

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA
VALPARAÍSO - CHILE**



**“IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO
PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICA-
DORES EN MINERÍA.”**

RODRIGO ESTEBAN VALENZUELA MOREIRA

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN INFORMÁTICA**

**Profesor Guía: Rodrigo Estay Huidobro
Profesor Correferente: Cecilia Reyes Covarrubias**

Septiembre - 2021

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES EN MINERÍA

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a mis padres, que me apoyaron en las buenas y en las malas, a mi familia, quienes me alentaron a ser mejor persona cada día, y a mis amigos, que siempre estuvieron ahí cuando los necesité.

AGRADECIMIENTOS

Para comenzar quiero agradecer a todas aquellas personas maravillosas que participaron en este largo proceso universitario, que me brindaron su apoyo y me dieron las fuerzas para continuar cuando lo necesitaba. A mis padres Patricio y Viviana, por todo el sacrificio que hicieron, por ser una guía íntegra y moral y un apoyo incondicional. También por aguantar la larga espera de este proceso.

A mi hermana Fabiola, que siempre puso mis necesidades antes que las suyas, que siempre me levantó el ánimo cuando estaba decaído sin que le dijese nada, y que me dio a mi sobrina, quien me dio el impulso para poder seguir adelante cuando ya no quería más.

A mi profesor guía, Rodrigo Estay, que sin su apoyo y guía no hubiese podido completar este desarrollo, y que me demostró lo que soy capaz de lograr muchas cosas por mi cuenta.

A todos los amigos que hice durante todos mis años en la universidad, profesores y alumnos, que sin su ayuda muchas veces no hubiese sabido qué hacer. De cada uno de ellos logré sacar una lección, una visión o conocimiento que amplió mi mundo. Su compañía alivió el estrés que genera una responsabilidad tan grande.

Agradezco también de una forma especial a cada uno de los integrantes de mi grupo folclórico BAFOES, grupo que me ha acompañado la mayor parte de mi vida, por aliviarme el estrés de la universidad, por desarrollarme la personalidad y sin notarlo darme el coraje para enfrentarme a los desafíos. También a los otros grupos de los cuales soy miembro, que me han ayudado en la formación de la persona que soy ahora.

A la Universidad Técnica Federico Santa María, por darme las herramientas para enfrentarme al mundo profesional, y por hacerme una persona más capaz y responsable.

Y, por último, a cada una de las personas que de alguna forma me ayudaron a obtener este título, familiares, amigos y demás. Ustedes son la razón por lo que todo esto es posible. Gracias.

RESUMEN

Resumen— Un efecto del proceso productivo en la minería es la micro sismicidad, también conocida como sismicidad inducida. Esta, puede liberar energía suficiente para producir el desprendimiento del macizo rocoso dentro de las labores mineras. Esta eyección repentina de la roca se conoce como estallidos de roca, los que son peligrosos. Debido a esta amenaza es que se desarrollan indicadores sísmicos, que permiten monitorear el comportamiento de la sismicidad inducida utilizando diferentes parámetros sísmicos. Un comportamiento de estos indicadores fuera de niveles normales conlleva aplicar los protocolos que cada empresa tenga definidos, que pueden incluir detener el proceso productivo.

Estos indicadores deben ser evaluados para comprobar su desempeño, ayudando a los operadores mineros a mejorar el proceso de toma de decisiones. Debido a esto, surge la idea de crear un sistema que evalúe distintos indicadores sísmicos para encontrar la configuración correcta para cada mina.

En esta memoria se desarrolla un prototipo de aplicación de escritorio que cumple la función de evaluar el desempeño de dos indicadores sísmicos (frecuencia de eventos y el valor b de Gutenberg – Richter). Esta implementación de la aplicación de escritorio es un primer paso a lo que podría ser un nuevo software en el estudio de indicadores sísmicos.

Palabras Clave—Aplicación, indicadores sísmicos, minería, software.

ABSTRACT

Abstract— One effect of the production process in mining is micro-seismicity, also known as induced seismicity. This can release enough energy to produce the detachment of the rocky mass inside the mining labors. This sudden ejection of rock is known as rockbursts, which are dangerous. Because of this threat is that seismic indicators are developed, which allow monitoring the behavior of induced seismicity using different seismic parameters. A behavior of these indicators outside normal levels entails the application of protocols that each company has defined, which may include stopping the production process until these indicators recover their normal levels.

These indicators must be evaluated to check their performance, helping mine operators to improve the decision-making process. Because of this, arise the idea of creating a system that evaluates different seismic indicators to find the correct configuration for each mine.

In this work a desktop prototype application is developed to evaluate the performance of two seismic indicators (frequency events and Gutenberg-Richter b -value). This implementation of the desktop application is a first step to what could be a new software in the study of seismic indicators.

Keywords— App, seismic indicators, mining, software.

GLOSARIO

CFE: Criterio de Frecuencia de Eventos

CSV: *Comma-Separated Values*

EMR: *Entire-magnitude-range*

F: *False*

FN: *False Negative*

FP: *False Positive*

FPR: *False Positive Rate*

LR: *Logistic Regression*

T: *True*

TN: *True Negative*

TP: *True Positive*

TPR: *True Positive Rate*

PSS: *Peirce Score Skill*

SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL
DESEMPEÑO DE INDICADORES EN MINERÍA

INDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 4 |
| ABSTRACT | 4 |
| GLOSARIO | 5 |
| INDICE DE CONTENIDOS | 6 |
| INDICE DE FIGURAS..... | 8 |
| INDICE DE TABLAS..... | 10 |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA | 13 |
| 1.1 Objetivo General:..... | 14 |
| 1.2 Objetivos específicos: | 14 |
| 1.3 Alcances: | 14 |
| CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL | 16 |
| 2.1 Sismógrafos..... | 16 |
| 2.2 Catálogo sísmico. | 16 |
| 2.3 Indicador sísmico. | 17 |
| 2.4 Regresión Logística. | 17 |
| 2.5 Distribución de Poisson..... | 19 |
| 2.6 Ley de Gutenberg-Richter..... | 19 |
| 2.7 Matriz de contingencia. | 20 |
| 2.8 Python:..... | 21 |
| 2.9 Software en minería. | 22 |
| CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN | 25 |
| 3.1 Requerimientos principales. | 25 |
| 3.2 Diseño de la solución | 26 |
| 3.2.1 Interfaz | 27 |

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES EN MINERÍA

| | | |
|---|---|----|
| 3.2.2 | Cálculo de indicadores. | 27 |
| 3.2.3 | Evaluación del desempeño de indicadores:..... | 30 |
| 3.2.4 | Regresión logística..... | 31 |
| 3.2.5 | Almacenamiento de información..... | 32 |
| 3.3 | Descripción de los datos | 32 |
| CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN | | 34 |
| 4.1. | Descripción del programa..... | 34 |
| 4.2. | Validación de funcionalidades. | 35 |
| 4.2.1. | Lectura de archivos. | 35 |
| 4.2.2. | Generar indicadores..... | 37 |
| 4.2.3. | Visualización de indicadores. | 38 |
| 4.2.4. | Guardar gráficos..... | 39 |
| 4.2.5. | Evaluar indicador(es) creado(s)..... | 40 |
| 4.2.6. | Exportar datos..... | 42 |
| 4.2.7. | Guía de usuario. | 43 |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES | | 46 |
| 5.1 | Conclusiones generales..... | 46 |
| 5.2 | Conclusiones específicas..... | 48 |
| 5.3 | Trabajo a futuro. | 48 |
| 5.4 | Palabras finales del autor. | 50 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | | 51 |
| ANEXOS..... | | 54 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Matriz de contingencia y métricas asociadas (modificado de Fawcett, 2005). TP: True Positive (Acierto), FP: False Positive (Falsa alarma), FN: False Negative (Fallido), TN: True Negative (Negativo correcto). Fuente: (Estay, 2014)..... | 20 |
| Figura 2: Diagrama que muestra el protocolo de alerta utilizado para los indicadores b v/s tiempo. Fuente: Elaboración propia..... | 28 |
| Figura 3: Ejemplo de indicador CFE en ejecución, donde se visualizan ambas bandas y el valor del índice. Fuente: Elaboración Propia..... | 29 |
| Figura 4: Diagrama que muestra el protocolo de alerta utilizado para los indicadores frecuencia de eventos. Fuente: (Estay, 2014). | 30 |
| Figura 5: Interfaz diseñada para el programa propuesto. Cada sección puede contraerse o desplegarse cuando el usuario estime conveniente. Fuente: Elaboración Propia. | 34 |
| Figura 6: Sección de la interfaz encargada de la búsqueda de archivos, donde se solicitan la dirección del archivo y la magnitud relevante para este. Fuente: Elaboración Propia. | 36 |
| Figura 7: Ventana de búsqueda de archivo. Fuente: Elaboración Propia. | 36 |
| Figura 8: Sección de la interfaz destinada a la creación del indicador b. Cada sección solicita distintos valores de atributos, en este caso magnitud mínima, bin o ancho de cada barra del histograma, tamaño del grupo de estudio y la cantidad de elementos a desplazar para la siguiente iteración. Además, se permite mostrar 1 u 2 gráficos y ocultarlos. Fuente: Elaboración Propia..... | 37 |
| Figura 9: Interfaz completa donde se ha generado un gráfico del indicador b en el tiempo. Fuente: Elaboración Propia. | 39 |
| Figura 10: Gráficos obtenido por medio de la aplicación, antes (izquierda) y después (derecha) de la manipulación del gráfico. El gráfico de la derecha presenta un menor rango de fechas y de amplitud que el gráfico de la izquierda. Fuente: Elaboración Propia. | 40 |
| Figura 11: Sección de la interfaz que sirve para la evaluación de desempeño del indicador b. Cada entrada de valor corresponde a su respectiva variable. En este caso son el tiempo de validación, o rango de tiempo futuro donde se busca la ocurrencia de eventos reales; y la amplitud mínima del intervalo de búsqueda del b crítico. Fuente: Elaboración Propia..... | 41 |
| Figura 12: Interfaz completa, donde se destaca en un círculo rojo el botón Guardar. Fuente: Elaboración propia..... | 42 |
| Figura 13: Ejemplos del archivo de texto generados por el programa para guardar los datos relativos al último indicador creado. Fuente: Elaboración Propia. | 43 |

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL
DESEMPEÑO DE INDICADORES EN MINERÍA

Figura 14: Interfaz del programa, donde se destaca con un círculo rojo la posición del botón Ayuda. Fuente: Elaboración propia. 44

Figura 15: Porción de la guía de usuario, la cual muestra la distribución que posee dicho archivo. Fuente: Elaboración propia. 44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores utilizados para probar la funcionalidad de crear indicador b v/s tiempo, en este caso se solicita la Magnitud relevante, o el valor a partir del que se considera una magnitud como relevante; la Magnitud mínima, o el límite inferior de las magnitudes aceptadas; el tamaño del grupo de estudio, o cantidad de datos usados para obtener cada valor de b; y el valor de desplazamiento, o cantidad de elementos a desplazar para la siguiente iteración. Fuente: Elaboración propia. 38

INTRODUCCIÓN

El proceso productivo en la minería genera una redistribución de los esfuerzos a los que está sometido el macizo rocoso, produciendo el fracturamiento de este y la consecuente formación de micro sismicidad. Esta sismicidad es conocida como sismicidad inducida, y que puede liberar energía suficiente para producir el desprendimiento del macizo rocoso dentro de las labores mineras. Esta eyección repentina de la roca se conoce como estallidos de roca, lo que son peligrosos para los trabajadores, equipos e instalaciones. Debido a esta amenaza es que se desarrollan indicadores sísmicos, que permiten monitorear el comportamiento de la sismicidad inducida utilizando diferentes parámetros sísmicos. Estos indicadores permiten alertar sobre el posible peligro de estallidos de roca que puedan existir en una mina.

La correcta configuración de estos indicadores implica un posible problema, debido a que cada mina es totalmente distinta y, por ende, debiesen tener distintas configuraciones. Además, entre más precisa sea su configuración mejor desempeño tendrá el indicador y será más confiable. Si el desempeño de un indicador es muy bajo, su confiabilidad también lo será afectando la productividad de la mina, esto último debido a las posibles falsas alarmas.

El trabajo que aquí se presenta está enfocado, como su título lo dice, en la implementación de una aplicación de escritorio para la evaluación del desempeño de indicadores sísmicos en minería. Esta aplicación estará destinada a crear indicadores sísmicos con datos históricos de la mina, para después evaluar el desempeño de estos y su confiabilidad.

