



UNIVERSIDAD  
SAN SEBASTIAN  
VOCACIÓN POR LA EXCELENCIA



## **Taller de Empresas I**

### **Desafío propuesto por RockBlast**

Integrantes: Alfonso Palacios  
Natalia Hernández  
Josefina Casas

Profesor: Thierry De Saint Pierre Sarrut

Fecha de Entrega: 28 de junio del 2024



## Índice

Empresa RockBlast.....	3
Equipo N° 3.....	4
Nombre del Desafío.....	5
Desafío Propuesto.....	5
Objetivo general .....	6
Objetivo específico .....	6
Razón de realización de este desafío .....	6
Estado del Arte.....	7
Investigación respecto al desafío .....	7
Marco teórico .....	9
Parámetros e información específica de este desafío.....	11
Mapa de entono de mina .....	13
Faenas y sus operaciones actuales .....	15
Zonas que entregan información de tronadura .....	17
Levantamiento de requerimientos de organización y del desafío utilizado.....	18
Definición y caracterización de habilitador tecnológico .....	20
Requerimientos .....	24
Especificaciones Funcionales .....	24
Requerimientos Funcionales.....	26
Requerimientos no Funcionales.....	28
Caso de Uso .....	31
Diagramas .....	31
Solución .....	33
Formulación Funcional.....	33
UML.....	35
Arquitectura .....	36
Prototipo (PMV).....	37
Alcance .....	40
Principales resultados.....	40
Planificación .....	41



Sprints .....	41
Próximas Etapas.....	47
Aprendizaje.....	48
Conclusiones .....	49
Conclusión general .....	49
Conclusiones personales .....	49
Bibliografía .....	51
Apps o páginas web que se utilizaron .....	51
Recopilación de información .....	51

## Empresa RockBlast

RockBlast es una empresa chilena que se ha posicionado en el mercado como un referente destacado en los servicios de perforación y tronadura, geomecánica y desarrollo tecnológico en la industria minera. La empresa fue creada en marzo de 2010 por profesionales de la industria minera y ha logrado desarrollar nuevas metodologías y herramientas de trabajo para cumplir con los más altos estándares de seguridad, calidad, eficiencia y compromiso con el medio ambiente.

La innovación y la tecnología son parte fundamental de RockBlast. Su equipo humano altamente especializado trabaja constantemente en desafíos planteados para ofrecer soluciones flexibles y eficientes a sus clientes. Además, RockBlast cuenta con un sistema de monitoreo inalámbrico y autónomo que les permite tomar todas las mediciones necesarias sin la presencia de personal en terreno, lo que disminuye interferencias y riesgos.

La empresa ha brindado servicios a importantes compañías mineras como BHP Billiton, Antofagasta Minerals, Codelco, Angloamerican y TEK.

## Equipo N° 3

Integrantes:

Estudiantes de Ingeniería Civil Informática de la Universidad San Sebastián.



En el transcurso del proyecto, tuvimos roles rotativos, ya que todos estábamos aprendiendo cosas nuevas y enseñándonos entre nosotros.

A pesar de eso, igualmente hubo tareas en las cuales cada uno se desarrolló más.

Natalia, se centró más en el modelo y las presentaciones.

Alfonso, se centró más en el modelo y los diagramas.

Josefina, se centró más en los informes y la presentación.

## Nombre del Desafío

Plataforma de modelado matemático / machine learning de vibraciones en la mina.

## Desafío Propuesto

RockBlast es una empresa chilena/chileno especializada en servicios de Investigación, desarrollo e innovación en las áreas de Perforación & Tronadura, Geomecánica y Desarrollo Tecnológico para la industria minera, de energía y construcción ([www.rockblast.cl](http://www.rockblast.cl)).

El desafío es diseñar e implementar un prototipo mínimo viable de una herramienta de captura de datos, visualización, análisis de modelado matemático de vibraciones.

Los Objetivos específicos son los siguientes: Diseño y desarrollo de agente de monitoreo en tiempo real para la captura y normalización de datos de sensores de vibraciones geófonos y acelerómetros; Modelado matemático y/o machine learning de vibraciones (campo cercano - campo lejano); Diseño y desarrollo de visor 3D para mostrar de modelo de vibraciones de tronadura.

Tecnologías a utilizar Industria 4.0: GIS: Postgis; Backend: Lenguaje C# + Python; Frontend: Angular; IOT: Framework de desarrollo microservicios ABP.IO; IA: Pytorch, Scikit-learn.

## Objetivo general

El objetivo general del proyecto es diseñar e implementar un prototipo mínimo viable de una herramienta de captura de datos, visualización y análisis de modelado matemático de vibraciones para su aplicación en las áreas de Perforación y Tronadura, Geomecánica y Desarrollo Tecnológico en la industria minera.

## Objetivo específico

Realizar modelado matemático y/o aplicar técnicas de machine learning para analizar las vibraciones, dando más importancia al campo lejano que al cercano.

## Razón de realización de este desafío

La realización principal de este proyecto es la seguridad socioambiental. La empresa, trabaja con las 'Normas Internacionales de la Percepción', las cuales son muy importante en la minería, es este caso las tronaduras, ya que las zonas urbanas cerca de las zonas en las que se realizan pueden ser afectadas. Por este motivo se puede así medir si estas vibraciones afectan o no a la población así como la infraestructura. Además de la infraestructura de la mina como tal.

## Estado del Arte

### Investigación respecto al desafío

La industria minera en Chile es un sector clave que abarca una amplia gama de actividades y tecnologías. Su contribución al desarrollo económico del país es significativa. Uno de los aspectos fundamentales en esta industria es la captura y monitoreo de datos en tiempo real. Para ello, se han implementado soluciones innovadoras como domos y sistemas de pronóstico de impacto operacional. Estas herramientas permiten controlar y regular la emisión de material particulado, garantizando así un ambiente más limpio y seguro tanto para el medio ambiente como para los trabajadores.

La tronadura es un proceso esencial en la minería, utilizado para fragmentar el macizo rocoso y facilitar la extracción y procesamiento del mineral. En Chile se llevan a cabo diversos tipos de tronaduras, tanto primarias como secundarias. Las tronaduras primarias se realizan directamente en el macizo rocoso, permitiendo separar y fragmentar el material para su posterior extracción. Por otro lado, las tronaduras secundarias se llevan a cabo sobre fragmentos de mayor tamaño, con el objetivo de reducirlos a un tamaño adecuado para su posterior carga y transporte.

El estudio del campo lejano y campo cercano es de vital importancia para comprender los efectos de las tronaduras en las instalaciones mineras y en las comunidades cercanas. Para ello, se emplean sistemas de monitoreo inalámbrico y autónomo que permiten medir y evaluar, en tiempo real, los impactos generados por las tronaduras. Esto garantiza un control más preciso sobre los efectos y permite tomar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna.

La visualización 3D y el modelamiento del terreno son herramientas fundamentales en la industria minera. Estas tecnologías permiten analizar y comprender la topografía y



geología de un área determinada, creando modelos precisos del terreno que se va a monitorear. Esto facilita la planificación de las operaciones mineras, optimizando los recursos y tomando decisiones fundamentadas basadas en una representación virtual del lugar.

En cuanto al análisis de datos, la industria minera utiliza modelos matemáticos y machine learning para aprovechar al máximo la gran cantidad de información recopilada durante las operaciones mineras. Estas técnicas permiten identificar patrones, tendencias y correlaciones en los datos, lo que contribuye a mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de las operaciones mineras.

La industria minera en Chile está en constante evolución y adopción de tecnologías de la industria 4.0. La automatización, la robótica, el internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial son solo algunas de las tecnologías que se están implementando para optimizar los procesos mineros, mejorar la productividad y reducir los riesgos para los trabajadores. Estas innovaciones permiten una mayor eficiencia y una gestión más precisa de los recursos, garantizando un crecimiento sostenible de la industria minera en Chile.

Por último, un modelo matemático de vibraciones consiste en una o varias ecuaciones diferenciales que relacionan las variables que describen el sistema en estudio, como la posición, la velocidad y la aceleración, con respecto al tiempo u otras variables relevantes, pueden variar en complejidad dependiendo de la naturaleza del sistema y los fenómenos que se están estudiando.

En resumen, la industria minera en Chile se beneficia de un amplio espectro de actividades y tecnologías que contribuyen a su desarrollo. Desde la captura y monitoreo de datos en tiempo real hasta el uso de tecnologías de la industria 4.0, la industria minera está en constante búsqueda de soluciones innovadoras para mejorar su eficiencia, seguridad y sostenibilidad.

