

## Propuesta de Proyecto Laboratorio de innovación en la minería en los países andinos

### PREDICCIÓN DE CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA EN MOLIENDA SAG

Equipo UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA – PERU

Integrantes: Arlett Villanueva Urtiaga, César Ramírez Tello & Bill Maquin Valladares

#### 1. Contexto de la minería en su país (Minerales explotados, peso en la economía nacional, tamaño de la industria, empleo, inversiones previstas, etc.)

El Perú es un país de antigua tradición minera, tradición que mantiene y cultiva gracias a la presencia de empresas líderes a nivel internacional. Contamos con un enorme potencial geológico, la presencia de la Cordillera de los Andes a lo largo del territorio, constituye nuestra principal fuente de recursos minerales.

Perú es el segundo productor de plata, cobre y zinc a nivel mundial. Asimismo, es el primer productor de oro, zinc, estaño, plomo y molibdeno en América Latina. El Perú es una de las economías con mayor crecimiento en América Latina, lo cual es complementado con solidez macroeconómica: bajas tasas de inflación, superávit fiscal y comercial, y fuertes reservas internacionales netas.

El ministerio de Energía y Minas, dio a conocer que para el 2022 se ha previsto el inicio de construcción de siete proyectos mineros que demandarán una inversión total de **US\$ 4417 millones** (8.3% de la inversión global de la Cartera). Las empresas a cargo de estos proyectos son Minera Las Bambas SA, Bear Creek Mining SAC, Compañía Minera Ares SAC, Compañía de Minas Buenaventura SAA, Minera Yanacocha SRL, Nexa Resources Perú SAA, Procesadora industrial Río Seco SA. Estos proyectos a ejecutarse se ubican en los departamentos de Apurímac (2), Moquegua, Puno, Lima, Cajamarca y Áncash.

#### 2. Descripción del problema que resuelve su proyecto

Los molinos semiautógenos (SAG), en general, son casos particularmente interesantes de aplicación, considerando su naturaleza y alta complejidad operacional. La granulometría del mineral alimentado a un molino SAG y las propiedades intrínsecas de las especies minerales, influyen en el consumo energético.

El no conocer estas variables antes de que el mineral sea alimentado, no permite modificar controles operativos como velocidad de molino y carga molidora entre otros, para consumir sólo la energía necesaria. El tiempo que transcurre entre la identificación y cuantificación de esas variables, además de la manipulación de los controles se vuelve crucial, porque en ese lapso se produce el consumo innecesario de energía, que, a la larga, incide en un alto consumo unitario de energía.

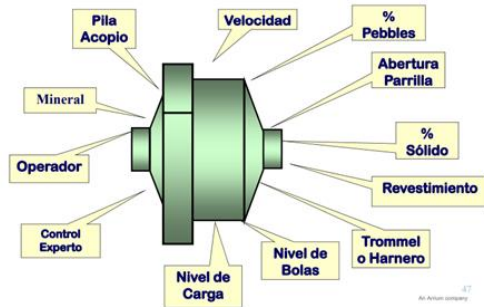


Figura N°1. Perturbaciones asociados a un molino SAG

#### 3. Descripción de su proyecto y cómo resuelve el problema planteado

La solución propuesta para la reducción del consumo de energía, se desarrolla mediante la metodología de Machine Learning. Las características mineralógicas, físicas y químicas, conformarían datos tomados automáticamente mediante equipos idóneos, y estos datos, a su vez, son cargados al algoritmo que se ha desarrollado.

Cabe recalcar que Machine Learning es una aplicación de la inteligencia artificial que consiste en dar a las máquinas acceso a datos, y dejarles aprender por sí mismos, mediante algoritmos que hacen a las máquinas más inteligentes.

Las etapas del desarrollo del proyecto fueron:

1. Predicción del consumo específico de energía bajo la metodología Machine Learning. (Utilizando un algoritmo ensamblado con tiempo de reentrenamiento de medio turno).

- II. Predicción del modelo de potencia mediante calibración del modelo empírico de Hogg & Fuerstenau
- III. Desarrollo de interfaz & software que se conecte a la base de datos de la empresa minera GoldFields para validar los modelos implementando de esta manera la idea innovadora.