La estructura de este trabajo consta de 5 capítulos. En el *CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA*, se presenta el problema actual en la minería. Además, se comentan los estudios en el área junto a los objetivos a cumplir. Para terminar, se muestra una pincelada de los últimos estudios realizados en el área, lo que inspiró la realización de esta memoria y hasta dónde se abordará.

En el *CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL*, se introducen conceptos importantes que se usarán en el transcurso de la memoria, junto con una revisión de las distintas aplicaciones encontradas enfocadas en minería. También se abordará una contextualización de las tecnologías aplicadas para el desarrollo de la memoria.

El *CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN* contiene el diseño de la solución propuesta, y una breve descripción de los indicadores sísmicos con los que se trabajará y cómo se utilizarán, junto con la descripción de los datos usados para el desarrollo y prueba, terminando con la descripción del formato de muestra de resultados que servirán para la evaluación del desempeño de los indicadores.

En el *CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN*, se dará un breve análisis y descripción de la solución empleada, donde se describirá y evaluará el cumplimiento de los requerimientos

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

y de los objetivos iniciales, describiendo los procedimientos utilizados para probar las funcionalidades.

Finalmente, en el *CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES*, se detallan las conclusiones obtenidas en el transcurso del presente trabajo, y los resultados obtenidos del desarrollo de la aplicación de escritorio y unas pequeñas palabras del autor.

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La sismicidad inducida es la respuesta del macizo rocoso al proceso de explotación minera (Estay, 2014). Durante más de cien años los eventos de sismicidad inducida en minas subterráneas han sido reportados como un peligro para los trabajadores, además de ser una interferencia operacional en la capacidad productiva ya que si no se tiene un adecuado control pueden generarse expulsiones violentas de material rocoso dentro de la mina, conocido como estallido de roca (*rockburst*).

Estos reportes provienen mayoritariamente de minas subterráneas en roca dura ubicadas en una variedad de países tales como: Australia, Canadá, Sudáfrica, China, Chile y Perú. El problema no es nuevo, pero se ha intensificado con la progresión de la actividad minera moderna en profundidades cada vez mayores (Potvin et al., 2007).

Esto, sumado al hecho de que Chile sea un país sísmicamente activo provoca un gran problema a las mineras del país, dado que al trabajar a tantos metros bajo la superficie, es más propensa a sufrir daños mayores con estos movimientos. Por lo mismo es que constantemente se están buscando formas, si bien, no de evitar estos eventos, sí de medir el daño que ha provocado en las minas, y para poder decidir cuándo es apropiado permitir el reingreso a esta, o el abandono de ser necesario.

Para poder realizar este procedimiento, se utilizan una serie de indicadores sísmicos, los que sirven para monitorear la respuesta en el tiempo del macizo rocoso a la minería aplicada, recurriendo a diferentes parámetros que se obtienen de los registros de la sismicidad inducida por medio de geófonos/acelerómetros instalados en la mina, los cuales actúan como sensores. El objetivo de los indicadores sísmicos, es generar una situación de alerta cuando se identifican niveles anormales que podrían indicar una respuesta descontrolada del macizo.

Esto último es clave en la minería, dado que para poder trabajar, constantemente se debe estar monitoreando el macizo, debido a que en cualquier momento se puede provocar un desprendimiento de material rocoso. Según informes del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), entre los años 2000 y 2017 murieron 546 personas en las minas y de ellas el 32% por desprendimiento de rocas (Sernageomin, 2018) y entre los años 2015 y 2019 murieron 78 personas y de ellas 22 golpeadas por rocas (Sernageomin, 2019). Esto provoca una preocupación continua y una necesidad de contar con indicadores sísmicos que activen las alarmas al momento de un posible *rockburst* principalmente.

Estay, en el año 2014 desarrolló una metodología de evaluación del desempeño de indicadores sísmicos en sismicidad inducida por la minería. Estos indicadores consisten en parámetros relacionados con el comportamiento micro sísmico de la mina, los cuales van cambiando en el tiempo. El objetivo de los indicadores es generar un estado de alerta cuando el comportamiento de estos cambia, lo que puede llevar a una respuesta descontrolada del macizo rocoso y un posible estallido de roca. Una condición de alerta

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

indica que se debe seguir el comportamiento del indicador sísmico para realizar las acciones correspondientes en el proceso minero para modificar la respuesta del sistema sísmico.

Otros estudios también afirman que los indicadores actuales no son del todo confiables, llegando a estar en estado de alerta un 33% del tiempo (Vallejos, et. al 2012). Si bien esto puede deberse a distintos factores externos, entre ellos la presencia de datos ruidosos o la geología del lugar, no deja de ser preocupante.

En lo realizado por Estay (2014), el comportamiento de los diferentes indicadores podía compararse a un sistema aleatorio, es decir, definir un estado de alerta era similar a lanzar una moneda.

1.1 Objetivo General:

Lo que se persigue principalmente en este trabajo es desarrollar un sistema que permita evaluar el desempeño de indicadores sísmicos, desarrollando una aplicación que pueda operar para cualquier catálogo sísmico.

Por todo esto es que el objetivo principal está definido como **“implementar una aplicación de escritorio para la evaluación de indicadores sísmicos en minería.”**

1.2 Objetivos específicos:

Los objetivos específicos son:

- Desarrollar indicadores sísmicos a partir de cualquier catálogo sísmico.
- Desarrollar un sistema que permita visualizar los indicadores creados por medio de gráficas y manipular dicha gráfica a voluntad.
- Desarrollar un sistema que permita la evaluación de desempeño de indicadores creados a partir de cualquier catálogo sísmico.

1.3 Alcances:

Como se mencionó anteriormente, según lo desarrollado por Estay (Estay, 2014), el comportamiento de los diferentes indicadores podía compararse a un sistema aleatorio, es decir, definir un estado de alerta era similar a lanzar una moneda. Los indicadores investigados en ese trabajo fueron:

- Frecuencia de eventos

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

- Tasa genérica de momento sísmico
- Probabilístico
- Aglomeramiento espacial

Adicionalmente evaluó el desempeño de dichos indicadores utilizando la metodología ROC propuesta por Fawcett (Fawcett, 2005), obteniendo un desempeño aleatorio, es decir, los estados de alerta que los indicadores mostraban eran igual de precisos que lanzar una moneda. Si bien esto no es concluyente para tacharlos como malos indicadores, da pie para posibles cuestionamientos de cuántos indicadores no están óptimamente configurados en la actualidad.

Un factor relevante en este comportamiento podría llegar a ser presencia de “datos ruidosos” en el mismo catálogo sísmico como tronaduras, la minería, la geología, la combinación de ambos y el efecto en la sismicidad, etc.

Otro factor relevante que podría ser explicado por este mal desempeño, es que en Vallejos et al (2012) se mostró que el indicador de frecuencia de eventos para la mina El Teniente, pasaba 33% del tiempo en alerta, con un 56% de aciertos al momento de prever un evento sísmico que podría generar un estallido de roca.

Dado que estos indicadores presentaron un desempeño no deseado, es que Estay sigue buscando indicadores sísmicos que permitan mejorar el desempeño de los anteriormente evaluados. Por lo mismo, en esta oportunidad se trabajará con el Indicador b v/s tiempo y el Criterio de frecuencia de eventos, como indicadores a evaluar, creando una aplicación de escritorio capaz de evaluar estos indicadores.

Por otra parte, Vallejos & McKinnon (Vallejos & McKinnon, 2013) probaron exitosamente el uso de los métodos de regresión logística y de redes neuronales para poder clasificar si un evento sísmico era tronadura, un reportado (evento sísmico de alta magnitud) o un evento. También utilizando la metodología ROC llegaron a que la regresión logística y la red neuronal alcanzaban un desempeño del 93%, entendiendo desempeño como la diferencia entre la tasa de aciertos menos la tasa de falsos positivos.

De esta forma se plantea realizar, por una parte, algo similar a la línea de Vallejos & McKinnon (2013), es decir, crear una regresión logística a partir de los datos evaluados, para medir su efectividad y en un futuro, permitir su uso para la clasificación de eventos. Esto se basa en el excelente desempeño obtenido por la regresión al predecir un evento de magnitud relevante.

CAPÍTULO 2: MARCO CONCEPTUAL

Para comenzar con esta sección de la memoria, y a la vez homogeneizar conceptos, a continuación se listan unos cuantos que posteriormente se ocuparán.

2.1 Sismógrafos.

Según la RAE¹, este se define como un instrumento que señala la dirección y amplitud de las oscilaciones y sacudidas de la tierra durante un terremoto. Lo que en otras palabras se puede expresar como sensores que ayudan a medir las respuestas del material rocoso ante algunas eventualidades, las cuales ante ciertas perturbaciones pueden provocar desprendimiento de material rocoso. Algunos tipos de sismógrafos son:

- **Geófonos:** Según Oilfiel Glossary², son dispositivos utilizados en la adquisición sísmica de superficie, tanto en tierra firme como en el lecho marino, que detecta la velocidad del terreno producida por las ondas sísmicas y transforma el movimiento en impulsos eléctricos. Los geófonos detectan el movimiento en una sola dirección. Los levantamientos sísmicos convencionales en tierra firme utilizan un geófono por posición de recepción para detectar el movimiento en la dirección vertical. Para recolectar datos sísmicos de 3C, habitualmente se utilizan en combinación tres geófonos mutuamente ortogonales. Los hidrófonos, a diferencia de los geófonos, detectan los cambios de presión en vez de detectar el movimiento. En otras palabras, son traductores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica.
- **Acelerómetros:** De la misma forma, según Oilfield Glossary³, es un dispositivo utilizado durante las operaciones de prospección para medir la aceleración de una embarcación o una aeronave, o para detectar la aceleración del terreno en los pozos o en la superficie terrestre, producida por las vibraciones acústicas. Es decir, son dispositivos que miden la orientación espacial y/o cambio de velocidad de algún elemento, cualquiera sea. Suele usarse en celulares para medir movimientos o giros de pantalla, autos (para activación de airbag), dispositivos antirrobo, notebooks, edificios, etc.

2.2 Catálogo sísmico.

Según la definición realizada por la RAE⁴, un **catálogo** es una “relación ordenada en la que se incluyen o describen de forma individual libros, documentos, personas, objetos, etc., que

¹ <https://dle.rae.es/sism%C3%B3grafo?m=form>

² <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/terms/g/geophone>

³ <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/search?q=accelerometer&sort=relevancy>

⁴ <https://dle.rae.es/cat%C3%A1logo?m=form>

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

están relacionados entre sí”, de forma similar, el adjetivo **sísmico** se define como “perteneciente o relativo al sismo”. Por lo que un catálogo sísmico se puede definir como un “conjunto de datos, distribuidos ordenadamente, y cuya información describen de forma individual un evento sísmico percibido por algún sismógrafo”, en palabras más simples, se describiría como un conjunto ordenado de datos sísmicos, donde se detallan fecha, magnitud, posición, energía, entre otros datos considerados relevantes.

2.3 Indicador sísmico.

En breves palabras, este se podría definir como un sistema que recibe los datos de un catálogo sísmico, los procesa según el indicador que se quiera calcular y muestra su comportamiento en el tiempo. A partir de los valores resultantes del indicador se pueden definir estados de alerta los que entregan información sobre el comportamiento del macizo rocoso como respuesta a la minería desarrollada.

Algunos de los indicadores más utilizados son:

- Frecuencia de eventos (Dunlop & Gaete, 1997); (Vallejos *et al.*, 2012); (Vallejos & McKinnon, 2008), (2010), (2011)
- Tasa genérica del momento sísmico (Shchebakov *et al.*, 2010)
- Aglomeramiento espacial (Malek & Leslie, 2006)
- Probabilístico (Benjamin, 1968)
- Modelo epidémico (Ogata, 1988, 1989, 1999, 2001)

2.4 Regresión Logística.

La regresión logística (LR) es una técnica de modelado estadístico en la que la probabilidad de una categoría está relacionada con un conjunto de variables explicativas (Hosmer & Lemeshow, 1989). Suponga que las variables dependientes tienen M categorías. Un valor (normalmente el valor con la frecuencia más alta) de la variable dependiente se designa como categoría de referencia. La probabilidad de pertenencia a otras categorías se compara con la probabilidad de pertenencia a la categoría de referencia (Menard, 2002). Para las variables dependientes con categorías M , esto requiere el cálculo de $M - 1$ ecuaciones, una para cada categoría relativa a la categoría de referencia, para describir la relación entre la variable dependiente y las variables independientes. Asumiendo la primera categoría como referencia, entonces para cada categoría ($m=2, \dots, M$) el modelo logístico se define mediante las siguientes ecuaciones:

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

$$z_m = a_{m0} + \sum_{i=1}^{N_x} a_{mi}x_i ; m \geq 2 \quad (1)$$

$$P(z_m) = \frac{e^{z_m}}{1 + \sum_{i=2}^M e^{z_i}} ; m \geq 2 \quad (2)$$

$$P(z_m) = \frac{1}{1 + \sum_{i=2}^M e^{z_i}} ; m = 1 \quad (3)$$

donde z_m es una medida de la contribución de las variables explicativas x_i ($i = 1, \dots, N_x$) en la categoría m , a_{mi} son los coeficientes de regresión que se obtienen por máxima verosimilitud junto con sus errores estándar Δa_{mi} , y $P(z_m)$ es la respuesta categórica de la variable m que representa la probabilidad de un resultado particular. En esta aplicación particular, x_i son los parámetros microsísmicos de interés, y $P(z_m)$ es la probabilidad de tener una explosión, microsísmica, evento y sismicidad relevante.