## Marco teórico

### Perforación y Tronadura, Geomecánica y Desarrollo Tecnológico en la industria minera

Lo más crucial es comprender los procesos de perforación, tronadura y la geomecánica involucrados en la industria. Esto implica conocimientos sobre la interacción entre las estructuras rocosas y las vibraciones generadas por la actividad minera y de construcción.

La vibración de campo lejano se refiere a las ondas sísmicas que se propagan en grandes distancias desde el lugar donde se realiza la explosión. Estas ondas pueden tener efectos en estructuras y terrenos dependiendo de la magnitud de la vibración y las características geológicas del lugar, por esta razón es importante tomar medidas de seguridad y precaución al realizar tronaduras, para minimizar los riesgos de daño a las personas y al entorno. Además existen regulaciones y normativas que establecen límites a los niveles de vibración permitidos en diferentes tipos de construcciones, para garantizar su integridad estructural.

### Captura y normalización de datos de sensores de vibraciones

Comprender los principios detrás de la captura de datos de sensores de vibraciones, así como los desafíos asociados con la normalización y el procesamiento de estos datos en tiempo real. Esto implica conocimientos en tecnologías de sensores, protocolos de comunicación, y técnicas de normalización de datos.

### Modelado matemático y machine learning de vibraciones

Se necesita un conocimiento de los principios matemáticos detrás del modelado de vibraciones, así como de las técnicas de machine learning para analizar y predecir el comportamiento de estas. Esto implica conocimientos en análisis de señales, modelado matemático, así como en algoritmos de machine learning como los utilizados en Pytorch y Scikit-learn.

### Descripción de conceptos

1. **Perforación y tronadura:** Son procesos fundamentales en la industria minera y de construcción, donde se perforan agujeros en la roca y se utilizan explosivos para fragmentarla. Comprender estos procesos implica conocer las técnicas, equipos y materiales involucrados, así como su impacto en la estabilidad geomecánica del terreno.
2. **Geomecánica:** Es la disciplina que estudia la interacción entre las estructuras rocosas y las fuerzas aplicadas sobre ellas.
3. **Captura de datos de sensores de vibraciones:** Consiste en recopilar información sobre las vibraciones generadas por la actividad minera y de construcción utilizando sensores como geófonos y acelerómetros.
4. **Normalización de datos:** Es el proceso de estandarizar los datos recopilados para que puedan ser comparables y utilizados de manera efectiva en análisis posteriores.
5. **Modelado matemático de vibraciones:** Consiste en desarrollar modelos matemáticos que describen el comportamiento de las vibraciones en función de variables como la distancia, la intensidad y la frecuencia.
6. **Machine learning de vibraciones:** Es la aplicación de técnicas de aprendizaje automático para analizar y predecir el comportamiento de las vibraciones.

## Parámetros e información específica de este desafío

*La empresa es la encargada de proporcionarnos la información de las vibraciones para en base a eso crear el modelo matemático que ellos necesitan para poder identificar de manera computarizada los tipos de vibraciones que se puedan generar dentro de la empresa minera.*

Parámetros para el desafío de diseñar e implementar un prototipo mínimo viable de una herramienta de captura de datos, visualización, análisis de modelado matemáticos de vibraciones para RockBlast:

- **Modelado matemático y machine learning:** se deberían utilizar técnicas de modelado matemático y/o de machine learning para analizar los datos de vibración capturados. La selección de algoritmos dependerá de la problemática específica que se desee abordar con la aplicación, pudiendo considerar opciones como Random Forest, Support Vector Machines (SVM) y Redes Neuronales. Se tomarán en cuenta parámetros de entrenamiento y validación del modelo, como la tasa de aprendizaje, número de árboles en Random Forest y kernel para SVM. Además, se implementarán técnicas de validación cruzada para garantizar la precisión del modelo.
- **Visor de vibraciones:** se deberá diseñar y desarrollar un visor 3D para mostrar el modelo de vibraciones producido por la tronadura. Se debe contar con una interfaz gráfica de usuario (GUI) intuitiva que permita al usuario navegar por los modelos y visualizar las vibraciones de manera clara y comprensible. Además, es posible que se deba integrar técnicas de visualización de datos para mostrar gráficos y otros aspectos de la información a los usuarios de forma clara y funcional, facilitando así la interpretación de los datos.
- **Tecnologías:** RockBlast especifica que se deben incluir tecnologías de la Industria 4.0, GIS como Postgis, desarrollo Backend en lenguajes C# y Python, y

desarrollo Frontend en Angular. Para la IoT, se utilizará el framework de desarrollo de microservicios ABP.IO. En el ámbito de la inteligencia artificial, se emplearán bibliotecas como Pytorch y Scikit-learn. También se implementará PostgreSQL y PostGIS para el manejo y análisis de datos geoespaciales. Se podría requerir de personal con experiencia o habilidades en estas tecnologías para realizar el desafío de manera efectiva.

- **Metodología:** La metodología de desarrollo será ágil, utilizando metodologías como Scrum o Kanban para asegurar la entrega continua y la adaptabilidad del proyecto a los cambios. La planificación de sprints permitirá establecer objetivos claros y medibles para cada fase del proyecto, asegurando un progreso constante y ordenado.
- **Análisis de datos:** Incluirá técnicas de preprocesamiento como normalización, eliminación de ruido y manejo de datos faltantes para preparar los datos de vibración para el análisis. Se implementarán técnicas de validación cruzada y se utilizarán métricas de evaluación para asegurar la robustez y precisión del modelo.



## Mapa de entono de mina

- Ubicación de la comuna de Tierra Amarilla y localidades cercanas.

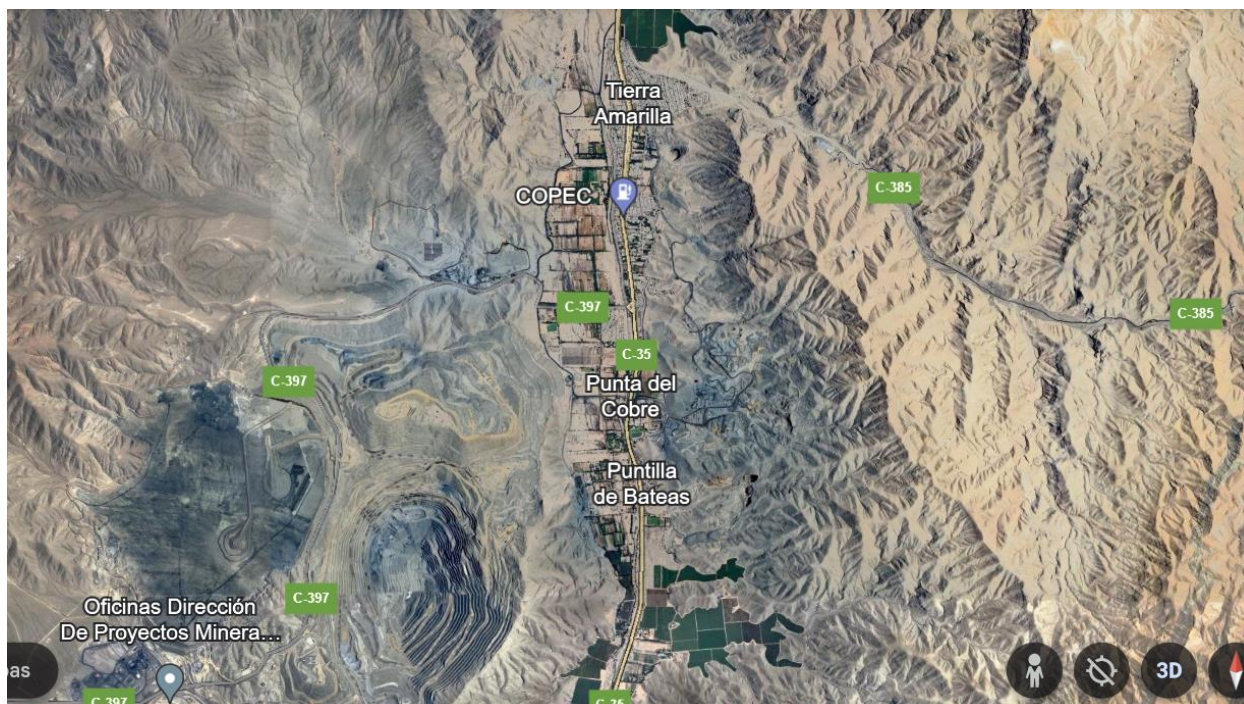


Imagen extraída de Google Earth.