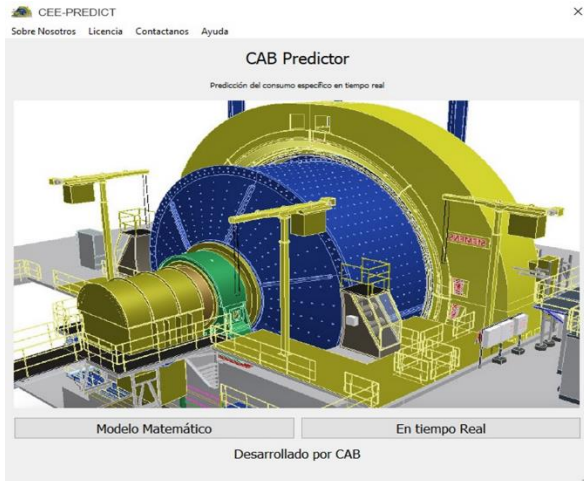


Figura N°2. Interfaz del software

#### 4. Resultados resumidos y potencial de escalamiento de la solución planteada

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- I. El algoritmo presenta un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0.75 para los años 2018 y 2019. Manejar una menor ventana de tiempo de predicción aumenta el rendimiento de los algoritmos por lo que se ha planteado reentrenamientos de medio turno (cada 6 horas)

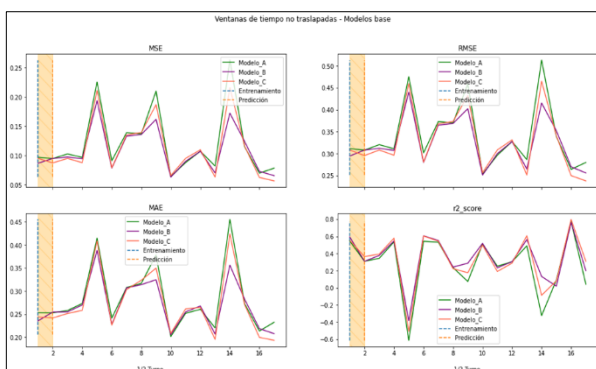
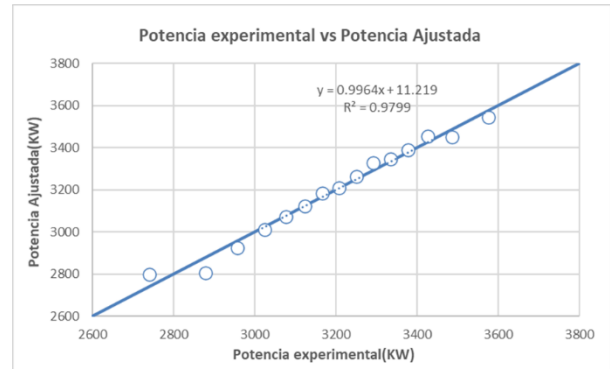


Figura N°3. Métricas del rendimiento del modelo.

- II. Se calibró el modelo de Potencia de Hogg & Fuerstenau (centrándose en el ángulo de elevación del riñón) obteniendo un error del 1.07% y un  $R^2$  de 0.97.

Se debe tener en cuenta que este modelo se debe calibrar en línea conforme se vaya obteniendo más datos, ya que las constantes  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  y  $\alpha_2$  pueden variar.



- El potencial de escalamiento de la solución planteada es bastante alentador debido a las grandes operaciones de gran minería en el Perú que cuentan con molinos SAG en sus operaciones y la importancia que este conlleva.

#### 5. Aprendizajes del concurso

Esta etapa ha sido una experiencia muy enriquecedora para todo el equipo, debido a los grandes aprendizajes y competencias que hemos adquirido durante el proceso. Entre ellos tenemos:

- Amplitud de conocimientos técnicos en el área de procesamiento de minerales bajo la asesoría del Dr. Jaime Sepúlveda & en conocimientos de Machine y Deep Learning bajo la asesoría de AMTC Chile.
- Fortalecimiento de nuestra red de contactos, al compartir conocimientos e intercambiar ideas con personas de otros países.
- Aprendizaje de modelos de negocio, creación de Startup e Innovación.

#### 6. Cómo continuará el proyecto luego del concurso de innovación

Como continuación al proyecto, se ha tenido la iniciativa de crear un Startup que lleva por nombre **CODEA S.A.C.**

El gerente general del Startup es Bill Maquin Valladares. CODEa UNI es una empresa peruana enfocada en el desarrollo profesional con visión en el cambio tecnológico y la innovación. Con bases académicas firmes y un entendimiento de que la forma correcta de integrarte competitivamente al mercado laboral es con una capacitación continua orientada a la integración de la tecnología.

Para mayor información, visitar la página web: <https://www.codeauni.com/>