Si la probabilidad supera cierto umbral, generalmente de 0.5, entonces se dice que existirá un reporte, de lo contrario, se dice que no ocurrirá ningún evento.

En palabras más simples, una regresión logística es un tipo de análisis de regresión utilizado para predecir la categoría a la que pertenece un elemento (una variable que puede adoptar un número limitado de categorías) en función de las variables independientes o predictoras asociadas.

Para la configuración de una regresión logística con múltiples factores, o multivariada, se suelen utilizar los denominados p-valores, o valores p, valores que si superan un cierto valor, generalmente de 0.05, sirven para discriminar si una variable es estadísticamente significativa o no en la decisión final de la regresión (Agresti, 2007). A grandes rasgos, este análisis permite eliminar factores que no aporten determinadamente a la solución, lo cual debe realizarse en varios ciclos, en los cuales se irá eliminando sólo el factor con mayor p-valor y que supere este rango, esto debido a que cada vez que se elimina un factor, los p-valores adquieren nuevas magnitudes, provocando que algún factor que esté en el límite, pueda ser o no considerado en las nuevas iteraciones. (Vallejos & McKinnon, 2013)

La regresión logística es usada extensamente en las ciencias médicas y sociales. Otros nombres para regresión logística usados en varias áreas de aplicación incluyen modelo logístico, modelo logit, y clasificador de máxima entropía.

2.5 Distribución de Poisson.

En teoría de probabilidad y estadística, la distribución de Poisson es una distribución de probabilidad discreta. Expresa la probabilidad de un número k de eventos ocurriendo en un tiempo fijo si estos eventos ocurren con una frecuencia media conocida y son independientes del tiempo discurrido desde el último evento. Fue descubierta por Siméon-Denis Poisson, que la dio a conocer en 1837 en su trabajo *Recherches sur la probabilité des jugements en matières criminelles et matière civile* (Investigación sobre la probabilidad de los juicios en materias criminales y civiles) (Poisson, 1837). La función de densidad de la distribución de Poisson es:

$$f(k; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!} \quad (4)$$

donde λ es un parámetro positivo que representa la frecuencia esperada del fenómeno modelado por la distribución. Tanto el valor esperado como la varianza de una variable aleatoria con distribución de Poisson son iguales a λ .

“[...] La distribución de Poisson, se aplica a varios fenómenos discretos de la naturaleza (esto es, aquellos fenómenos que ocurren 0, 1, 2, 3, ... veces durante un periodo definido de tiempo o en un área determinada) cuando la probabilidad de ocurrencia del fenómeno es constante en el tiempo o el espacio. Ejemplos de estos eventos que pueden ser modelados por la distribución de Poisson incluyen: El número de autos que pasan a través de un cierto punto en una ruta (suficientemente distantes de los semáforos) durante un periodo definido de tiempo, entre otros.” (Rodriguez, 2010b, pág. 4)

Un uso común de esta distribución es la evaluación de ocurrencias temporales de terremotos en un periodo de tiempo dado. Aunque se recomienda usar sólo con terremotos fuertes, ya que presenta mayor efectividad, lo cierto es que su uso se ha extendido a cualquier tipo de evento sísmico, presentando una buena significación estadística en eventos con menor magnitud, con tasas de ocurrencias menores a 1 año entre cada evento (Min-Hao et al., 2019).

Min-Hao et al. (2019), también sugieren el uso de la distribución de Weibull para modelar los eventos sísmicos, pero al ser un estudio relativamente nuevo, y considerando además que es una distribución menos ocupada en la actualidad no se utilizará en esta oportunidad.

2.6 Ley de Gutenberg-Richter.

En el año 1944, Gutenberg y Richter propusieron una ley que permite cuantificar la relación frecuencia - magnitud, la que actualmente se conoce como Ley de Gutenberg-Richter o

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

Distribución de frecuencia - magnitud. Esta indica que a mayor magnitud tenga un evento sísmico, menos frecuente será. Su fórmula es la siguiente:

$$\log_{10} N = a - bM$$

Donde N es la cantidad de sismos sobre una cierta magnitud M (Gutenberg & Richter, 1944). El valor b describe la distribución de tamaño relativo de los eventos y es uno de los valores fundamentales para el análisis de peligros y la comprensión física (Felzer, 2006).

Una de las mejores formas de calcular dicho valor es a través del método EMR diseñado por Woessner & Wiermer (2005) y cuya metodología se usará para calcular el indicador. La propuesta de este método se basó en los trabajos de Aki donde se obtuvo una estimación del valor de b y los límites de confianza (Aki, 1965).

2.7 Matriz de contingencia.

La matriz de contingencia (Figura 1) es un sistema de evaluación de desempeño, que mide la tasa de aciertos (TP), falsas alarmas (FP), fallas (FN) y negativos correctos (TN) de un determinado sistema. Consiste en comparar los resultados del sistema a evaluar con sus correspondientes respuestas. Es decir, si el sistema indica un resultado positivo y este resulta ser cierto, se toma como verdadero positivo (TP) o acierto, si no resulta ser cierto, entonces incurrirá una falsa alarma (FP), por el contrario, si se señala un resultado como negativo, y este es correcto, se toma como un negativo correcto (TN), de lo contrario es una falla (FN). (Fawcett, 2005)

| | | | |
|----------------|-----|--------------|------|
| | | Valor actual | |
| | | P | N |
| Valor estimado | T | TP | FP |
| | F | FN | TN |
| | | P | N |

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

Figura 1: Matriz de contingencia y métricas asociadas (modificado de Fawcett, 2005). TP: True Positive (Acierto), FP: False Positive (Falsa alarma), FN: False Negative (Fallido), TN: True Negative (Negativo correcto). Fuente: (Estay, 2014)

Lo que se aspira lograr con este sistema es minimizar las fallas, dado que son los resultados más caóticos, debido al riesgo que conlleva.

Las matrices de contingencia sirven para clasificar los indicadores de acuerdo con el valor actual (o real) y el estimado (o esperado) que estos van adquiriendo o se espera que adquieran. Para esto se utilizan las métricas TPR (Tasa de aciertos, *True Positive Rate* en inglés)

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

y FPR (Tasa de falsas alarmas, *False Positive Rate* en inglés) donde, el TPR evaluará cuántas alarmas fueron lanzadas comparado a las que debiesen haber sido lanzadas, mientras que FPR evaluará cuántas alarmas fueron lanzadas cuando no debía existir alarma alguna.

En 1884, Peirce propuso el *Peirce Skill Score (PSS)* el cual facilita la evaluación de efectividad del protocolo de alerta. Su formulación es la siguiente:

$$PSS = TPR - FPR$$

Dicho valor, al comparar la tasa de aciertos con la de falsas alarma, provoca que el usuario pueda obtener una buena referencia de cuan confiable es el indicador. Si el valor es cercano a 1, entonces se tendrá una buena tasa de acierto, y una muy baja de falsos negativos, creando un mayor peso de la tasa de aciertos. A su vez, un valor muy cercano a -1 , tendrá un efecto contrario con una gran tasa de falsas alarmas, lo que indicará que las alarmas enviadas no tengan la confianza adecuada. Por último, un valor muy cercano a 0, indicará una aleatoriedad similar a lanzar una moneda.

En palabras más simples, el PSS compara las alarmas activadas cuando realmente correspondería, con las que se activaron cuando no correspondería, dando así un índice de confiabilidad del indicador. Para un caso ideal, $TPR = PSS = 1$ y $FPR = 0$.

2.8 Python:

Si bien ya se ha hablado de temas para contextualizar el ámbito minero, también es necesario contextualizar las tecnologías que usarán para el desarrollo de esta aplicación. En este caso, Python.

Python es un lenguaje de programación interpretado, cuya filosofía se basa en la legibilidad de su código. Se trata de un lenguaje de programación multiparadigma, ya que soporta parcialmente la orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, dinámico y multiplataforma.

El hecho de que sea multiplataforma lo hace ideal para el desarrollo de la aplicación propuesta, dado que asegura su funcionamiento en todos los sistemas operativos. Por otro lado, cuenta con una gran cantidad de librerías usables tanto para el desarrollo de la interfaz, como para el desarrollo del mecanismo interno del sistema, incluyendo entre estas, librerías para el manejo de regresiones logísticas, como se planea incluir a modo de valor agregado a la aplicación.

Dentro de las aplicaciones más famosas que utilizan Python se encuentran, JetBrains, GitHub, Facebook, Google, IBM Q, The Pokémon Company, Nvidia Corporation, Netflix, entre otros (Python, 2020).

2.9 Software en minería.

En cuanto a software en minería se refiere, se han encontrado distintos tipos de programas que ayudan en variadas áreas en la minería. Desde programas como AVIT ED, el cual entrena al futuro minero y lo capacita, pasando por programas que ayudan al modelado de la mina, entre otros. Dentro de los softwares utilizados actualmente en minería, estos se podrían clasificar en:

- **Software de modelado:** Estos softwares están enfocados en brindar herramientas para el modelado 2D y/o 3D de la mina, de esta forma brinda a los trabajadores acceso a mapas, planos y otros tipos de estudios sobre la superficie de la mina. Algunos de los programas encontrados para este ámbito, incluso han llegado a brindar soporte para exploración de la mina, describiendo de texturas y profundidades, control en tiempo real incluso desde plataformas externas por medio de internet.

Dentro de los programas de este estilo se encuentran softwares como **Surfer**⁵, diseñada por GoldenSoftware; **GEOVIA Surpac**⁶, diseñada por 3DS; **Datamine Discover Suite**⁷, diseñada por Datamine; y otras diseñadas por empresas chilenas como podrían ser **VReport360**, diseñada por Austral3D⁸ o **TIMining Aware**⁹, diseñada por TIMining, entre otros.

- **Análisis de negocio:** Estos programas entregan herramientas para el manejo de la parte financiera de la mina, ayudando incluso a crear y probar modelos predictivos del progreso financiero que tendrá la mina, estimar valores y ganancias, ente otros.

Dentro de los programas que caben en esta categoría, se podría encontrar **XL Miner**¹⁰, diseñada por Solver o **AMT**¹¹, diseñada por RPM Global.

- **Simulación de aguas subterráneas:** Existe un grupo de aplicaciones dedicadas al estudio y simulación de las aguas que corren subterráneamente, esto ayuda en las construcciones y excavaciones que pueden ejercerse en un cierto lugar.

Dentro de las aplicaciones de este estilo tenemos **Groundwater Modeling**¹², diseñada por AquaVeo; o los productos diseñados por RocScience¹³, los cuales proporcionan dicha funcionalidad en vario de sus productos.

- **Perforaciones y voladuras:** Este tipo de programas, se encargan de ayudar a determinar la cantidad precisa de explosivos para la excavación en diversos tipos de suelo. Dichas excavaciones pueden ser subterráneas, como a tajo abierto, incluyendo en

⁵ <https://www.goldensoftware.com/products/surfer>

⁶ <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/geovia/productos/surpac/>

⁷ <https://www.dataminesoftware.com/es/solutions/mapinfo-discover-gis-de-exploracion/>

⁸ <https://www.austral3d.com/>

⁹ <https://timining.com/es/software/timiningaware/>

¹⁰ <https://www.solver.com/xlminer-textbook-license>

¹¹ <https://www.rpmglobal.com/software/amt/>

¹² <https://www.aquaveo.com/software/gms-groundwater-modeling-system-introduction>

¹³ <https://www.roscience.com/>

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

algunos casos, estudios para taludes de forma segura y la comparación entre lo planificado y lo obtenido.