- Zona general en el cual se encuentra cada minera

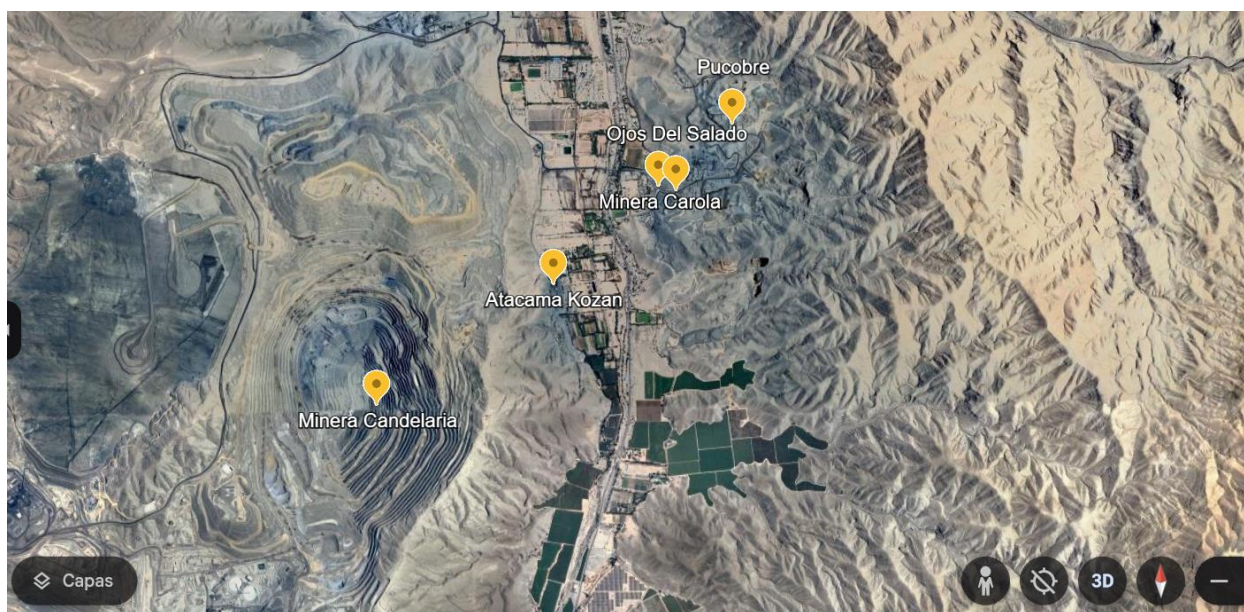


Imagen extraída de Google Earth.



- Zona aproximada en la que se encuentran sensores

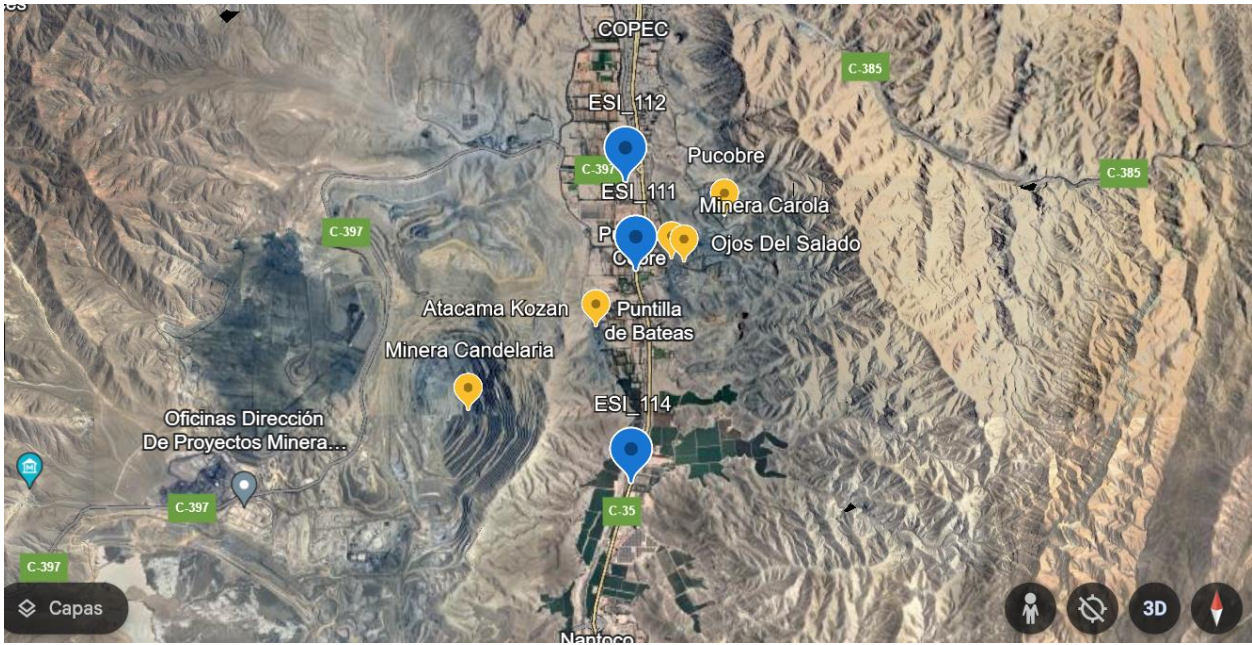


Imagen extraída de Google Earth.



## Faenas y sus operaciones actuales

- Candelaria: operación Rajo Candelaria



Imagen extraída de Google Earth.

- Ojos del Salado: operaciones Subterráneas Candelaria, Santos y Alcaparroza.
- Carola: operación única subterránea.



Imagen extraída de Google Earth.



- Pucobre: operaciones Subterráneas Abundancia Sur, Granate, Mantos del Cobre y Punta del Cobre.



Imagen extraída de Google Earth.

- Atacama Kozan: operación única subterránea.



Imagen extraída de Google Earth.



## Zonas que entregan información de tronadura

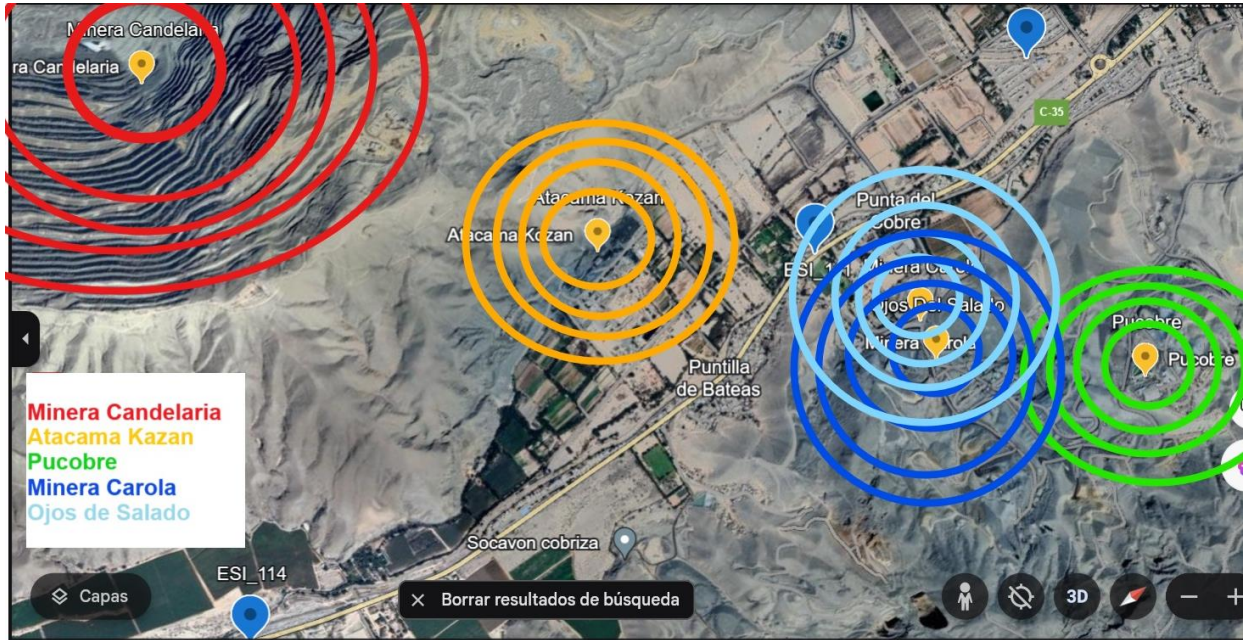


Imagen extraída de Google Earth y editada con Paint.

## Levantamiento de requerimientos de organización y del desafío utilizado

La metodología ad-hoc en la empresa RockBlast se basa en la flexibilidad y la adaptabilidad a las necesidades y circunstancias específicas de cada proyecto. En lugar de seguir un proceso predefinido y estructurado, se prioriza la capacidad de respuesta y la capacidad de ajustar rápidamente las estrategias y acciones en función de los cambios y desafíos que puedan surgir. Esta metodología se caracteriza por su enfoque práctico y orientado a resultados, permitiendo a la empresa tomar decisiones ágiles y eficaces en tiempo real. Además, fomenta la colaboración y la comunicación constante entre los miembros del equipo, promoviendo la creatividad y la innovación en la resolución de problemas.

