales.

- 5 **Software para el control total de la medición.** Automáticamente toma la muestra, hace el análisis y envía la información al sistema de control requerido sin la necesidad de un operador.

SAX se hizo cargo del desarrollo del software que controla actuadores neumáticos y distintos sensores del sistema, para luego enviar los comandos de lectura hacia el difractómetro y

procesar los resultados para que sean leídos por el control de la planta. El software se ejecuta en un computador interno, donde se diagrama el sistema de medición completo y refleja el estado de cada uno de sus componentes. Esto permite el control en terreno de ellos y agiliza el análisis del mineral. Además de realizar el análisis mineralógico, el sistema realiza un diagnóstico de su operación y resuelve errores de funcionamiento y cálculo de forma automática. Asimismo, ejecuta cada una de las tareas requeridas para hacer el análisis mineralógico de la pulpa: carga de la pulpa, inicio de medición, toma de muestra, evacuación, lavado de tuberías y cambio de película de la celda. Con esto, lo que antes tomaba al menos 12 horas, se obtiene en minutos.



Fotografía SAX / Depositphotos

3. Automatic system for sample load

4. Software specially designed for quantitative analysis of samples. It does not require patterns and it uses the Fundamental Parameters Approach (FPA).

5. Software for total management of the measurement. It automatically takes the sample, does the analysis and sends the information to the required control system, without the need of an operator.

SAX took over the development of the software which controls pneumatic drives and different sensors of the system, to send the read commands to the diffractometer and process the results so they can be read by the plant control. The software is executed in an internal computer, where the entire measurement system is diagrammed, and it reflects the state of each of its components. This allows site management of them and speeds the mineral analysis. Besides carrying out the mineralogical analysis, the system carries out diagnosis of its operations and solves operating errors and calculations in an automatic way. Likewise, it executes each of the required tasks to do the mineralogical analysis of the pulp: loading of the pulp, measurement start, sampling, evacuation, pipe washing and change of the cell layer. With this, what before took at least 12 hours, now it can be done in minutes.

Fotografía
Codelco Chile



PROCESO DE INNOVACIÓN - FACILITADORES Y BARRERAS

El proceso de este desarrollo comenzó a fines del año 1998 con un estudio de prefactibilidad realizado por SAX para el área de Concentración de la División Chuquicamata de Codelco. Este consistió en evaluar si la técnica de difracción de rayos X podía tomar muestras de suspensiones líquidas y en movimiento. El análisis se realizó en la Universidad de Antioquia de Medellín porque contaba con el único difractómetro en Latinoamérica con espejo de Göbel, el cual es capaz de eliminar los efectos de desenfoque de un material suspendido en un líquido.

Los resultados de estas pruebas fueron positivos, ya que se obtuvieron difractogramas lo suficientemente precisos como para tener un análisis mineralógico de una muestra directa de la flotación de mineral. Posteriormente, para mejorar el resultado y hacer que el proceso fuera lo más expedito y continuo posible, se construyó una celda de medición más robusta de acero inoxidable con una ventana de medición que contenía una película mucho más delgada y resistente.

Hasta esta etapa SAX contaba con la colaboración y respaldo del jefe de control metalúrgico de la concentradora de Codelco Chuquicamata. Sin embargo, en el año 2000 el responsable del área cambió de posición, lo que dejó en pausa el apoyo para concluir el prototipo y realizar la fase de pruebas definida en conjunto

INNOVATION PROCESS – FACILITATION AND BARRIERS

con SAX. Paralelamente, SAX continuó con sus otras líneas de comercialización y servicios de laboratorio.

No fue sino hasta el 2011 que, producto de una disminución importante de pirita en el concentrado, se produjeron problemas en la fundición de Chuquicamata. Ante esta situación, el área de Innovación de Codelco Chuquicamata tomó contacto con SAX para que mostrara el prototipo que había desarrollado años atrás. Esto reactivó el desarrollo, prueba e implementación industrial del Sistema de Análisis Mineralógico de SAX. Su contraparte fue Codelco Tech, desde el área técnica, y operaciones de la concentradora de Chuquicamata. En términos generales, esta declaración de necesidad por parte de un cliente minero es el hito de inicio en SAX para el desarrollo de una innovación.

En el año 2013 se instaló el nuevo sistema en terreno. Gracias a la instalación de una sección de tubería de material mucho más flexible a la salida de la bomba fue posible resolver problemas de captura y retención de las muestras de pulpa para la medición.