Entre estas aplicaciones encontramos **BIMS**¹⁴, desarrollado por MineExcellence; **Gconciliation**¹⁵, desarrollada por GeoBlast, o SCIT¹⁶, desarrollada por TIMining.

- **Registro de temblores y eventos sísmicos:** La finalidad de este tipo de aplicaciones es, como su nombre lo dice, medir y registrar cualquier evento telúrico que ocurra en la mina en tiempo real, sea este provocado por excavaciones internas o por temblores externos.

Dentro de este grupo se encuentran aplicaciones como **BIMS**, mencionada en el punto anterior; los productos **GeoBank**¹⁷, desarrollados por MicroMine o el producto chile **GB_Cloud**¹⁸, desarrollado por GeoBlast.

- **Logística:** Este tipo de aplicaciones permiten a la administración planificar, registrar, rastrear, optimizar, contabilizar, conciliar e informar el tonelaje, la calidad y el valor de los materiales desde la mina hasta el punto de exportación o consumo.

Algunas aplicaciones que cumplen con este objetivo son **CXL Pit or Port**¹⁹, desarrollada por TriplePoint y **Orchestra**²⁰, desarrollada por TIMining.

- **Gestión de personal:** Estas aplicaciones están destinadas a la gestión del trabajo para ayudar a los trabajadores manuales a gestionar sus procesos, personas y equipos de primera línea. Su principal función es optimizar el manejo del personal, así como la duración de los turnos y así manejar mejor los proyectos.

La única aplicación encontrada en la investigación fue **Fewzion**²¹, desarrollada por Commit.Works

- **Inmersión de alumnos: AVIT Mining**²², es el primer simulador virtual gamificado para entrenamiento minero y capacitaciones inmersivas. Está descrita como una plataforma similar a la de un video juego, en donde el operario y/o alumno es capaz de aprender procedimientos de operación, mantenimiento y seguridad en una faena virtual. De momento no se han encontrado otras aplicaciones que hagan la misma labor.

¹⁴ <https://www.mineexcellence.com/blast-information-management-system/>

¹⁵ <https://geoblast.cl/software-gconciliation/>

¹⁶ <https://timining.com/es/software/sict/>

¹⁷ <https://www.micromine.com/geobank-mining-software/>

¹⁸ <https://geoblast.cl/plataforma-gbcloud/>

¹⁹ <https://www.tpt.com/products/pit-to-port/>

²⁰ https://timining.com/es/software/orchestra_/

²¹ <https://www.commit.works/fewzion/>

²² <https://www.austral3d.com/>

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

- **Estudios de suelo:** Este tipo de aplicaciones, se basa en sensores ubicados en la perforadora para estimar la dureza y resistencia de la roca. Una de las herramientas que cumplen este formato es **GBlast**²³, de GeoBlast.
- **Estudios de sismicidad:** Las aplicaciones existentes de este tipo, se dedican a monitorear la actividad micro-sísmica de la mina, estimando los parámetros micro-sísmicos y representando gráficamente la distribución espacial y temporal de la sismicidad. Las herramientas que cumplen este formato son los softwares diseñados por **ESG Solutions**²⁴ y por el **IMS**²⁵.

La investigación realizada involucró a las aplicaciones más reconocidas del mercado, tanto de industrias nacionales como del extranjero. Aun así, no se ha encontrado indicio de aplicaciones que estudien indicadores sísmicos, como es el problema que se busca resolver. Además, hay que aclarar que las clasificaciones fueron asignadas durante el desarrollo de la memoria, con tal de agruparlas de una manera entendible, sabiendo que existen aplicaciones que pueden abarcar más de una clasificación.

Considerando esto, y siguiendo la investigación realizada por Estay (2014), es factible realizar un sistema que continúe con su investigación y la haga accesible para el uso general en la minería, permitiendo construir y evaluar indicadores con los datos obtenidos desde los sistemas de monitoreos de la mina. Esto puede significar un gran aporte en la minería, debido a que se estaría brindando una herramienta para realizar esta labor no despreciable en el mundo de la minería, y que, además, aparentemente no hay indicios de su existencia.

²³ <https://geoblast.cl/gblast/>

²⁴ <https://www.esgsolutions.com/>

²⁵ <http://www.imseismology.org/>

CAPÍTULO 3: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1 Requerimientos principales.

A continuación, se listan los principales requerimientos de la aplicación a desarrollar, que posteriormente serán analizados y se les dará una solución en el capítulo siguiente:

- **Obtención de datos:**

El programa que se propone deberá constar de un sistema de lectura de catálogos sísmicos, los que estarán ordenados en tablas y servirán para estudiar la sismología del lugar. Los archivos, de momento, estarán en formato CSV o Matlab.

Estos archivos contendrán información relevante de los sismos, tales como ubicación, fecha del evento y magnitud de este, valores que serán utilizados para la creación y posterior evaluación de los indicadores.

- **Creación de indicadores:**

El programa debe ser capaz de calcular indicadores sísmicos con los datos leídos, permitiendo al usuario asignar la configuración que tendrá el indicador deseado, con tal de permitir la posterior evaluación y/o estudio correspondiente. Los indicadores estarán previamente implementados en la aplicación.

- **Visualización de indicadores:**

Una vez creado el indicador, el programa debe proporcionar alguna metodología para la visualización de este, por medio de gráficos, dado que el programa también servirá para el estudio de los indicadores creados tanto numérica como visualmente, permitiendo una visualización cómoda y manipulable del indicador en cuestión. Los gráficos deben ser claros y precisos al momento de mostrar el comportamiento del indicador para no perjudicar el estudio de este.

- **Almacenado de gráficos:**

El programa, además de crear los gráficos, estos deben permitir su exportación, con tal de ofrecer al usuario la posibilidad de estudios posteriores de los gráficos creados. Se debe permitir, además, registrar tanto los gráficos completos como las secciones de gráfico creadas mediante acercamientos.

- **Evaluación de indicadores:**

Una vez creado los indicadores, el programa debe ser capaz de evaluarlos para medir su desempeño. Para esto último se utilizará la comparación entre las alertas generadas por el indicador, y la ocurrencia de un evento en un rango de tiempo futuro, desde el lanzamiento

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

de la alarma. Estas estarán representadas en una matriz de contingencia, con tal de obtener su TPR, FPR y PSS, y así poder simplificar la evaluación para el usuario.

- **Exportación de datos:**

Para el usuario de la aplicación será importante el estudio del indicador, por lo tanto, será necesario que el programa permita exportar cada valor calculado, al menos del último indicador calculado, con tal de permitir que la aplicación se convierta en una herramienta para el estudio de indicadores sísmicos.

Los datos deberán estar ordenados de una manera legible para que el usuario pueda leerla y manipular a voluntad.

- **Guía de usuario:**

El programa como tal, debe proveer algún mecanismo de enseñanza de utilización para el usuario, en caso de que no sepa cómo utilizar alguna sección del programa. Dicha guía debe estar disponible en todo momento mediante algún formato online u offline al que el usuario pueda acceder siempre que necesite.

- **Consideraciones adicionales:**

Para que el programa tenga sentido, este debe ser capaz de calcular, y posteriormente evaluar, distintos indicadores sísmicos. Para esta oportunidad se plantea utilizar el Indicador b v/s tiempo, y el Criterio de frecuencia de eventos. Estos no son los únicos indicadores sísmicos, y no todos tienen la mismas fortalezas y debilidades.

Tomando el párrafo anterior, cabe mencionar que se recomienda usar más de un indicador sísmico en cada mina, esto debido a la imprecisión que pueda presentar uno por sí solo. Esto se menciona para destacar el hecho de calcular dos indicadores sísmicos y no sólo 1. Aunque es cierto, que en el futuro el programa deberá ampliar el catálogo de indicadores sísmicos posibles para su cálculo y posterior evaluación.

Además, se propone incluir como valor agregado que una vez calculado el Indicador b v/s tiempo, el programa sea capaz de crear una regresión logística que posea la facultad de clasificar eventos sísmicos que puedan ser potencialmente peligrosos para los trabajadores, equipamiento y estructuras, utilizando los valores del indicador y la clasificación. Esta regresión será estudiada para en un futuro permitir su uso y que esta actúe como indicador sísmico.

3.2 Diseño de la solución

Identificado ya los problemas y las consecuencias que éstos traen a la empresa minera, sumado a los requerimientos recién estudiados, se plantea una aplicación de escritorio que sirva para evaluar el desempeño de los indicadores sísmicos implementados.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

3.2.1 Interfaz

Para el desarrollo de esta aplicación, y tratándose de una primera versión del programa, no se necesita una interfaz tan elaborada, sino que se debe centrar el desarrollo en implementar las funcionalidades principales de la aplicación, por lo que en esta ocasión la interfaz puede pasar a un segundo plano, usándose únicamente como una herramienta de entrada de datos. Aun así, la interfaz debe ser lo suficientemente intuitiva para el usuario objetivo.

Considerando el párrafo anterior, se procurará que los gráficos mostrados en la aplicación sean claros, atractivos y manipulables, para que el usuario pueda manejarlos a voluntad. De forma similar, la ayuda mostrada será por medio de un PDF, al no contar con una página web de momento.

3.2.2 Cálculo de indicadores.

El cálculo de indicadores es una de las tareas principales de la aplicación. Para un primer desarrollo se decidió implementar los indicadores de Indicador b v/s tiempo y el Criterio de frecuencia de eventos.

La decisión de desarrollar dos indicadores radica también en la recomendación de utilizar más de un indicador por mina, debido a la confiabilidad que estos poseen.

3.2.2.1 Indicador b v/s tiempo

Este indicador mide la variación temporal del valor de b de la ley de Gutenberg-Richter. Para calcular el indicador se necesita obtener del conjunto total de datos L , un subconjunto de datos l , de tamaño m , con la cual se calculará el valor de b en un tiempo t_i . Posterior a eso se realizará otro subconjunto del mismo tamaño, moviendo los valores iniciales y finales en un valor Δl , obteniendo un nuevo valor de b en un nuevo tiempo t_i . Este procedimiento se realizará hasta recorrer todo el arreglo original de datos, generando varios valores de b en el tiempo, los cuales se compararán con un valor crítico b^* , donde existirá un estado de alerta cuando el valor del indicador b sea menor o igual a este. La Figura 2 ilustra el procedimiento aquí descrito y que se propone utilizar para el cálculo del presente indicador.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

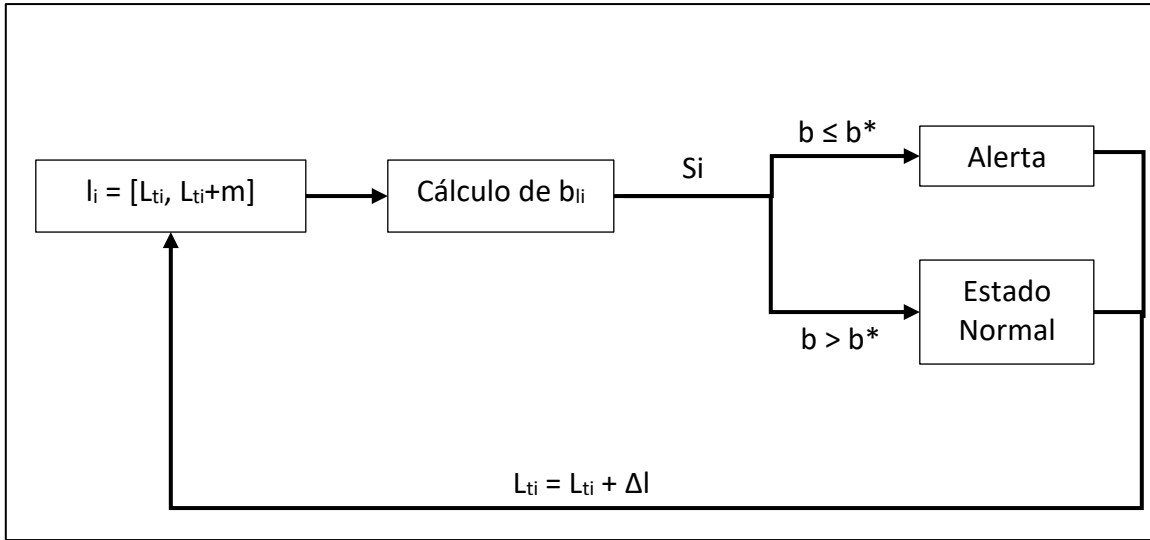


Figura 2: Diagrama que muestra el protocolo de alerta utilizado para los indicadores b v/s tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción del indicador en el programa, se cuenta con un arreglo L de datos de tamaño $M \gg m$, donde se calculará el valor de b con los primeros m datos, este valor de m será llamado como **tamaño del grupo de estudio** en la interfaz, y una vez calculado el valor de b con esta cantidad se desplazarán los índices en un valor de Δl datos. Dado que este valor indica la cantidad a desplazar se le denominará **valor de desplazamiento** en la interfaz creada, y una vez ocurrido este desplazamiento se volverá a calcular el valor del indicador, esta vez con un nuevo arreglo del mismo tamaño del grupo de estudio, pero con los índices en t_i y $t_i + m$. Luego se repite la operación hasta recorrer todo el arreglo de datos.