El levantamiento de requerimientos de organización y del desafío en la empresa RockBlast se llevará a cabo utilizando una metodología ad-hoc que se adapte a las necesidades específicas de la empresa y del proyecto en cuestión.

A continuación, se detallan los pasos a seguir en este proceso:

1. **Identificación de las partes interesadas:** Se realizará un análisis detallado de las personas y áreas involucradas en el proyecto, identificando sus roles, responsabilidades y necesidades.
2. **Definición de objetivos y alcance:** Se establecerán los objetivos y alcance del proyecto, determinando qué se espera lograr y en qué plazo.
3. **Recopilación de información:** Se recopiló toda la información relevante relacionada con la organización y el desafío en cuestión, incluyendo documentos, datos, entrevistas y reuniones con las partes interesadas.

4. **Análisis de la información:** Se analizará la información recopilada para identificar las necesidades, problemas y oportunidades existentes en la organización y el desafío en cuestión.
5. **Diseño de soluciones:** Se propondrán diferentes soluciones para abordar los requerimientos identificados, teniendo en cuenta las necesidades y expectativas de las partes interesadas.
6. **Validación de soluciones:** Se presentarán las soluciones propuestas a las partes interesadas para su revisión y validación, asegurando que se ajusten a sus necesidades y expectativas.
7. **Implementación de soluciones:** Una vez validadas las soluciones, se procederá a su implementación, asegurando que se cumplan los objetivos y alcance establecidos.
8. **Seguimiento y evaluación:** Se realizará un seguimiento continuo de las soluciones implementadas para evaluar su efectividad y realizar ajustes si es necesario.

En resumen, la metodología ad-hoc en la empresa RockBlast se centra en la adaptabilidad, la agilidad y la eficacia para garantizar el éxito en la ejecución de sus proyectos.

## Definición y caracterización de habilitador tecnológico

Habilitador tecnológico es cualquier herramienta, recurso o tecnología que permite avances significativos en un área específica al facilitar la implementación o mejora de procesos, productos o servicios.

Gracias a la reunión que tuvimos con RockBlast pudimos informarnos sobre las tecnologías que ellos utilizan, tales como:

### Sensores y dispositivos de adquisición de datos

La utilización de sensores de alto rendimiento y dispositivos de adquisición de datos precisos y confiables para capturar mediciones precisas de vibraciones en el campo cercano y lejano.

#### **1. Acelerómetros**

Pueden ser empleados para capturar vibraciones en diversas estructuras o terrenos. Estos sensores son comúnmente utilizados para medir las aceleraciones en más de una dirección.

#### **2. Geófonos**

Estos dispositivos fueron diseñados específicamente para la detección de vibraciones en el suelo. Son muy útiles para medir las vibraciones de la perforación y las tronaduras en las mineras.

#### **3. Sismógrafos**

Tradicionalmente se utiliza para medir terremotos, pero también pueden ser utilizadas para registrar vibraciones generadas por actividades humanas.

#### **4. Micrófonos de campo cercano**

Son utilizados para medir las vibraciones del aire, son útiles para analizar el ruido generado por las tronaduras.

Los sismógrafos y micrófonos de campo cercano los agregamos para poder tener más información y podrían ser tecnologías que futuramente nos podrían ayudar para los diferentes tipos de análisis que podríamos llegar a realizar.

### BBDD

#### **1. PostgreSQL**

Es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto y potente. Es conocido por su fiabilidad, integridad y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos.

#### **2. PostGIS**

Es una extensión espacial para PostgreSQL que agrega soporte para objetos geoespaciales. Es útil para almacenar y consultar datos espaciales como puntos, líneas y polígonos, y permite realizar consultas espaciales complejas.

### Frameworks

#### **1. ABP.IO**

Es un marco de trabajo de código abierto para el desarrollo rápido de aplicaciones empresariales basadas en microservicios. Proporciona una arquitectura modular, herramientas de desarrollo y plantillas predefinidas para acelerar el desarrollo de aplicaciones.

### Inteligencia Artificial

#### **1. PyTorch**

Es una biblioteca de aprendizaje automático de código abierto desarrollada por Facebook. Se utiliza para desarrollar modelos de aprendizaje profundo en áreas como visión por computadora, procesamiento de lenguaje natural y más.

## 2. Scikit-learn

Es una biblioteca de aprendizaje automático de código abierto para Python. Proporciona una amplia gama de algoritmos de aprendizaje supervisado y no supervisado, así como herramientas para preprocesamiento de datos y evaluación de modelos.

### Backend

En el contexto de desarrollo de software y aplicaciones web, el "backend" se refiere a la parte de un sistema informático que se encarga de procesar los datos y realizar las operaciones lógicas y funcionales.

Dentro del contexto de la empresa los lenguajes que se utilizan para programar todo lo que utilizan son:

### 1. C#

Es un lenguaje multiparadigma que combina características de lenguajes orientados a objetos, imperativos y funcionales. C# está diseñado para ser simple, moderno, seguro y orientado a objetos.

### 2. Python

Es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y multiparadigma.

Ventajas de la utilización de estos lenguajes:

#### 1. Facilidad de aprendizaje

Son conocidos por tener una curva de aprendizaje relativamente suave, lo que los hace accesibles para principiantes y programadores con experiencia.

#### 2. Versatilidad

Son lenguajes versátiles que se pueden utilizar para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo desarrollo de software, desarrollo web, análisis de datos, inteligencia artificial, aprendizaje automático y más.

### **3. Disponibilidad de herramientas y frameworks**

cuentan con una amplia variedad de bibliotecas, frameworks y herramientas que facilitan el desarrollo de aplicaciones en diferentes áreas. Por ejemplo, para desarrollo web, C# cuenta con ASP.NET y Python cuenta con Django y Flask.

### **4. Gran rendimiento**

Son capaces de ofrecer un rendimiento excelente en aplicaciones de producción cuando se utilizan de manera adecuada y se optimizan correctamente.

### **5. Integración con tecnologías modernas**

Tienen integración con tecnologías modernas como la computación en la nube, bases de datos relacionales y no relacionales, servicios web y más.



## Requerimientos

### Especificaciones Funcionales

#### Requerimientos generales

1. Definición del objetivo:
  - Analizar las vibraciones enfocándose en el campo lejano utilizando modelado matemático y técnicas de machine learning.
2. Alcance del proyecto:
  - Desarrollar modelos predictivos que puedan analizar patrones de vibraciones.
  - Analizar datos de vibración en tiempo real o en intervalos específicos.
3. Equipo de trabajo:
  - Estudiantes de Ingeniería Civil Informática de la Universidad San Sebastián.

#### Requerimientos técnicos

1. Recopilación de Datos:
  - Los datos nos los entrega la empresa de RockBlast.
2. Seguridad de Datos:
  - Antes de la entrega de datos se tomaron medidas para proteger los datos de la empresa.
3. Modelado Matemático:
  - Desarrollar modelos matemáticos que describan el comportamiento de las vibraciones en el campo lejano, considerando factores como la atenuación y la dispersión de las ondas.
4. Aplicación de Machine Learning:

- Identificar y seleccionar algoritmos de machine learning adecuados para el análisis de datos de vibración.
- Entrenar los modelos de machine learning con conjuntos de datos etiquetados y validar su desempeño.

### Consideraciones Adicionales

#### 1. Pruebas y validación:

- Realizar pruebas exhaustivas del sistema en condiciones controladas y reales para garantizar su fiabilidad y precisión.

#### 2. Documentación:

- Proveer documentación detallada del sistema, incluyendo manuales de usuario, guías de instalación y mantenimiento.

#### 3. Capacitación:

- Ofrecer capacitación al personal encargado de operar y mantener el sistema.

## Requerimientos Funcionales

### 1. Captura de datos en tiempo real

- El sistema debe ser capaz de captar y registrar datos de vibraciones de los sensores en tiempo real, permitiendo un monitoreo continuo y actualizado de las condiciones del sitio.

### 2. Modelado matemático y machine learning

- El sistema debe implementar algoritmos avanzados de modelado matemático y técnicas de machine learning para analizar los datos de vibración, identificando patrones y prediciendo posibles eventos.

### 3. Visualización en 3D

- Se debe desarrollar una herramienta de visualización en 3D que permita a los usuarios ver y analizar las vibraciones de manera interactiva y comprensible.

### 4. Integración de datos

- El sistema debe ser capaz de integrar datos de diferentes fuentes y sensores, proporcionando una vista consolidada y coherente de toda la información de vibración.