The process of this development started by the end of 1998 with a pre-feasibility study done by SAX for the Concentration area of Codelco's Chuquicamata Division. This consisted on evaluating if the X-rays diffraction technique could take samples of liquid suspensions and in motion. The analysis was done in Antioquia's University of Medellin because it had the only diffractometer in Latin America with a Göbel mirror, which is capable of removing the blurring effects of a material suspended in a liquid.

The results of these tests were positive, since they obtained diffractograms that were accurate enough to have a mineralogical analysis of a direct sample of the mineral flotation. Later, to improve the results and make the process as fast and as continuous as possible, a stronger stainless steel measurement cell was built with a window of measurement that had a thinner and sturdier layer.

Up to this stage SAX had the collaboration and support of the metallurgical management Chief of Codelco Chuquicamata's Concentrator. Nevertheless, in 2000 the area responsible changed positions, which left the support on pause for finishing the prototype and carrying out the test phase defined with SAX. At the same time, SAX continued with their other marketing and laboratory services lines.

It wasn't until 2011 that, due to a significant decrease of pyrite in the concentration, problems arose in Chuquicamata's foundry facility. Upon this situation, Codelco Chuquicamata's area of Innovation contacted SAX so they could show them the prototype they had developed years earlier. This reactivated the development, testing and industrial implementation of SAX's Mineralogical Analysis System. Codelco Tech was its counterpart, from the technical area, and operations of Chuquicamata's Concentrator. In general terms, the mining client expressing it had a need was the beginning milestone in SAX for an innovation's development.

In 2013 the new system was installed on site. Thanks to the installation of a pipe section of a material much more flexible on the pump's discharge it was possible to solve the capture and retention problems of the pulp samples for measurement.

Una vez implementado el modelo industrial, SAX siguió con la idea de construir una solución que fuese replicable en otras operaciones mineras.

Una vez resuelto y mejorado el proceso de captura y devolución a la concentración del sistema para su correcto funcionamiento, se pasó a la fase de comparación de resultados de análisis en un laboratorio independiente, donde se utilizó métodos de difracción de rayos X y microscopía electrónica. Esto arrojó que ambos análisis mineralógicos tenían una correlación superior a 0,8 en una escala que llega a 1, lo que para Codelco era considerado aceptable.

Una vez implementado el modelo industrial, SAX siguió con la idea de construir una solución que fuese replicable en otras operaciones mineras. Con este fin, conformó un equipo de desarrollo que se dedicara a diseñar un sistema más empaquetado y funcional. El equipo estaba formado por Osvaldo Maldonado, PhD. en Física y fundador de SAX; Nicolás Turén, ingeniero electrónico; Norberto Collazo, ingeniero biotecnólogo con experiencia en mecánica; y Marcelo Arévalos, especialista del área de laboratorio de SAX.

Este equipo avanzó en mejoras de la celda de medición, de modo de prestar el servicio de mantenimiento para cada componente del sistema. Además, incorporaron elementos de control automático por software que facilitaban la operación autónoma sin necesidad de intervenir el hardware, lo que contribuía a reducir los costos de operación y aumentar la disponibilidad de ésta. También se incorporó un sensor de humedad para detectar fugas en la ventana de medición o rupturas en la película a causa de la abrasión del material. Todas estas mejoras permitieron que el año 2016 el IM2 —hoy Codelco Tech—, junto con el área de Innovación Tecnológica de Codelco Norte División Chuquicamata, iniciaran la puesta en marcha del Sistema de Análisis Mineralógico de SAX. Esto significó para la empresa introducir al mercado la entrega de un servicio que se hizo cargo del ajuste de los elementos instrumentales, del software de control, calibración y modelamiento para la cuantificación de las fases mineralógicas.



Fotografía SAX / Depositphotos

Once the capture and return process to the system concentration for its proper operation was solved and improved, they went on to the results comparison phase in an independent laboratory where X-rays diffraction methods and electronic microscopy were used. The conclusion was that both mineralogical analysis had a correlation of more than 0,8 in a scale that is up to 1, which in Codelco's eyes was considered acceptable.

Once the industrial model was implemented, SAX continued with the idea of building a solution that could be reproducible in other mining operations. To this end, they gathered a development team that would be dedicated to designing a system more condensed and functional. The team was constituted by Osvaldo Maldonado, PhD. in Physics and founder of SAX; Nicolás Turén, electronic engineer; Norberto Collazo, biotechnological engineer with experience in mechanics; and Marcelo Arévalos, specialist of the laboratory area of SAX.