Con tal de obtener el mejor rendimiento del indicador, el cálculo de b^* se realizará una vez obtenido todos los valores de b del arreglo, evaluando en los valores por los que se moverá el indicador, y se registrará el valor que presente un mejor desempeño del indicador, maximizando el PSS. Por esto y para permitir que el usuario sea quien maneje la precisión del cálculo, se definirá una variable en la aplicación que represente la **amplitud del intervalo de búsqueda** que representará la separación entre los distintos valores por los que se mueva el b crítico, es decir, si el rango de búsqueda es entre 1.0 y 2.0, el usuario podrá decidir si la búsqueda será con valores separados cada 1 décima (en este ejemplo 1.0, 1.1, 1.2, ..., 1.9, 2.0) o separados por 1 centésima (en este ejemplo 1.01, 1.02, 1.03, ..., 1.99, 2.0).

Por último, y también pensando en el diseño de la interfaz, se deberá solicitar el valor de la magnitud mínima, que representará el límite inferior desde el cual se considerarán las magnitudes, y el valor del bin, el cual representa el ancho de cada barra del histograma, el cual se utiliza para saber entre qué valores contar, y así saber su frecuencia. Su valor recomendado es 0.1 y es el que se usará durante la posterior evaluación.

3.2.2.2 Criterio de frecuencia de eventos

Este criterio, conocido como CFE, consiste en monitorear si el indicador se encuentra dentro de los parámetros considerados normales o no. Para eso, se calculan dos bandas (una superior y otra inferior). Si el indicador está dentro de las bandas, se considera un estado normal. Si el indicador se encuentra fuera de las bandas (por arriba o por abajo), se considera un estado de alerta. La Figura 3 muestra un ejemplo del comportamiento del indicador con datos reales.

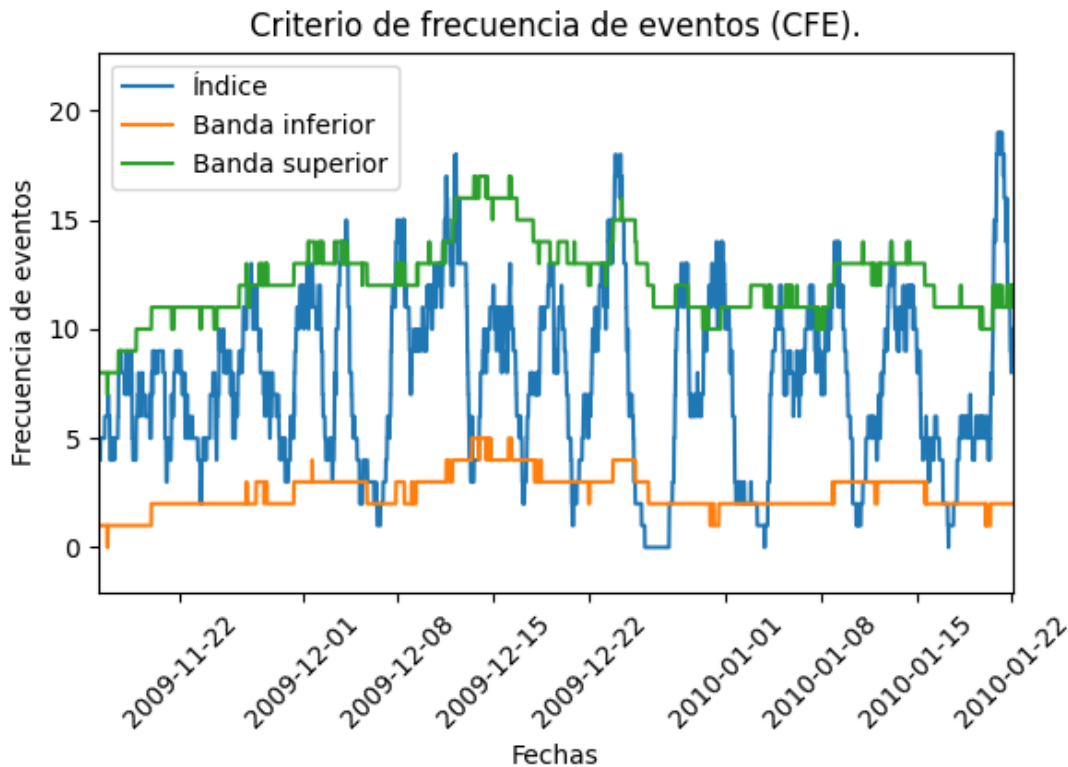


Figura 3: Ejemplo de indicador CFE en ejecución, donde se visualizan ambas bandas y el valor del índice.
Fuente: Elaboración Propia.

El indicador, $I_{\Delta t_1}$ (curva azul en la Figura 3), se calcula contando la cantidad de eventos registrados en un determinado tiempo Δt_1 , típicamente con duración de un día (indicador diario). Adicionalmente se calcula el indicador semanal, $I_{\Delta t_2}$, que corresponde al número de eventos que ocurrieron en un período $\Delta t_2 = 7$ días. Dado que ambos indicadores necesitan de su respectivo tiempo para el cálculo, en la interfaz los tiempos se conocerán con los mismos nombres, es decir, **período de tiempo t1** y **período de tiempo t2**.

Para el caso de las bandas (curvas verde y naranja de la Figura 3), estas se calculan utilizando una distribución de Poisson acumulada, asignando percentiles, por ejemplo, de 2% para la banda inferior y 95% para la banda superior. Estas bandas representan el número de eventos sísmicos que se espera que ocurran dentro de la semana, con una probabilidad de 2% y

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

95%. En otras palabras, existe un 98% probabilidad de que el número de eventos semanas se encuentre por sobre la banda inferior y un 5% de probabilidad de que se encuentre por sobre la banda superior. En la interfaz, los porcentajes serán llamados **porcentaje de límite inferior** y **porcentaje de límite superior** respectivamente.

Cada uno de estos valores, es calculado usando una tasa de actualización t_a , con $t_a \ll \Delta t_1$ que en esta ocasión es de 15 minutos. Tanto Δt_1 como Δt_2 se miden desde el valor actual de la tasa de actualización hacia atrás, por lo que el indicador mide lo que está pasando y lo compara con lo ya ha ocurrido hasta el momento (Estay, 2014). En el programa se solicitará de un valor para esta **tasa de actualización**.

La Figura 4 se muestra el diagrama para definir el criterio de alerta para los indicadores frecuencia de eventos:

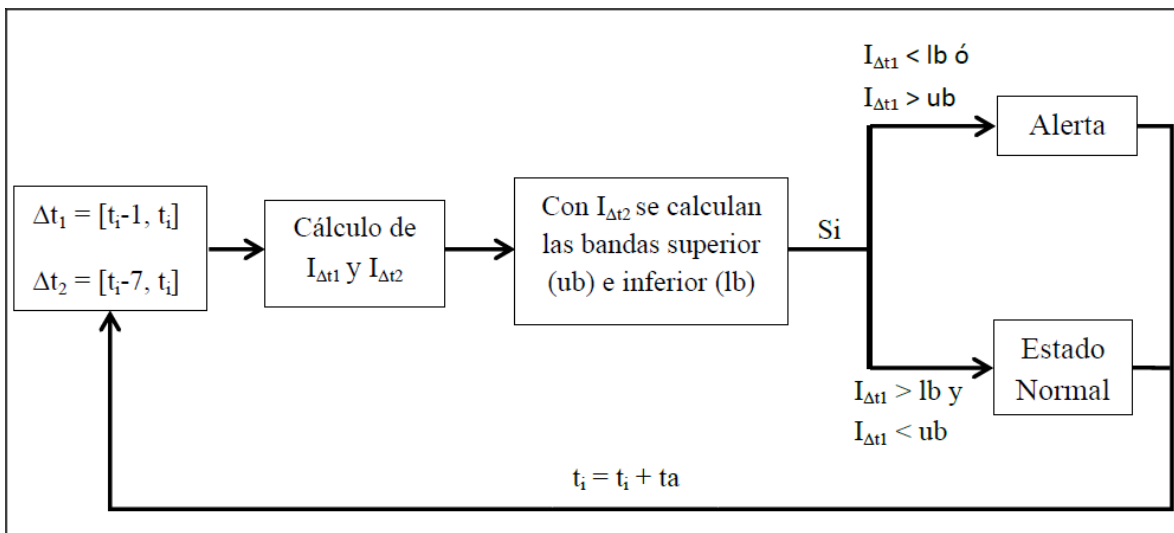


Figura 4: Diagrama que muestra el protocolo de alerta utilizado para los indicadores frecuencia de eventos. Fuente: (Estay, 2014).

3.2.3 Evaluación del desempeño de indicadores:

Para evaluar el desempeño de los indicadores generados por el software, se implementará una sección en el mismo programa que cumpla con el objetivo de evaluación para cada uno. Cada sección de evaluación entregará sus resultados usando una matriz de contingencia, la cual se encarga de medir la cantidad de aciertos (T) y fallas (F) que tenga el indicador generado con los datos reales de eventos sísmicos mayores a una cierta magnitud determinada por el usuario, la que se conoce como magnitud relevante.

Para lograr esto, se utilizará una matriz de contingencia, al igual que los valores del TPR, FPR y PSS descritos en la sección 2.7.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

En este caso en particular, la matriz de contingencia determina la eficacia de un estado de alerta frente a una alerta real. Tanto para el Indicador b v/s tiempo, como para el CFE, el procedimiento que se describe a continuación es similar (Estay, 2014):

1. En un tiempo t_i se determina si el indicador se encuentra en alerta o no.
2. Se verifica la ocurrencia de algún evento de magnitud relevante en un tiempo $t_i + \Delta t_f$.
3. Se asigna un valor igual a uno al escenario correspondiente de la matriz de contingencia, según los siguientes criterios:
 - 3.1. Si el indicador se encuentra en estado de alerta en t_i y ocurre un evento de magnitud relevante en $t_i + \Delta t_f$, entonces $TP_i = 1$.
 - 3.2. Si el indicador se encuentra en estado de alerta en t_i y no ocurre un evento de magnitud relevante en $t_i + \Delta t_f$, entonces $FP_i = 1$.
 - 3.3. Si el indicador se encuentra en estado de normal en t_i y ocurre un evento de magnitud relevante en $t_i + \Delta t_f$, entonces $FN_i = 1$.
 - 3.4. Si el indicador se encuentra en estado de normal en t_i y no ocurre un evento de magnitud relevante en $t_i + \Delta t_f$, entonces $TN_i = 1$.
4. Se actualiza el tiempo, es decir, $t_i = t_i + \Delta t$ y se vuelve al punto 1.

Mediante este método es posible asignar puntajes a los escenarios de la matriz de contingencia que dependen del número de veces que se repite cada escenario en la ventana Δt_f , sumando el total de valores TP_i , FN_i , FP_i y TN_i obtenidos. Cabe señalar, que el Δt usado en el programa, corresponderá al usado para crear el indicador CFE, de lo contrario no tiene sentido evaluar con otro tiempo.

Para el indicador b v/s tiempo, el único paso distinto es el 4, dado que este no se construye en base al tiempo transcurrido, sino a la ocurrencia de eventos. También es necesario aclarar, que el valor Δt_f , será conocido como **tiempo de validación t_f** en la aplicación, con tal de que el usuario sea quien determine su valor.

Una vez obtenidos los valores de la matriz de contingencia, se procederá a calcular su TPR, FPR y posteriormente su PSS.