### 5. Generación de Informes

- El sistema debe generar informes detallados y personalizables sobre los datos de vibración y los resultados del análisis, facilitando la toma de decisiones informadas.

#### 6. Visualización el tiempo real

- Los usuarios deben poder visualizar en tiempo real los datos de vibración capturados, permitiendo una rápida identificación y respuesta a eventos significativos.

#### 7. Alertas y notificaciones

- El sistema debe enviar alertas y notificaciones automáticas cuando se detecten vibraciones que superen ciertos umbrales, permitiendo una respuesta rápida a posibles problemas.

#### 8. Integración con sistemas de gestión de activos

- El sistema debe integrarse con los sistemas de gestión de activos existentes en RockBlast, proporcionando datos valiosos para el mantenimiento y la gestión de los activos.

#### 9. Capacidad de simulación

- El sistema debe permitir la simulación de diferentes escenarios de vibración, ayudando a predecir y evaluar el impacto de diferentes operaciones.

## Requerimientos no Funcionales

### 1. Seguridad:

- Todos los datos de vibración deben ser almacenados y transmitidos de forma segura mediante cifrado. Esto asegura que los datos estén protegidos contra accesos no autorizados durante su transmisión y almacenamiento.
- El sistema debe mantener un registro de todas las actividades y accesos para auditorías de seguridad. Esto permitirá rastrear cualquier actividad sospechosa y asegurar la integridad del sistema.

### 2. Escalabilidad:

- El sistema debe ser escalable para manejar un aumento en el número de sensores y la cantidad de datos sin necesidad de una reestructuración significativa. Esto incluye la capacidad de añadir nuevos sensores y expandir la cobertura geográfica sin impactar negativamente el rendimiento del sistema.
- El sistema debe poder adaptarse fácilmente a nuevas áreas de estudio o sitios de operación. Esto significa que debe ser flexible y modular, permitiendo configuraciones personalizadas según las necesidades de diferentes proyectos.

### 3. Rendimiento:

- El sistema debe procesar y analizar los datos de vibración en tiempo real o en intervalos específicos con un tiempo de respuesta inferior a 5 segundos. Esto asegura que las decisiones basadas en los datos sean rápidas y efectivas.
- El sistema debe ser capaz de manejar y procesar grandes volúmenes de datos provenientes de múltiples sensores simultáneamente sin degradación significativa del rendimiento. Esto es crucial para mantener la operatividad en entornos de alta demanda.

4. Usabilidad:

- Debe proporcionar visualizaciones claras y comprensibles de los datos de vibración y los resultados del análisis. Esto incluye gráficos intuitivos y herramientas de visualización en que faciliten la interpretación de los datos por parte de los usuarios.

5. Mantenimiento:

- Implementar mecanismos para el monitoreo continuo del estado del sistema y sus componentes, facilitando el mantenimiento predictivo y la identificación de posibles fallos antes de que ocurran. Esto incluye alertas automáticas para el equipo de soporte técnico en caso de detección de problemas.

6. Compatibilidad con sistemas existentes:

- El sistema debe ser compatible con la infraestructura de TI existente en RockBlast, incluyendo servidores, bases de datos, sistemas operativos y redes. Esto garantiza una integración sin problemas y minimiza la necesidad de inversiones adicionales en infraestructura.

7. Interfaz de usuario consistente

- El sistema debe ofrecer una interfaz de usuario consistente y amigable, que permita a los usuarios navegar y utilizar todas las funcionalidades del sistema de manera intuitiva y eficiente. Esto incluye un diseño coherente y accesible para todos los niveles de usuarios.

8. Pruebas de integración

- El sistema debe ser sometido a rigurosas pruebas de integración para asegurar que todos los componentes funcionen correctamente juntos y se comuniquen sin problemas. Esto es crucial para garantizar que el sistema opere de manera fluida en un entorno de producción.

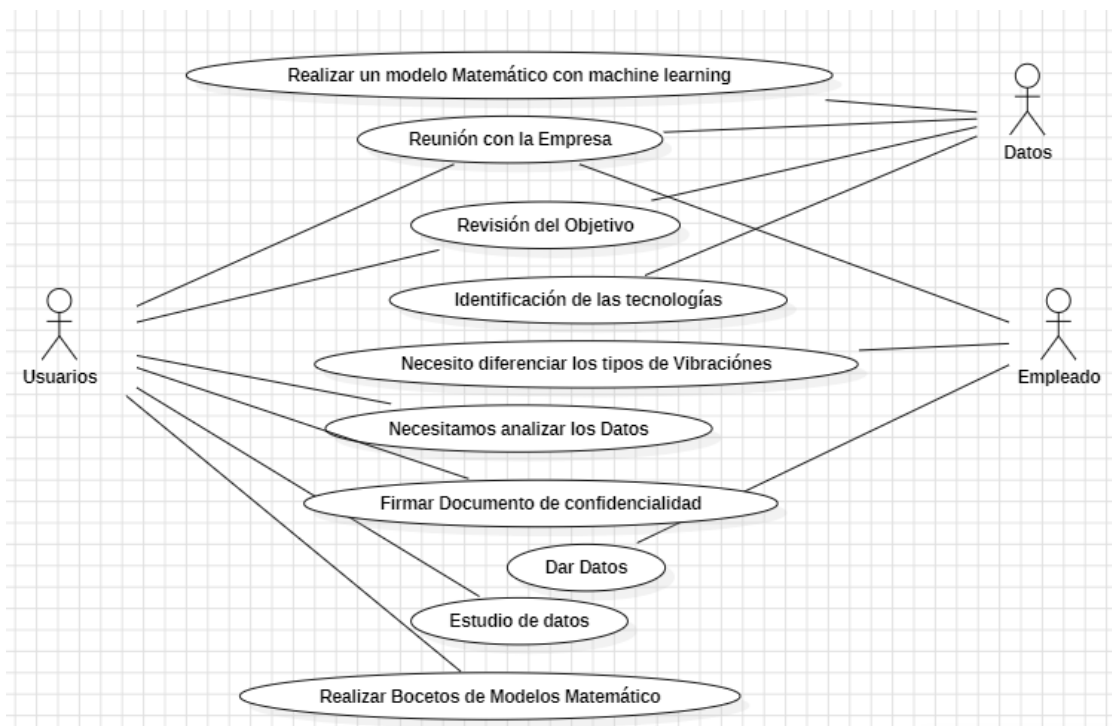
#### 9. Seguridad de la Integración

- La seguridad debe ser priorizada durante el proceso de integración, asegurando que todos los puntos de conexión y comunicación entre sistemas estén protegidos contra accesos no autorizados y posibles ataques cibernéticos.

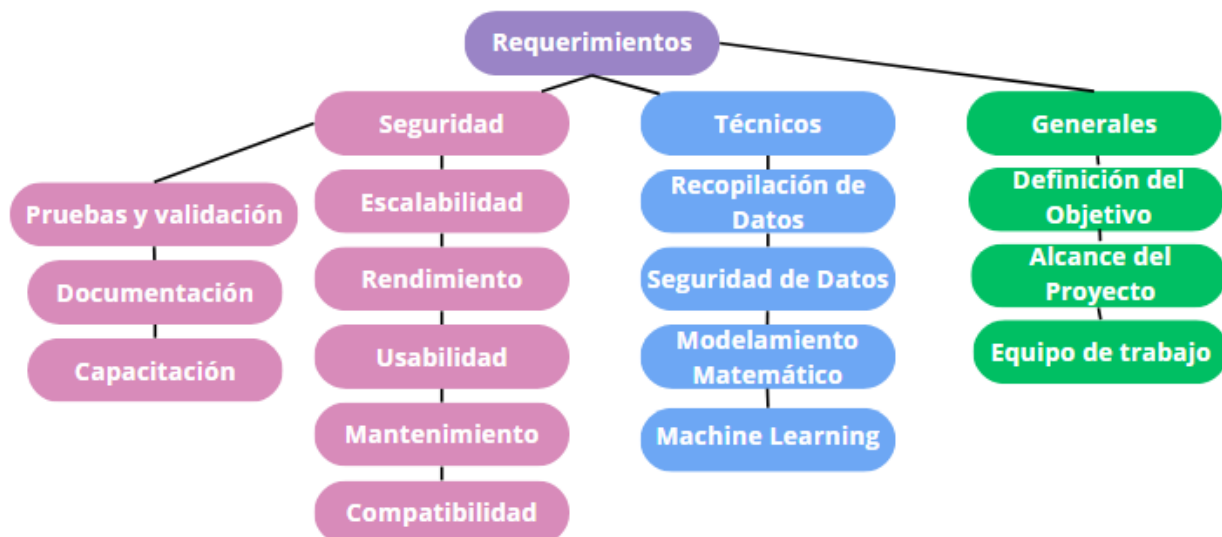
#### 10. Documentación y capacitación

- Debe proporcionarse una documentación detallada y completa del sistema, incluyendo manuales de usuario, guías de configuración y mantenimiento. Además, se deben ofrecer programas de capacitación para asegurar que el personal de RockBlast pueda utilizar y mantener el sistema de manera efectiva.