This team made progress in improving the measurement cell, so they could provide the maintenance service for each component of the system. Moreover, they incorporated automatic control elements through software which improved automatic operation without the need to intervene the software, which contributed to reducing the operational costs and increasing the availability of it. They also incorporated a moisture sensor to detect leaks during the window of measurement or breaches on the layer due to material wear. All these improvements allowed IM2, —today Codelco Tech—, alongside Codelco Norte Chuquicamata's Division of Technological Innovation area to start the implementation of SAX's Mineralogical Analysis System, in 2016. For the company this meant introducing to the market the delivery of a service that took over the adjustment of the instrumental elements, the control software, calibration and modeling for the quantification of mineralogical phases.

Hacer las pruebas en terreno permitió agregar valor a la etapa de flotación y concentración como no se había logrado hasta ese momento.

Actualmente, y gracias a este desarrollo, la planta de la concentradora de Codelco División Chuquicamata cuenta con una herramienta capaz de proveer información sobre la composición mineralógica del mineral concentrado casi de forma instantánea. Esto permite evaluar la validez de un algoritmo de control de reactivos y, por tanto, hacer más eficiente, en términos de uso de insumos, el proceso de flotación y concentración.

SAX aspira a internacionalizar su tecnología, por lo que se encuentra explorando oportunidades de desarrollo y crecimiento con un proveedor de difractómetros de rayos X. Paralelamente, y considerando los recientes resultados obtenidos con su solución, buscan oportunidades para llevar el sistema a otras divisiones y faenas de Codelco.

En términos de asociatividad, en la primera etapa del desarrollo de la solución fue muy positivo trabajar con la Universidad de Antioquia de Medellín. Con ellos validaron la factibilidad de hacer un análisis mineralógico de una pulpa con un difractómetro de rayos X y desarrollar el sistema de medición en terreno. También esta solución no habría sido posible sin contar con la participación de las distintas áreas de innovación y operación de la concentradora de la División Chuquicamata de Codelco y Codelco Tech. Hacer las pruebas en terreno permitió agregar valor a la etapa de flotación y concentración como no se había logrado hasta ese momento. Además, contar con el convencimiento de los actores involucrados en el proceso de flotación y concentración fue fundamental para poner en marcha el sistema. Esto demandó un tra-



Fotografía SAX / Depositphotos

Currently, and thanks to this development, Codelco Chuquicamata Division's Concentrator plant has a tool capable of providing information on the mineralogical composition of concentrated mineral almost instantly. This allows evaluating the validity of the control algorithm of reagents and, therefore, makes more efficient, in terms of the use of supplies, the flotation and concentration process.

SAX aspires to internationalize its technology, consequently they are exploring development and growth opportunities with an X-ray diffractometer supplier. At the same time and taking into consideration the recent results obtained with its solution, they seek opportunities to take the system to other Codelco's divisions and work sites.


In terms of associativity, in the first stage of solution development it was very positive to work with the University of Antioquia in Medellin. With them, they validated the feasibility of doing a mineralogical analysis of a pulp with an X-ray diffractometer and developing a measurement system on site. Also, this solution would not have been possible without the participation of the different innovation and operation areas of Codelco Chuquicamata Division and Codelco Tech's Concentrator. Doing on site testing allowed them to add value to the flotation and concentration stage in a way that they had not been able to do up to that point. Moreover, it was key to have the certainty of the involved actors on the flotation and concentration process for launching the system.



Fotografía SAX / Depositphotos

bajo de comunicación sobre el valor que entregaba la solución, esfuerzos que fueron realizados intensivamente por el área de Innovación Tecnológica de Codelco Norte.

El desafío principal que tuvo que enfrentar SAX fue desarrollar un prototipo que esperó 10 años hasta su puesta en marcha. El contar con una persona que patrocine y posicione el proyecto resultó ser un elemento clave. Ciertamente el cambio de personas en los cargos es algo que ocurre con frecuencia en la industria minera, sin embargo, es fundamental contar con un área, no solamente una persona involucrada en un proyecto de desarrollo. Esto puede hacer que una buena solución prospere, además de facilitar que el costo de mantener el conocimiento y equipamiento vigentes se haga sustentable para un proveedor.



El desafío principal que tuvo que enfrentar SAX fue desarrollar un prototipo que esperó 10 años hasta su puesta en marcha.

This demanded a communication work on the value that the solution gave, intensive efforts that were done by the Technological Innovation area of North Codelco.