3.2.4 Regresión logística

La propuesta de uso de la LR, en esta aplicación, de momento, será la de investigación de la efectividad de esta en la detección de eventos sísmicos. De poseer una efectividad mayor a la de los indicadores evaluados, podría en un futuro implementarse un sistema que prediga eventos basados en la data histórica de la mina. Esto principalmente a que no se cuentan con varios catálogos sísmicos para poder tomar una decisión mientras se desarrolla esta memoria, además que el proyecto se enfoca en la evaluación de indicadores sísmicos, y no en la predicción de eventos sísmicos, tomando más tiempo de desarrollo la inclusión de un predictor en la aplicación. Aun así, las regresiones serán optimizadas utilizando el p-valor, cómo se describió en la sección 2.4, siguiendo el ejemplo descrito además por Vallejos y

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

McKinnon (2013). Este procedimiento incluso podría ayudar a descubrir patrones en el uso de atributos en la predicción de temblores en investigaciones futuras.

Para su implementación será necesario que el usuario indique los valores del tiempo en el que se espera que ocurra un evento relevante, y el porcentaje de datos que se usarán para la calibración de la regresión, asumiendo que el porcentaje restante se usará para la validación de la regresión. Estos valores serán conocidos como **tiempo a considerar** y **porcentaje de calibración** respectivamente.

3.2.5 Almacenamiento de información

Para poder cumplir con los requerimientos de almacenamiento, tanto de los datos como de los gráficos, se desarrollarán distintos mecanismos para cada objetivo. En el caso del gráfico, se deberá incluir una funcionalidad para el almacenaje de la imagen mostrada actualmente en la pantalla, mientras que, para los datos, se recurrirá a un almacenaje por medio de archivos de texto, donde se incluirán todos los datos recién calculados, permitiendo utilizar dicha funcionalidad las veces que sean necesarias, creando distintos archivos en cada ocasión.

3.3 Descripción de los datos

Los datos con los que se trabajarán corresponden a datos sismológicos recolectados de dos minas: la mina Bobrek, ubicada en Polonia, y una mina en Chile. El uso de datos provenientes de dos minas distintas ayudará en evitar un sesgo por algún orden específico de datos, y de la misma forma, evitará que el programa presente algún sesgo por la sismicidad inducida particular de una mina.

No está de más mencionar en esta oportunidad, que para desarrollar la aplicación se trabajará con los mismos 2 archivos, tanto en formato CSV como en formato Matlab para poder satisfacer el requerimiento de universalidad de catálogos sísmicos.

La mina Bobrek, corresponde a una mina de carbón duro ubicada en la ciudad de Bytom, en el área de la USCB, Polonia. La USCB constituye una de las áreas mineras de mayor actividad sísmica del mundo, con casi 56.000 temblores mineros de energía $E > 10^5$ J registrados entre 1974 y 2005 (Leptokaropoulos, et al., 2017).

Los datos con los que se trabajarán en esta oportunidad corresponderán a 2.996 datos recolectados entre el 12 de abril del 2009 y el 07 de julio del 2010, donde se lista tiempo (fecha y hora), posición geográfica, magnitud y energía de los distintos sismos.

En cambio, los datos de la mina chilena corresponden a 58.269 datos recolectados entre el 01 de enero del 2010 y el 01 de enero del 2011, donde se lista la hora, fecha, posición

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

geográfica, momento sísmico, energía, magnitud, entre otros parámetros de los eventos sísmicos medidos.

CAPÍTULO 4: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

El programa que se implementó fue desarrollado en Python 3, debido a la eficiencia del lenguaje de programación, el hecho de que sea multiplataforma y la extensa variedad de librerías que posee. Dentro de estas librerías, se encuentran algunas que servirán para crear la interfaz de usuario, como otras para el manejo de la regresión logística.

4.1. Descripción del programa.

El programa consta de una interfaz compuesta de varias secciones, cada una de estas desplegable a voluntad del usuario, donde cada sección inicia habilitada o no, dependiendo de sus requerimientos previos. Por ejemplo, si existe una sección de evaluación de un indicador, sólo será habilitada si el indicador ha sido calculado previamente.

Al momento de mostrar resultados u otros mensajes, estos son desplegados en la misma interfaz, lo que hace al programa muy compacto.

El programa, a pesar de ser teóricamente usable en cualquier sistema operativo, sólo ha sido probado en Windows, por lo que se desconoce su operatividad en los otros sistemas operativos.

La Figura 5 muestra la interfaz del programa implementado:

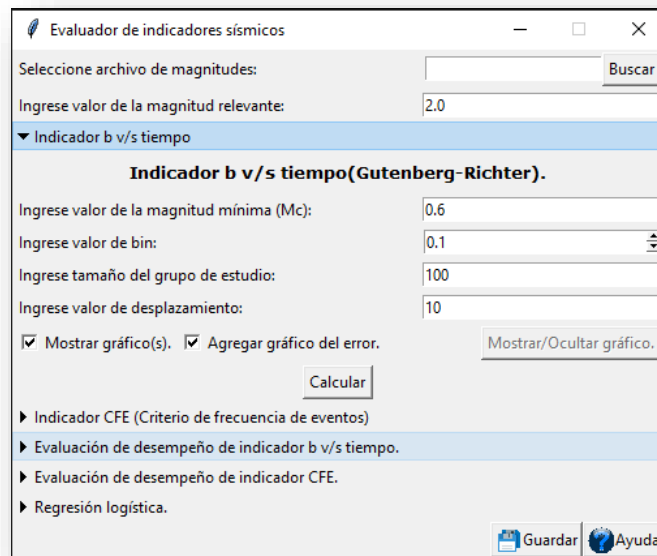


Figura 5: Interfaz diseñada para el programa propuesto. Cada sección puede contraerse o desplegarse cuando el usuario estime conveniente.

Fuente: Elaboración Propia.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

Como se puede ver en la Figura 5, cada una de las secciones desplegadas inician de manera oculta a excepción de la primera, debido a que la primera acción del usuario será la de seleccionar el archivo que contenga las tablas de datos, y crear los indicadores. En este caso se crearán el Indicador b v/s tiempo y/o el Criterio de frecuencia de eventos explicados en la sección 3.2.2. Adicionalmente se pueden apreciar los botones de Guardar y Ayuda, que facilitan el trabajo del usuario.

Con respecto a la creación de indicadores, el programa solicita los datos de configuración del indicador deseado, para luego crearlo. Este presenta la opción de mostrar instantáneamente el gráfico del indicador, o si lo desea, el usuario puede mostrar u ocultar el gráfico una vez calculado el indicador.

Sobre el gráfico recién mencionado, hay que destacar el hecho de que presenta controles para su manipulación. Dentro de estos, se ve el de acercamiento, el del movimiento de este y el botón de guardado de alguna pantalla deseada. También existe el botón con ícono de casa, que permite volver a la vista inicial, después de ocurridas una serie de visualizaciones anteriormente.

Como valor agregado, se implementó una regresión logística, que utiliza los valores del indicador b, los de la energía acumulada en el mismo período y su respectiva clasificación para poder estimar una ecuación logística y posteriormente evaluar su desempeño.

La ecuación logística encontrada, consta sólo de los coeficientes que signifiquen un aporte para la regresión, basados en el p-valor utilizado para el cálculo del resultado. El valor de estos p-valores indican la significancia estadística que tienen los parámetros al momento de estimar los coeficientes de la regresión.

Para la evaluación de este software, se realizará una revisión de las historias de usuario creadas en base a los requerimientos que debiese cumplir el sistema.

4.2. Validación de funcionalidades.

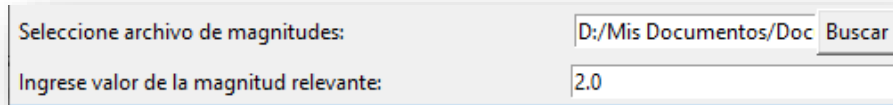
4.2.1. Lectura de archivos.

“Como usuario, quiero leer los catálogos sísmicos, para poder realizar estudios con los datos históricos de la mina.”

Si bien el objetivo específico menciona cualquier catálogo sísmico, esto será entendido como cualquier archivo que contenga una estructura predeterminada, la cual debe tener una distribución en tablas, es decir en filas y columnas, y que además cada columna posea sus respectivos títulos, el archivo además debe poseer datos del instante, energía y magnitud pertenecientes a los distintos sismos. Por lo que para este requerimiento se ha implementado una sección de búsqueda de archivos, la cual lee archivos en formato CSV o Matlab, que son los formatos con los que se trabajará en esta oportunidad, sabiendo que

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

posteriormente se podrían agregar nuevos tipos de formatos. El sistema busca el archivo y obtiene la ruta para acceder a este.



The image shows a search interface with two input fields. The first field is labeled "Seleccione archivo de magnitudes:" and contains the text "D:/Mis Documentos/Doc" followed by a "Buscar" button. The second field is labeled "Ingrese valor de la magnitud relevante:" and contains the value "2.0".

Figura 6: Sección de la interfaz encargada de la búsqueda de archivos, donde se solicitan la dirección del archivo y la magnitud relevante para este.

Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 6 muestra la sección del programa encargada de la búsqueda y selección del catálogo sísmico a ocupar. También muestra la ruta del archivo una vez seleccionado comprobando su funcionamiento. La lectura correcta de archivos se comprobará más adelante, cuando se ocupen los datos para crear algún indicador. Por otro lado, la Figura 7, muestra la ventana de búsqueda que se abre al momento de buscar un archivo.

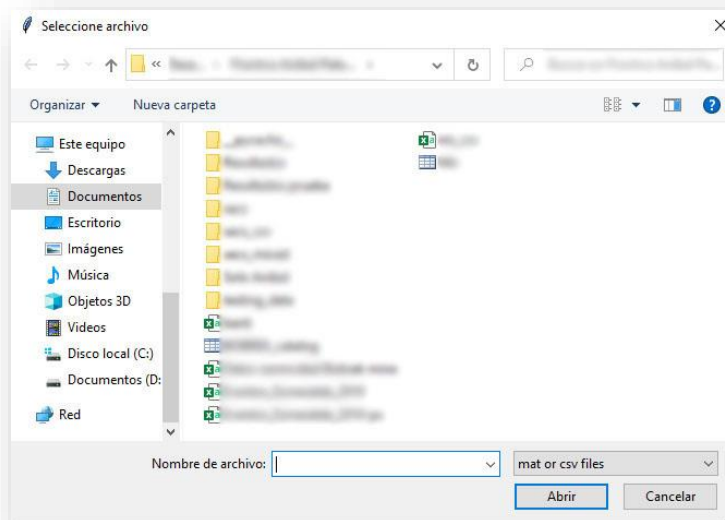


Figura 7: Ventana de búsqueda de archivo.

Fuente: Elaboración Propia.

En esta ventana se muestra cómo solamente pueden ser seleccionados, de momento, documentos en formato CSV o Matlab. La ventana puede ser configurada para buscar ambos tipos de archivos a la vez, como cada uno por separado, esto dependiendo de la necesidad del usuario y/o de la cantidad de archivos que se posean.

En la Figura 6 también se solicita la magnitud que se considera relevante, si bien esto no es útil en ese momento, tanto para la validación del Indicador b v/s tiempo como para la del

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

Criterio de frecuencia de eventos, es necesaria y se ocupa el mismo valor para ambos indicadores, así que aprovechando que este sector siempre está visible, se decidió dejar esta entrada en ese lugar para poder utilizar posteriormente en cualquiera de las secciones recién descritas.

Para probar la lectura se utilizaron ambos archivos en todos los formatos que se poseían, probando que puede leer archivos CSV y Matlab, sin importar además si poseen 3.000 datos o 58.000, donde esta funcionalidad y las posteriores se probaron utilizando primero el catálogo sísmico con 3.000 datos para luego probar la misma funcionalidad con el catálogo más extenso.

4.2.2. Generar indicadores.

“Como usuario, quiero generar un indicador sísmico para poder estudiar su comportamiento actual y en el pasado para así tomar decisiones operativas.”

Para este requerimiento se han implementado dos secciones que cumplen con la petición. Cada una sirve para crear un indicador distinto de los descritos en la sección 3.2.2, conservando los nombres descritos en dicha sección. La Figura 8 muestra la porción de la interfaz destinada a la creación del indicador b v/s tiempo, existiendo otra sección similar para el indicador CFE. Como se muestra en la Figura 8, cada sección solicita los valores necesarios para poder generar el indicador deseado, usando los nombres mencionados en el subcapítulo 3.2.2.

▼ Indicador b v/s tiempo

Indicador b v/s tiempo(Gutenberg-Richter).

Ingrese valor de la magnitud mínima (Mc): 0.6

Ingrese valor de bin: 0.1

Ingrese tamaño del grupo de estudio: 100

Ingrese valor de desplazamiento: 10

Mostrar gráfico(s). Agregar gráfico del error.