## Caso de Uso



## Diagramas





Requerimientos en uso hasta la fecha



Presented with xmind

## Solución

Implementar un modelo que clasifique diferentes eventos como tronaduras, sismos o no asociados, basándonos en características como intensidad, velocidad, etc., de las ondas de vibración. Además de también llenar las columnas de datos de Operaciones y Fuente, lo que significa que no solo se sabrá que tipo de vibración es, sino que también en donde se produjo.

## Formulación Funcional

Nuestro proyecto se destaca por su capacidad de innovar en la clasificación automatizada de vibraciones captadas por sensores en el entorno minero. Actualmente, la empresa RockBlast no dispone de un sistema integrado que clasifique y analice automáticamente estas vibraciones, lo que requiere la intervención de un especialista para determinar si una vibración corresponde a una tronadura, un sismo o es no asociada. Nuestro enfoque introduce varias mejoras y beneficios significativos:

### 1. Clasificación Automática de Vibraciones:

Implementaremos un modelo de machine learning capaz de clasificar automáticamente las vibraciones captadas por los sensores. Este modelo distinguirá entre tronaduras, sismos y vibraciones no asociadas, basándose en características como intensidad, velocidad y otras propiedades de las ondas de vibración.

### 2. Enriquecimiento de Datos con Información de Operaciones y Fuentes:

Además de clasificar el tipo de vibración, nuestro sistema también completará las columnas de datos de Operaciones y Fuente. Esto significa que no solo identificaremos el tipo de evento, sino también el lugar de origen de la vibración.

Por ejemplo, podremos identificar si la vibración proviene de Candelaria, Ojos del Salado, Carola, Pucobre, o Atacama Kozan, y además especificar la operación correspondiente (e.g., operaciones subterráneas o a cielo abierto).

### **3. Integración de Datos Dispersos:**

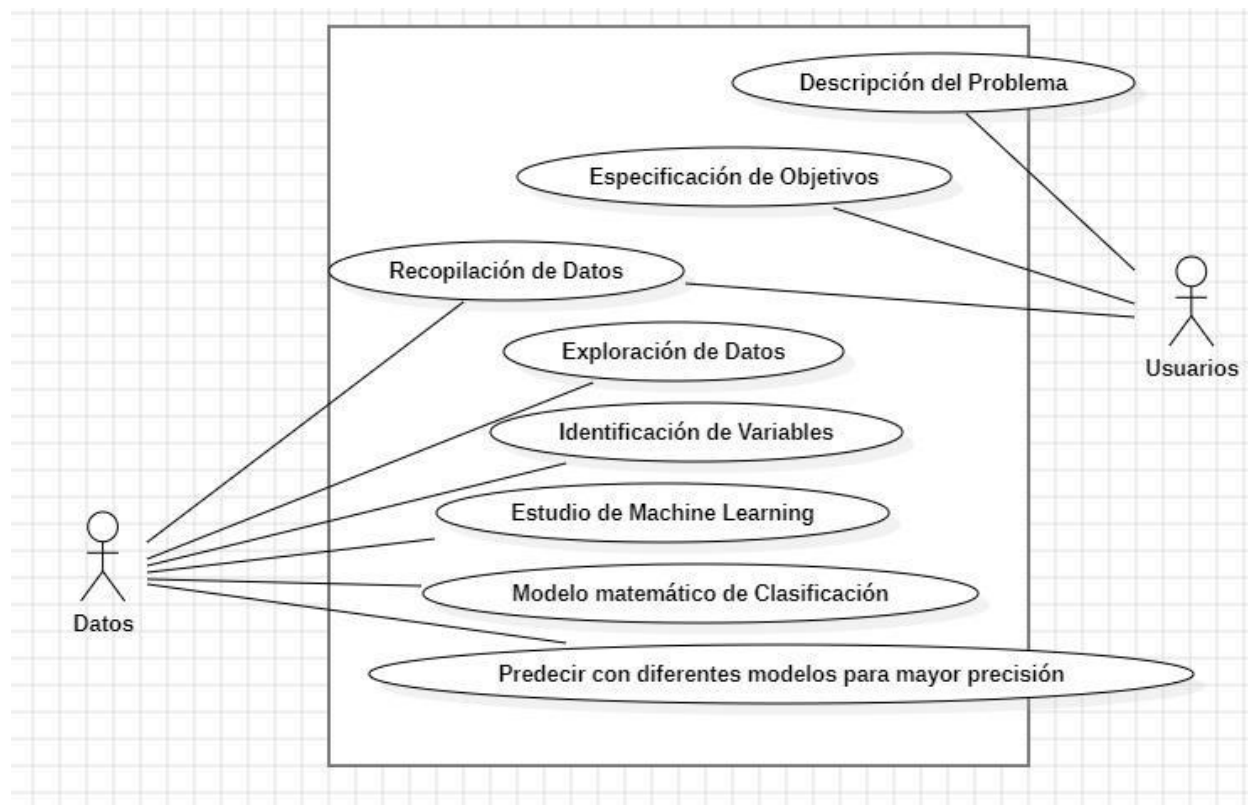
Actualmente, RockBlast maneja los datos de mediciones de ondas por separado, lo que requiere análisis manual para clasificar cada evento. Nuestro sistema integrará estos datos dispersos, proporcionando una herramienta que automáticamente clasifique las vibraciones y asigne sus correspondientes fuentes y operaciones. Esto reducirá significativamente el tiempo y esfuerzo necesarios para el análisis, permitiendo una respuesta más rápida y eficiente ante eventos sísmicos y de tronadura.

### **4. Escalabilidad y Adaptabilidad:**

Nuestro sistema está diseñado para ser escalable y adaptable, permitiendo su expansión para incluir nuevos sensores y áreas de estudio sin requerir una reestructuración significativa. Esto asegura que la solución pueda crecer junto con las necesidades de RockBlast.

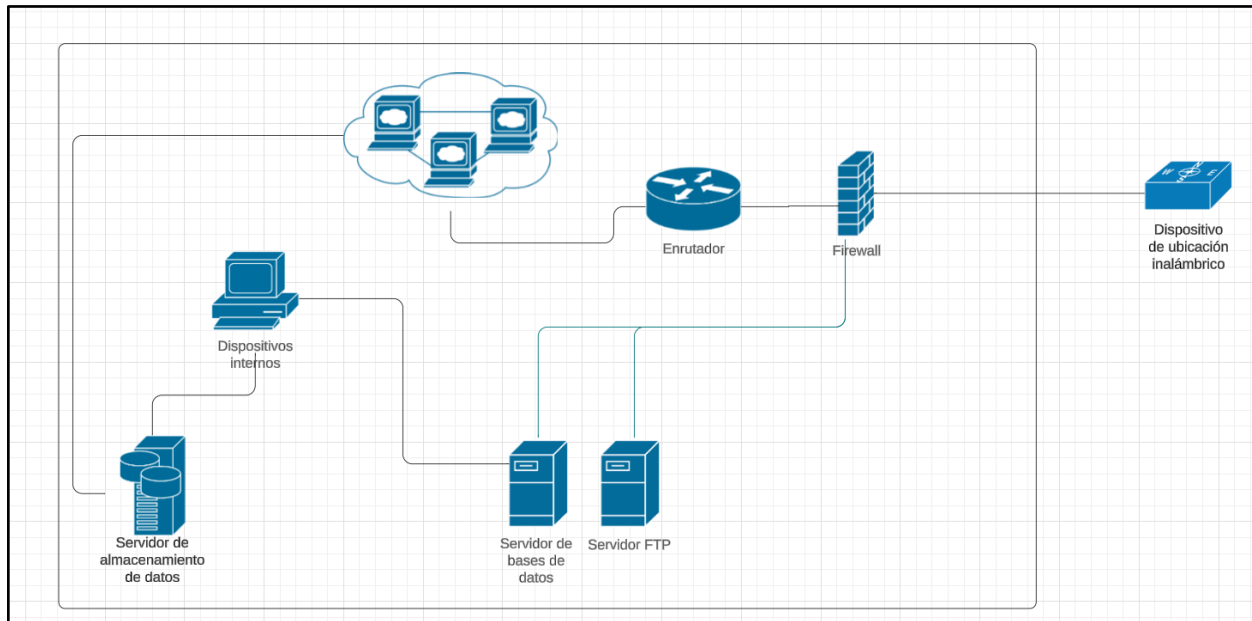
En resumen, nuestro proyecto ofrece una solución novedosa y eficiente que automatiza la clasificación de vibraciones y enriquece los datos con información crucial sobre su origen y operaciones asociadas. Esto no solo optimiza el proceso de análisis de vibraciones, sino que también proporciona una herramienta robusta y escalable para la gestión de eventos sísmicos y de tronadura en la industria minera.