SAX's biggest challenge was to develop a prototype that had to wait 10 years until it was launched. Having a person sponsoring and positioning the project turned out to be a key element. Certainly, the change of people in certain positions is something which usually happens in the mining industry, yet it is very important to have an area, not just a person, involved in the development of a project. This can make a good solution thrive, besides facilitating the cost of maintaining valid knowledge and equipment to make it sustainable for a supplier.

CREACIÓN DE VALOR

Una vez que el Sistema de Análisis de Mineralogía de SAX estaba en marcha, una parte importante del trabajo realizado por Codelco Tech fue realizar un análisis de optimización del proceso de adición de reactivos y cal en la planta concentradora de Chuquicamata. Este análisis se basó en cambiar la estrategia de controlar la razón entre hierro y cobre por controlar en base a la razón Berkowitz, que considera concentración de pirita sobre el total de sulfuros de cobre, de acuerdo a las condiciones de la planta y los datos obtenidos por el instrumento en línea, observando una variación mineralógica muy amplia en cuestión de horas.

Posteriormente, se generó un algoritmo de control y optimización de adición de reactivos y cal en el proceso de flotación con alcance del 60% de la producción total de la planta. De acuerdo a las estimaciones de SAX, si se considera que la producción de cobre fino de Chuquicamata es aproximadamente de 330.000 toneladas al año, solamente por concepto de ahorro de reactivos y cal, el impacto es del orden de US\$2.1 millones anuales. Junto con esto, el sistema puede facilitar el aumento de la producción que, se

estima, podría subir en 1%, lo que equivale a US\$3.000.000 más de ingresos al año.

La propuesta de valor del Sistema de Análisis Mineralógico de SAX es analizar de manera más precisa, en pocos minutos y en la misma línea de producción, las especies mineralógicas que hay en el material de la producción de cualquier proceso productivo de las mineras, incluso más allá de la minería del cobre. Este análisis mineralógico también puede ser usado en la industria cementera, lo que generaría beneficios equivalentes a los del proceso de concentración de cobre en relación a la cantidad y efectividad de los aditivos que se utilizan para lograr el producto final.

Una característica importante de mejora del proceso de flotación y concentración es que, al tener mayor precisión de qué elementos minerales son los que están en la pulpa, se puede optimizar su proceso de extracción utilizando eficientemente los aditivos e insumos adecuados. Además, genera un impacto directo en el proceso de fundición y refinación. En la medida que se tiene información más exacta de la composición mineralógica, se pueden realizar acciones que permitan operaciones más eficientes.



Fotografía Codelco Chile

VALUE CREATION

Once SAX's Mineralogy Analysis System was launched, an important part of the work done by Codelco Tech was to do an optimization analysis of the reagents and lime addition process in Chuquicamata's Concentrator plant. This analysis was based on changing the strategy of controlling the proportion between iron and copper to controlling it based on the Berkowitz rate, which considers the pyrite concentration over the total of copper sulfides, in accordance with the plant's conditions and the data obtained by the on-line instrument, observing a great mineralogical variation in a matter of hours.

Afterwards, a control and optimization reagents and lime addition algorithm were generated in the flotation process with a coverage of 60% of the plant's total production. According to SAX's estimations, if fine copper production in Chuquicamata is considered to be approximately 330,000 tonnes per year, only for savings in reagents and lime, an impact of around US\$2.1 million annually can be achieved. Alongside this, the system can facilitate a production rise that is estimated to go up 1%, which amounts to US\$3,000,000 more income per year.

The value proposition of SAX's Mineralogical Analysis System is to analyze more precisely, in a few minutes and on the same production line, the mineralogical species that are present in the production material of any mining productive process, even beyond copper mining. This mineralogical analysis can also be used in the cement industry, which would generate benefits equal to the ones that the copper concentration process has regarding the quantity and effectiveness of the additives that are used to achieve the final product.

One important characteristic that was improved on the flotation and concentration process is that, by having more precision regarding what elemental minerals are in the pulp, its extraction process can be optimized, using efficiently the adequate additives and supplies. Moreover, it generates a direct impact on the smelting and refinery process. If one has a more exact information on the mineralogical composition, then actions can be carried out that allow more efficient operations.

APRENDIZAJES

Un factor relevante para SAX a la hora de ofrecer una solución completamente operativa es que se debe destinar tiempo y recursos de modo de asegurar integración, validación y pruebas de calidad. Mucho del trabajo inicial de su innovación fue realizado en terreno, lo que permitió validar y hacer pruebas con muestras reales. Sin embargo, no facilitó un proceso de preparación en un espacio controlado —como un laboratorio— para luego presentarlo en la faena, lo que llevó a un mayor número de iteraciones de desarrollo. Además, se habría reducido la percepción negativa respecto a que la solución no era completamente funcional para una operación minera de la escala de la División Chuquicamata.