Figura 8: Sección de la interfaz destinada a la creación del indicador b. Cada sección solicita distintos valores de atributos, en este caso magnitud mínima, bin o ancho de cada barra del histograma, tamaño del grupo de estudio y la cantidad de elementos a desplazar para la siguiente iteración. Además, se permite mostrar 1 u 2 gráficos y ocultarlos.

Fuente: Elaboración Propia.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

En cuanto a la prueba de este requerimiento, para la creación del Indicador b v/s tiempo se utilizaron valores descritos en la siguiente tabla, basándose en las necesidades de cada mina y en los valores solicitados en las pantallas mostradas en las Figuras Figura 6 y Figura 8.

Tabla 1: Valores utilizados para probar la funcionalidad de crear indicador b v/s tiempo, en este caso se solicita la Magnitud relevante, o el valor a partir del que se considera una magnitud como relevante; la Magnitud mínima, o el límite inferior de las magnitudes aceptadas; el tamaño del grupo de estudio, o cantidad de datos usados para obtener cada valor de b; y el valor de desplazamiento, o cantidad de elementos a desplazar para la siguiente iteración.

Fuente: Elaboración propia.

| Archivo utilizado | Magnitud relevante | Magnitud mínima (Mc) | Tamaño grupo de estudio | Valor de desplazamiento |
|-------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Bobrek | 2 | 0.6 | 100 | 10 |
| Mina chilena | 1.5 | -0.3 | 1000 | 100 |

Por otro lado, para la creación del indicador Criterio de frecuencia de eventos, se utilizaron los parámetros explicados en el subcapítulo 3.2.2.2.

La creación correcta de los indicadores se ve reflejada de mejor manera en la Figura 9 de la siguiente sección, donde se corroborará la visualización del indicador creado, y en el ANEXOS.

Por medio de la validación de este punto y del punto anterior, queda satisfecho el primer objetivo específico, el cual es **desarrollar indicadores sísmicos a partir de cualquier catálogo sísmico**.

4.2.3. Visualización de indicadores.

“Como usuario, quiero visualizar el indicador creado, para poder comprender visualmente el comportamiento que tendría el indicador en la mina, en base al catálogo sísmico importado.”.

Para esta solicitud se han implementado gráficos que muestran el comportamiento del indicador creado, junto a la misma sección donde se calcula. Esto permite al usuario tener un mayor conocimiento de cómo se hubiese comportado el indicador en base a los datos pasados y así predecir qué tan útil sería con dicha programación. La Figura 9 muestra un ejemplo de cómo se muestra uno de estos gráficos, validando a su vez la satisfacción del requerimiento planteado.

En la misma figura se muestra un botón con la inscripción “Mostrar/Ocultar gráfico”, este botón le permite al usuario mostrar u ocultar el gráfico si lo desea, a pesar de no haber sido

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

mostrado desde un principio, dando más libertad al usuario para elegir cuándo desea observar el gráfico requerido.

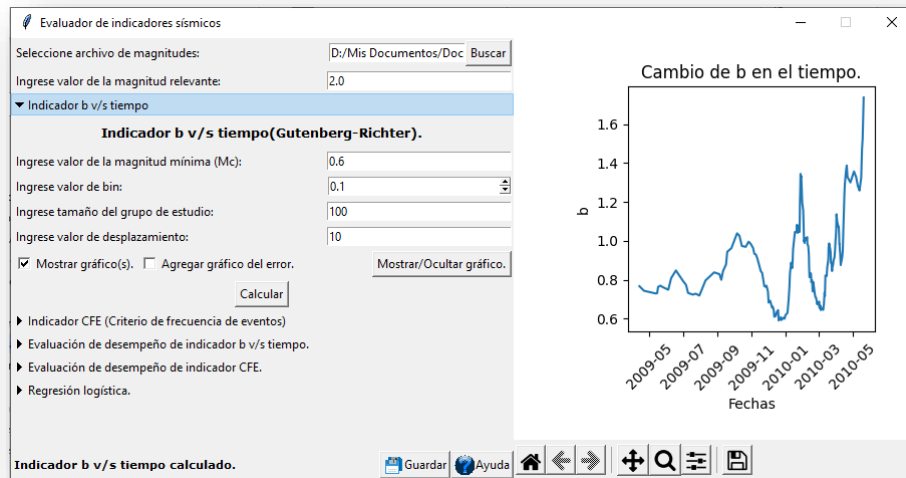


Figura 9: Interfaz completa donde se ha generado un gráfico del indicador b en el tiempo.

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto a los valores utilizados para probar la funcionalidad, se utilizaron las mismas configuraciones mencionadas en la sección anterior.

Se probaron los gráficos tanto del indicador b v/s tiempo, como del criterio de frecuencia de eventos, donde este último gráfico puede ser visualizado en el ANEXOS, donde se presenta la guía de usuario completa.

4.2.4. Guardar gráficos.

“Como usuario, quiero manipular y guardar los gráficos generados, para poder usarlos dónde y cuándo estime conveniente.”

La Figura 4Figura 10 muestra un gráfico generado y manipulado por los controles que otorga la aplicación, demostrando la funcionalidad del programa para satisfacer el requerimiento. Esto le permite al usuario manipular el gráfico, para poder visualizar de mejor manera y si estima conveniente, guardar la imagen en pantalla.

Los controles como tal se pueden ver en la Figura 9, donde además se puede visualizar cómo se muestran el gráfico y sus controles dentro del programa. Dentro de los controles, se incluye un historial de visualización del gráfico, el que permite avanzar o retroceder en las visualizaciones realizadas; un botón de zoom o acercamiento, el que permite seleccionar la sección que se desea ampliar; un botón de movimiento, que permite navegar por la visualización una vez realizado un acercamiento; un botón de guardado para registrar la

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

visualización actual en pantalla; y por último, un botón de reinicio de la visualización, el que posee un ícono de casa, y permite volver la visualización nuevamente a la inicial.

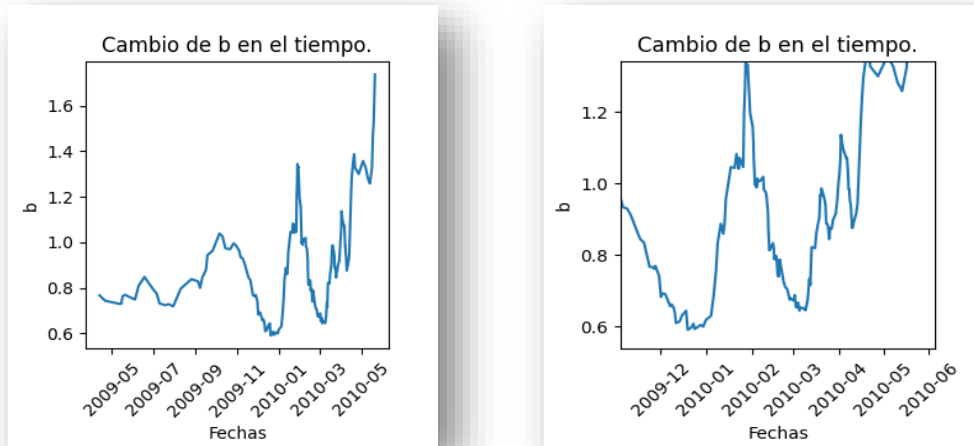


Figura 10: Gráficos obtenido por medio de la aplicación, antes (izquierda) y después (derecha) de la manipulación del gráfico. El gráfico de la derecha presenta un menor rango de fechas y de amplitud que el gráfico de la izquierda.

Fuente: Elaboración Propia.

El gráfico mostrado en la Figura 10 (imagen de la derecha), como se mencionó anteriormente ya está manipulado, esto puede evidenciarse por medio de las fechas que se muestra, que van desde diciembre del 2009 a junio del 2010, sabiendo que el espectro completo de fechas se muestra en la Figura 9 y corresponden a datos entre abril del 2009 y julio del 2010.

También queda en evidencia por la incompletitud que muestra el gráfico en los valores del parámetro b , mostrando valores hasta 1.2, mientras que se tienen valores máximos del parámetro b de 1.6. Esta manipulación puede realizarse en los gráficos de ambos indicadores.

Con la validación de este punto y del punto anterior queda satisfecho el segundo objetivo específico, el cual pide **desarrollar un sistema que permita visualizar los indicadores creados y manipular dicha gráfica a voluntad**, dejando solamente un objetivo específico por satisfacer.

4.2.5. Evaluar indicador(es) creado(s).

“Como usuario, quiero evaluar el desempeño del indicador creado, para corroborar su confiabilidad a la hora de dictar una alarma y tomar una decisión operativa al respecto.”

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

Para satisfacer este requerimiento, se ha implementado una sección desplegable en la interfaz, que sirve para comparar el indicador creado, en este caso el parámetro b, con los datos de la magnitud, donde se buscará la ocurrencia de un evento mayor a la magnitud relevante ingresada en la sección de búsqueda, mostrada en la Figura 6, dentro del rango de tiempo a futuro como se explicó en la subsección 3.2.3.

La Figura 11 muestra los resultados obtenidos al evaluar el desempeño del indicador b. Los resultados son mostrados usando los valores de una matriz de contingencia, junto con el TPR, FPR y PSS respectivo. Como se trata del indicador b, también es obtenido el valor del b crítico (b^*) que maximiza el desempeño del indicador mediante el proceso explicado en el subcapítulo 3.2.2.1 y 3.2.3.

▼ Evaluación de desempeño de indicador b v/s tiempo.

Evaluación de desempeño de indicador b v/s tiempo.

Ingrese tiempo de validacion tf (dd/hh/mm/ss): 0 8 0 0

Ingrese amplitud del intervalo de búsqueda: 0.001

Realizar evaluación

TP=17 FP=95 FN=4 TN=76 TPR=0.81 FPR=0.56 PSS=0.25 b*=0.92

Figura 11: Sección de la interfaz que sirve para la evaluación de desempeño del indicador b. Cada entrada de valor corresponde a su respectiva variable. En este caso son el tiempo de validación, o rango de tiempo futuro donde se busca la ocurrencia de eventos reales; y la amplitud mínima del intervalo de búsqueda del b crítico.

Fuente: Elaboración Propia.

La evaluación del CFE presenta una interfaz similar, aunque sin solicitar el intervalo de búsqueda. También entrega los resultados obtenidos de la matriz de contingencia.

Para probar esta funcionalidad, se utilizó un **tiempo de validación** de 8 horas, donde se buscó que durante ese período existiese o no un evento relevante y se comparó con el estado actual del indicador al inicio del intervalo de tiempo, este procedimiento se repitió en cada uno de los estados del indicador. En el caso del intervalo de búsqueda del b crítico (en el caso del Indicador b v/s tiempo) se usaron valores de 0.001 para el catálogo de Bobrek, y de 0.01 para la mina chilena, recordando que es el programa el que busca el valor del b crítico que maximiza el valor del PSS. El tiempo de validación fue el mismo en ambos indicadores.

Con esto queda también satisfecho el tercer objetivo específico que pide **desarrollar un sistema que permita la evaluación de desempeño de indicadores creados a partir de cualquier catálogo sísmico**, recordando también los puntos 4.2.1 y 4.2.2, donde se creó el indicador recién evaluado, y donde los datos fueron obtenidos de alguno de los catálogos sísmicos usados para el estudio.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

4.2.6. Exportar datos.

“Como usuario, quiero exportar los datos calculados con el indicador, para poder usarlos en algún otro programa, estudio o sistema que necesite.”

Para satisfacer este requerimiento se ha implementado un botón que permite guardar los datos calculados relativos al último indicador creado, esto pensando en que se probarán varias configuraciones para un mismo indicador, y sólo se guardarán los datos finales. La Figura 12 y la Figura 13 muestran el botón y el archivo generado por el sistema respectivamente.