## UML



Paso a paso para conseguir llegar a la solución definitiva.

## Arquitectura



## Diagrama de contexto



## Prototipo (PMV)

### Modelos utilizados en el transcurso de pruebas:

Random Forest / SVM / Gradient Boosting

### Librerías:

```
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import train_test_split, GridSearchCV
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.svm import SVC
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier, GradientBoostingClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score, classification_report
import joblib
from imblearn.over_sampling import SMOTE
```

### Carga de preparación de datos:

```
file_path = 'DatosTierraAmarillaCopia.xlsx'
df = pd.read_excel(file_path)
```

```
features = [
    'Transversal (mm/s)', 'Vertical (mm/s)', 'Longitudinal (mm/s)', 'Transversal (Hz)'
    'Longitudinal (Hz) ZC'
]
```

```
X = df[features]
y = df['Clasificación']
```

```
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```



Definición de modelos e hiperparámetros:

```
svm_model = SVC(kernel='rbf')
rf_model = RandomForestClassifier()
gb_model = GradientBoostingClassifier()

param_grid_svm = {
    'C': [0.1, 1, 10, 100, 1000],
    'gamma': [1, 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001]
}

param_grid_rf = {
    'n_estimators': [100, 200, 300],
    'max_features': ['auto', 'sqrt', 'log2'],
    'max_depth': [4, 6, 8, 10],
    'criterion': ['gini', 'entropy']
}

param_grid_gb = {
    'n_estimators': [100, 200, 300],
    'learning_rate': [0.01, 0.1, 0.2],
    'max_depth': [3, 4, 5]
}
```

```
grid_svm = GridSearchCV(svm_model, param_grid_svm, cv=5, refit=True, verbose=2, n_jobs=
grid_svm.fit(X_train_smote, y_train_smote)

grid_rf = GridSearchCV(rf_model, param_grid_rf, cv=5, refit=True, verbose=2, n_jobs=-1)
grid_rf.fit(X_train_smote, y_train_smote)

grid_gb = GridSearchCV(gb_model, param_grid_gb, cv=5, refit=True, verbose=2, n_jobs=-1)
grid_gb.fit(X_train_smote, y_train_smote)
```

Evaluación y guardado:

```
best_svm_model = grid_svm.best_estimator_  
best_rf_model = grid_rf.best_estimator_  
best_gb_model = grid_gb.best_estimator_  
  
models = {  
    "SVM": best_svm_model,  
    "Random Forest": best_rf_model,  
    "Gradient Boosting": best_gb_model  
}  
  
for model_name, model in models.items():  
    y_test_pred = model.predict(X_test)  
    print(f"Evaluación del modelo {model_name} en el conjunto de prueba")  
    print("Accuracy:", accuracy_score(y_test, y_test_pred))  
    print(classification_report(y_test, y_test_pred))  
  