Otro punto destacable es que, junto con identificar claramente un problema y conectarlo con las capacidades y experiencias de un proveedor, la innovación no necesariamente debe ser íntegramente construida por ellos. En el caso de SAX, utilizaron como base una tecnología de difracción de

rayos X desarrollada en Alemania, y sobre ella construyeron una solución en un nuevo mercado. Las capacidades para este tipo de desarrollo están en Chile y lo que se requiere es vincular bien los problemas de la industria minera con nuevas soluciones.

Por el tiempo transcurrido desde el desarrollo del primer prototipo hasta su puesta en marcha —más de 14 años—, se hace relevante definir quiénes actuarán como cliente y fijar plazos, hitos y responsabilidades de ambas partes. Además de formar un equipo de trabajo tanto en el proveedor como en la compañía minera, que conozca y muestre los resultados y avances del desarrollo que se está llevando a cabo.

En este sentido, fue afortunado que el problema entre la concentradora y la fundición reflotara la necesidad de un análisis mineralógico en pocos minutos y que SAX hubiese continuado ligado a la División. También fue clave que múltiples actores se hayan involu-



Fotografía Codelco Chile

LEARNINGS

A relevant factor for SAX when they have to offer a completely operative solution is that they must assign time and resources to ensure integration, validation and quality tests. Much of the initial work of its innovation was done on site, this allowed to validate and run tests on real samples; however, it did not facilitate a process of preparation in a controlled area -like a laboratory- to submit it afterwards in the work site, which led to a bigger number of development iterations. Additionally, the negative perspective would have been reduced regarding the solution which was not entirely functional for a mining operation of Chuquicamata Division's proportions.

Another remarkable point is that, alongside clearly identifying a problem and connecting it to a supplier's capacities and experiences, innovation does not necessarily have to be entirely constructed by them. In SAX's case, they used as a base an X-ray diffractometer technology developed in Germany, and on

top of it they constructed a solution in a new market. The skills for this type of development are in Chile and what is lacking is to link the mining industry problems properly to new solutions.

Because of the time elapsed since the first prototype until they launched it -more than 14 years- it is relevant to define who would act as client and set the deadlines, milestones and responsibilities that both parts will have. Besides forming a working team in the supplier as well as in the mining company, which knows and shows the results and advances of the development that is being carried out.


In this respect, it was lucky that the problem between the Concentrator and the smelting facility arose the need of a mineralogical analysis that could be done in a few minutes and that SAX continued to be linked to the Division. It was also key that numerous parties were involved in this innovation



Fotografía
Codelco Chile

crado en este proyecto de innovación. Contaron con el apoyo del área de Innovación Tecnológica de Codelco Norte y de Codelco Tech, junto con el patrocinio de la concentradora. Esta iniciativa no habría prosperado si cada uno hubiese actuado solo a partir de sus áreas de interés.

Es importante destacar que SAX, desde un modelo de representación de equipos e instrumentos de medición, es capaz de identificar necesidades que pueden ir más allá de su ámbito de acción y así explorar oportunidades de soluciones para sus clientes. Esta es una invitación a que proveedores



Fue crucial conformar un equipo interno que combinara la fuerte dedicación con las capacidades y experiencias para materializar una solución robusta.

tradicionales observen oportunidades de crecimiento y agregación de valor más allá de los caminos convencionales que ofrecen y puedan, con su experiencia y conocimiento, articular el desarrollo de innovaciones.

Finalmente, para SAX fue crucial conformar un equipo interno que combinara la fuerte dedicación con las capacidades y experiencias desde distintas disciplinas para materializar una solución robusta. Hoy esta compañía puede replicar su solución y mantener una visión de mejora continua en el tiempo.

project. They had the support of the Technological Innovation area of North Codelco and Codelco Tech, alongside the sponsorship of the Concentrator. This initiative would not have worked if each of them would have acted only looking after their own areas of interest.

It is important to note that SAX, from a team representation and measurement instrument model, is capable of identifying needs that go beyond their scope of action and thus they can explore solution opportunities for their clients. This is an invitation for traditional suppliers to pay attention to growth possibilities and value additions beyond the conventional roads they offer, and they can, with their experience and knowledge, articulate the development of innovations.

Lastly, for SAX it was fundamental to form an inner team which combined the strong dedication with the abilities and experiences from different fields to create a strong solution. Today this company has the ability of reproducing their solution and keeping an improvement vision that can continue through time.