# Guardar el mejor modelo encontrado por GridSearchCV  
filename = f'modelo_{model_name.lower().replace(" ", "_")}_entrenado.pkl'  
joblib.dump(model, filename)  
print(f"Modelo {model_name} guardado en {filename}")
```

El modelo mostrado anteriormente, es el realizado para la clasificación de las vibraciones.

Además estuvimos desarrollando los modelos relacionados con la clasificación de la fuente y operación/es correspondiente/s a cada fuente. En este caso a partir de las predicciones de tronaduras, trabajamos con esos datos para tener más precisión en las siguientes predicciones.



## Alcance

Nuestro alcance de prototipo mínimo viable es Clasificar las diferentes vibraciones que los sensores captan a lo largo del tiempo (Tronadura, Sismo y No Asociado), encontrando maneras que de mayor precisión, además de también llenar las columnas de datos de Operaciones y Fuente, el cual se reflejará en un ahorro de tiempo y principalmente de recursos.

## Principales resultados

Todas las variables: Tienen entre 50% y 79% de precisión

Variables mms / HZ FFT: 75% Y 76%

Variables mms / HZ FC: 79% Y 88%

Las anteriores features son a las que redujimos del total para probar que haya mayor accuracy con el modelo.

## Planificación

### Sprints

Para nuestra planificación de sprints, utilizamos la página Odoo, la cual nos permite gestionar de manera eficiente nuestras tareas y proyectos. Esta herramienta es parte fundamental de nuestra implementación de la metodología ágil Scrum, complementada con el uso del marco Kanban. A través de Odoo, logramos una organización clara y detallada de cada etapa del proyecto, facilitando el seguimiento del progreso y la colaboración en equipo.

Sprint 1: Preparación y Estudi...	Sprint 2: Análisis Exploratorio ...	Sprint 3: Recopilación y Prepar...	Sprint 4: Desarrollo del Model...	Sprint 5: Documentación Final	Fechas Importantes
<b>Definición del Desafío</b> 25/03/2024 08:00:00 → 04/04/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Análisis Exploratorio de Datos (EDA)</b> 13/05/2024 08:00:00 → 13/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Definir Variables de Medición</b> 22/05/2024 08:00:00 → 22/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Preparación de Entorno de Desarrollo</b> 10/06/2024 08:00:00 → 10/06/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Documentación del Proyecto</b> 27/06/2024 08:00:00 → 27/06/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Primera Reunión Presencial con RockBlast</b> 11/04/2024 08:00:00 → 11/04/2024 08:00:00 ☆ ○
<b>Estudio del Área de Minería y Tronaduras</b> 12/04/2024 08:00:00 → 19/04/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Visualización de Datos</b> 15/05/2024 08:00:00 → 15/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Recopilación de Datos</b> 24/05/2024 08:00:00 → 27/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Entrenamiento del Modelo</b> 12/06/2024 08:00:00 → 17/06/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Preparación de la Presentación Final</b> 27/06/2024 08:00:00 → 27/06/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Entrega Informe 1</b> ☆ ○
<b>Especificación de Objetivos y Alternativas de Solución</b> 23/04/2024 08:00:00 → 26/04/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Selección de Características</b> 17/05/2024 08:00:00 → 17/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Verificación de Calidad de Datos</b> 29/05/2024 08:00:00 → 30/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Validación del Modelo</b> 19/06/2024 08:00:00 → 21/06/2024 17:00:00 ☆ ○		<b>Segunda Reunión Presencial con RockBlast</b> 02/05/2024 08:00:00 → 02/05/2024 08:00:00 ☆ ○
<b>Estudio de Machine Learning Aplicado</b> 29/04/2024 08:00:00 → 07/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Documentación de EDA y Selección de Características</b> 20/05/2024 08:00:00 → 20/05/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Limpeza y Preprocesamiento de Datos</b> 01/07/2024 08:00:00 → 05/07/2024 17:00:00 ☆ ○	<b>Evaluación del Modelo</b> 24/06/2024 08:00:00 → 25/06/2024 17:00:00 ☆ ○		<b>Firma del Contrato de Confidencialidad</b> 10/05/2024 08:00:00 → 10/05/2024 08:00:00 ☆ ○
		<b>División de Datos</b> 08/06/2024 08:00:00 → 09/06/2024 08:00:00 ☆ ○			<b>Entrega Informe 2</b> ☆ ○
					<b>Presentación del Informe Final</b> ☆ ○

## **Sprint 1: Preparación y Estudio Preliminar (11/04 - 10/05)**

### **1. Definición del Desafío**

- Descripción: Identificar y definir los objetivos del proyecto en el área de minería y tronaduras.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 5 días (Última semana de marzo y primera semana de abril)

### **2. Estudio del Área de Minería y Tronaduras**

- Descripción: Investigar y comprender los aspectos técnicos y operativos relacionados con la minería y las tronaduras.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 10 días (12/04 - 22/04)

### **3. Especificación de Objetivos y Alternativas de Solución**

- Descripción: Definir los objetivos específicos del proyecto y proponer posibles soluciones.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 5 días (23/04 - 27/04)

### **4. Estudio de Machine Learning Aplicado**

- Descripción: Realizar un estudio sobre las técnicas de machine learning aplicables al proyecto.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 10 días (28/04 - 08/05)

## **Sprint 2: Análisis Exploratorio y Selección de Características (11/05 - 22/05)**

### **5. Análisis Exploratorio de Datos (EDA)**

- Descripción: Realizar EDA para entender la distribución y relaciones entre variables.
- Prioridad: Media
- Estimación: 4 días (11/05 - 14/05)

### **6. Visualización de Datos**

- Descripción: Crear visualizaciones de los datos para identificar patrones y relaciones.
- Prioridad: Media
- Estimación: 2 días (15/05 - 16/05)

### **7. Selección de Características**

- Descripción: Seleccionar las características más relevantes para el modelo.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 3 días (17/05 - 19/05)

### **8. Documentación de EDA y Selección de Características**

- Descripción: Documentar los hallazgos del EDA y el proceso de selección de características.
- Prioridad: Media
- Estimación: 2 días (20/05 - 21/05)

### **Sprint 3: Recopilación y Preparación de Datos (22/05 - 02/06)**

#### **9. Definir Variables de Medición**

- Descripción: Identificar y definir las variables de medición para las vibraciones.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 2 días (22/05 - 23/05)

#### **10. Recopilación de Datos**

- Descripción: Recopilar datos de vibraciones con las variables mencionadas.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 5 días (24/05 - 28/05)

#### **11. Verificación de Calidad de Datos**

- Descripción: Revisar los datos recopilados para asegurar su calidad y completitud.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 3 días (29/05 - 31/05)

#### **12. Limpieza y Preprocesamiento de Datos**

- Descripción: Limpiar y preprocesar los datos para eliminar valores nulos y outliers, y normalizar las variables.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 5 días (01/06 - 07/06)

#### **13. División de Datos**

- Descripción: Dividir los datos en conjuntos de entrenamiento, validación y prueba.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 2 días (08/06 - 09/06)
-



## **Sprint 4: Desarrollo del Modelo de Machine Learning (10/06 - 21/06)**

### **14. Preparación de Entorno de Desarrollo**

- Descripción: Configurar el entorno de desarrollo para el entrenamiento del modelo.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 2 días (10/06 - 11/06)

### **15. Entrenamiento del Modelo**

- Descripción: Entrenar varios modelos de machine learning (Random Forest, SVM, Redes Neuronales) y comparar su desempeño.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 7 días (12/06 - 18/06)

### **16. Validación del Modelo**

- Descripción: Validar el modelo utilizando el conjunto de validación y ajustar hiperparámetros.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 5 días (19/06 - 23/06)

### **17. Evaluación del Modelo**

- Descripción: Evaluar el modelo final con el conjunto de prueba y métricas de desempeño.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 3 días (24/06 - 26/06)

## **Sprint 5: Documentación Final (27/06 - 28/06)**

### **18. Documentación del Proyecto**

- Descripción: Documentar todos los hallazgos, procesos, y resultados obtenidos durante el proyecto.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 2 días (27/06 - 28/06)

### **19. Preparación de la Presentación Final**

- Descripción: Preparar la presentación para la entrega final del informe.
- Prioridad: Alta
- Estimación: 2 días (27/06 - 28/06)

## **Fechas Importantes**

### **1. Definición de Desafío**

- Última semana de marzo y primera semana de abril

### **2. Primera Reunión Presencial con RockBlast**

- Jueves 11 de abril

### **3. Entrega Informe 1**

- Jueves 18 de abril

### **4. Segunda Reunión Presencial con RockBlast**

- Jueves 5 de mayo

### **5. Firma del Contrato de Confidencialidad**

- Viernes 10 de mayo

### **6. Entrega Informe 2**

- Viernes 24 de mayo

### **7. Presentación del Informe Final**

- Viernes 28 de junio

## Próximas Etapas

Las próximas etapas aún no se han definido fecha, ya que aún nos queda por aprender en la utilización de algunas tecnologías y seguimos estudiando los tipos de vibraciones. Pero igualmente tenemos pensado enfocarnos en el diseño y desarrollo del dashboard, así como en la configuración de notificaciones en caso de detección de vibraciones fuertes. El dashboard permitirá la visualización los datos de vibraciones, mostrando eventos detectados y su clasificación. También incluirá gráficos y estadísticas sobre tendencias históricas, proporcionando una interfaz intuitiva y personalizable. Las notificaciones se configurarán para alertar automáticamente a través de correos electrónicos, por ejemplo, cuando se detecten vibraciones significativas, permitiendo una respuesta rápida y efectiva.

## Aprendizaje

En cuanto al aprendizaje, en el transcurso del proyecto de vibraciones, hemos profundizado nuestro entendimiento de la industria minera, explorando en detalle los procesos esenciales de perforación, tronadura y geomecánica. A través de la interacción directa con la empresa, hemos podido sumergirnos en datos reales y comprender los desafíos prácticos que enfrenta la industria minera en la actualidad. Este contacto directo nos permitió aplicar nuestros conocimientos teóricos a situaciones concretas, desarrollando soluciones tecnológicas pertinentes y adaptadas a las necesidades del sector. Además, hemos fortalecido nuestras habilidades en integración tecnológica, análisis de datos y gestión de proyectos, lo que nos ha preparado de manera más sólida para abordar futuros desafíos en el campo de la minería y la tecnología aplicada a esta industria.

Además, hemos aprendido técnicas de machine learning y minería de datos. Utilizando algoritmos de clasificación y manteniendo un sistema de evaluación continua del modelo, garantizamos su precisión y relevancia a lo largo del tiempo. Realizar análisis exploratorios de datos nos ha ayudado a descubrir patrones y tendencias, mientras que el modelado predictivo nos ha permitido anticipar eventos significativos. Este enfoque integral asegurará que el proyecto evolucione de manera efectiva, maximizando su valor y aplicabilidad en el contexto de RockBlast.

## Conclusiones

### Conclusión general

Podemos concluir que, el desafío propuesto por RockBlast busca diseñar e implementar un prototipo de una herramienta de captura de datos, visualización y análisis de modelado matemático de vibraciones en la industria minera. El enfoque se centra en el campo lejano de las vibraciones y se utilizarán tecnologías como sensores, modelado matemático, machine learning, bases de datos y frameworks de desarrollo. El objetivo final es mejorar la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de las operaciones mineras a través de la comprensión y análisis de las vibraciones generadas.

### Conclusiones personales

#### **Alfonso Palacios**

En mi opinión, el trabajo realizado hasta el momento es un gran paso adelante en la creación de una herramienta de captura de datos, visualización y análisis de modelado matemático de vibraciones. Se ha demostrado un compromiso sólido con la comprensión profunda de las necesidades y retos de la industria minera, y la selección hábil de tecnologías y herramientas demuestra una actitud proactiva y determinada.

En base a lo que se ha hecho hasta ahora, tengo la confianza que se seguirá avanzando con éxito en el futuro. Con un esfuerzo sostenido y un compromiso constante con la mejora y la innovación, estoy seguro de que se logrará desarrollar una herramienta verdaderamente valiosa y eficaz para la industria minera.

#### **Natalia Hernández**

Nuestra experiencia de trabajo en este proyecto nos ha permitido reconocer el valor de enfrentar desafíos y comprometernos con los plazos establecidos. Esta dinámica nos ha





impulsado a adaptarnos y a desarrollar habilidades para cumplir con eficiencia y responsabilidad las distintas tareas asignadas. Personalmente, destaco cómo esta metodología nos ha brindado un marco sólido para el crecimiento individual y colectivo, permitiéndonos alcanzar nuestros objetivos de manera más efectiva y satisfactoria.

### **Josefina Casas**

Participar en este proyecto, ha sido una experiencia enriquecedora que me ha brindado un valioso aprendizaje sobre la aplicación de la ingeniería informática en la industria minera. A través de este proyecto, he adquirido habilidades técnicas y de gestión que estoy seguro serán fundamentales para mi desarrollo profesional.

Esta experiencia me ha permitido entender de primera mano cómo la tecnología puede revolucionar industrias tradicionales como la minería, ampliando mi comprensión del mundo real y la aplicación práctica de mis conocimientos en ingeniería informática, desde los procesos de perforación hasta el análisis de vibraciones, comprendiendo los desafíos y complejidades inherentes a este sector. La interacción directa con la empresa y la manipulación de datos reales me han enseñado la importancia de adaptar soluciones tecnológicas a necesidades específicas en el desarrollo de proyectos.

## Bibliografía

### Apps o páginas web que se utilizaron

- <https://xmind.app>
- <https://staruml.io>
- <https://www.canva.com>
- <https://maidepot.com>
- <https://www.lucidchart.com>
- <https://www.google.com/intl/es-419/earth/about/versions/>
- Paint
- <https://www.odoo.com/es>

### Recopilación de información

- <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/10/G4PerforacionTronaduras.pdf>
- Información entregada por empresa RockBlast a través de Teams
- <https://cl.linkedin.com/company/rockblast>
- <https://rockblast.cl>
- <https://www.mch.cl/>