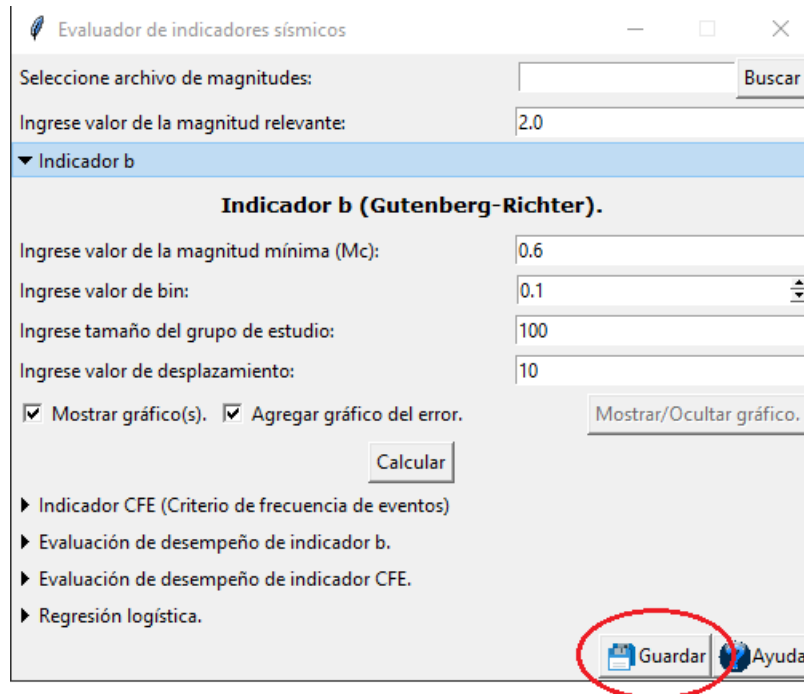


Figura 12: Interfaz completa, donde se destaca en un círculo rojo el botón Guardar.
Fuente: Elaboración propia.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

```
***** Valores del indicador b *****
Evaluación de desempeño de indicador b v/s tiempo:
TP=17 FP=95 FN=4 TN=76 TPR=0.81 FPR=0.56 PSS=0.25 b*=0.92

Valores b:      Tiempos:      Valores sigma b:
0.7673047383449678  2009-04-12 21:34:03  0.06265527770491787
0.7436549347658421  2009-04-21 03:42:58  0.05809621184716998
0.7299066922743727  2009-05-12 00:01:40  0.05552850826335196
0.7311354914196158  2009-05-14 21:32:43  0.05575553101461207
0.7632591949090539  2009-05-16 13:00:48  0.06186267774261223
0.770025677133425   2009-05-20 14:28:48  0.06319131316800457
0.7646029610972742  2009-05-23 11:33:33  0.04798325633981951
0.7487835894883651  2009-06-03 20:07:21  0.04557733727085138
0.8087420519613626  2009-06-09 01:42:51  0.05504798356757028
0.8482314099672886  2009-06-17 14:55:08  0.061805196079173064
0.79395700530759    2009-06-30 09:56:18  0.052624008954491416
0.7741434615031226  2009-07-05 18:55:00  0.04946646235555882
0.7323684349127347  2009-07-09 12:19:28  0.043151465516729826
0.7238241365054195  2009-07-18 02:41:12  0.0419173278508003
0.7286820166161941  2009-07-23 03:10:00  0.04261659775763672
0.7190305991775691  2009-07-29 19:35:21  0.041233531274561634
0.7968706089967921  2009-08-09 21:31:16  0.03496524604294826
0.8384063357205632  2009-08-25 09:24:11  0.039692148467750876
0.8288062631741146  2009-09-01 07:15:18  0.038569125978059375
```

Figura 13: Ejemplos del archivo de texto generados por el programa para guardar los datos relativos al último indicador creado.

Fuente: Elaboración Propia.

Al principio del registro de cada indicador, se presenta la evaluación de desempeño obtenida, sólo si esta fue calculada. No está demás mencionar que, de momento, sólo se almacenan los valores de los indicadores y de su evaluación, mas no de la regresión logística al tratarse de un desarrollo incompleto.

4.2.7. Guía de usuario.

“Como usuario, quiero recibir ayuda cuando no sepa usar el programa, o tenga alguna duda.”

La Figura 14 muestra el botón de ayuda implementado para que el usuario pueda apretar durante cualquier momento de la ejecución del programa. Este botón abre el PDF de la guía de usuario (Figura 15), la cual enseña detalladamente la funcionalidad y forma de uso de cada sección, de esta forma se le da al usuario una herramienta de ayuda para que él pueda encontrar la solución a su problema.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

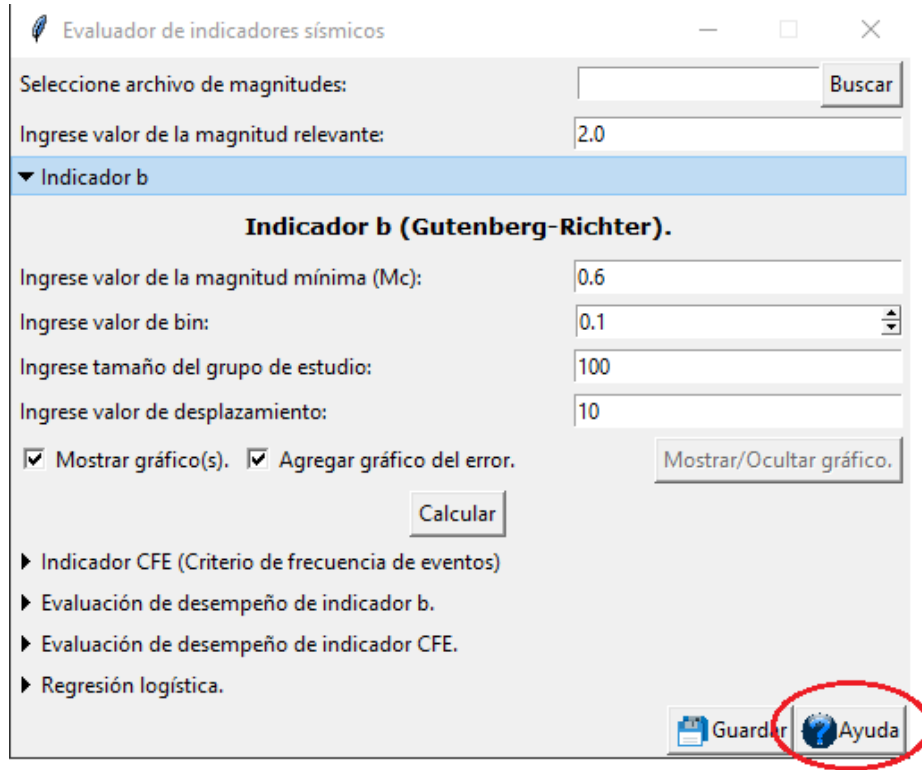


Figura 14: Interfaz del programa, donde se destaca con un círculo rojo la posición del botón Ayuda.

Fuente: Elaboración propia.

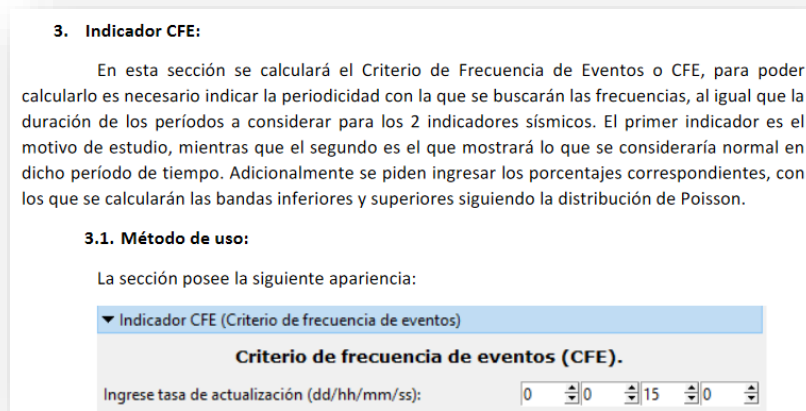


Figura 15: Porción de la guía de usuario, la cual muestra la distribución que posee dicho archivo.

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 15 muestra un extracto de la guía de usuario, la cual sirve para satisfacer el requerimiento, al cual se puede acceder cuando se desee. La guía de usuarios completa se puede revisar en el ANEXOS. **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

En la misma figura se puede apreciar la descripción de la sección para el cálculo del CFE, junto a las instrucciones de uso de la sección. Esto comprueba lo dicho anteriormente, sobre la distribución de la guía de usuario.

Vale agregar, que ya con todas las historias de historias cumplidas se puede dar por satisfecho el objetivo general de este trabajo el cual es **implementar una aplicación de escritorio para la evaluación de indicadores sísmicos en minería.**

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones generales.

Durante el desarrollo de este trabajo, se logró la implementación de un sistema de evaluación de indicadores sísmicos. La necesidad de desarrollar este software radicó especialmente en la inexistencia de programas similares en el mercado, y en la importancia que significa para el rubro realizar esta actividad. Por lo mismo, este trabajo siguió el lineamiento investigativo realizado por Estay el 2014 y que contó con la evaluación de distintos indicadores sísmicos, cada uno con sus respectivas fortalezas y debilidades.

Durante el transcurso de este proyecto, se adquirió un gran conocimiento del área minera, de los procesos y disciplinas que ocurren en el área, junto con la gran cantidad de software especializado en las distintas áreas. Además, fue necesario adentrarse en la formulación de los 2 indicadores con los que se trabajó, siendo estos el Indicador b v/s tiempo y el Criterio de frecuencia de eventos, descritos en la sección 3.2.2 de esta memoria.

El conocimiento sobre los indicadores sísmicos no radicó únicamente sobre su importancia, sino también sobre las ecuaciones que lo describen y la forma en cómo estos generan estados de alarma dentro de las mineras, función principal de su uso.

Otro conocimiento adquirido, puede desprenderse del desarrollo de la evaluación de los indicadores, debido al previo desconocimiento sobre el PSS o *Peirce Score Skill*, el cual es un sistema de medición de confiabilidad de efectividad. El que compara la tasa de alarmas correctamente activadas, con las que fueron mal efectuadas, proporcionando así una tasa de confiabilidad del indicador, en cuanto a alarmas se refiere.

En cuanto a la regresión logística, existió un nuevo conocimiento en cuanto a su configuración, debido a que se le dio uso al p-valor, usándolo para distinguir los atributos relevantes en la predicción, sirviendo en un futuro para descubrir patrones de atributos relevantes usados, por ejemplo, y la efectividad de la clasificación. Es pertinente resaltar el hecho de que la regresión logística tuvo un enfoque más de valor agregado que de sección primordial a desarrollar, por lo que el foco principal del desarrollo no estuvo en esta sección.

Por el lado de los datos usados, el contar con dos catálogos sísmicos, con listas de datos tan variados, sirvió para probar el sistema. Por una parte, probando que el programa es capaz de leer distintas distribuciones de datos, puesto que cada mina registra sus tablas de datos a su manera, y el programa debió ser capaz de leer ambos formatos, y, por otro lado, saber que el programa funciona con volúmenes de datos mayores a los 50.000 datos.

La metodología usada fue primero probar las funcionalidades con los archivos de 3.000 datos, para que, una vez probado que funcionaba, comenzar a probar la misma funcionalidad con los archivos de 50.000 datos, por esto último, es que se menciona la utilidad de usar 2 catálogos sísmicos con volúmenes de datos tan variados. Cabe aclarar que se mencionan varios archivos, debido a que, a pesar de contar con registros de sólo 2 minas, cada catálogo sísmico estaba almacenado en ambos formatos, con la finalidad de poder probar y reforzar

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

el requisito de leer archivos desde cualquier catálogo sísmico. Entendiendo el requerimiento como la distribución dentro del archivo, mas no su extensión, dado que en esta oportunidad no se cuentan con otros ejemplos de catálogos con distintas extensiones.

El último aprendizaje adquirido en el transcurso de esta memoria ocurrió con el desarrollo de la interfaz, dado que, si bien, ya se había trabajado creando programas e interfaces en Python, nunca había sido desarrollado un programa completo por parte del autor, lo que propuso un desafío extra al desarrollo de la aplicación. Con esto se quiere decir, que existieron librerías completas que nunca habían sido ocupadas por parte del autor y que debió aprender a usar para la creación de la aplicación, entre esas el desarrollo de la interfaz, donde se debió realizar un esfuerzo para poder mostrar mensajes, alertas y demás elementos en la aplicación, de una manera orgánica.

En cuanto a falencias que pudo tener el desarrollo tanto del programa como la escritura, se puede mencionar la utilización de sólo dos indicadores, sabiendo la existencia de otros, pero en vista del tiempo dispuesto para el desarrollo de la memoria no pudieron ser incluidos, aunque posteriormente se dan recomendaciones de su implementación de ser posible seguir con el trabajo aquí desarrollado.

La disposición de tiempo también afectó en la interfaz desarrollada para la aplicación, la cual sólo se destinó tiempo y esfuerzo en implementar su funcionamiento y utilidad, y no así en su aspecto visual y estético, creando una interfaz con un color plano y tosco, con botones netamente funcionales y una tipografía por defecto, sin incursionar en cambios de tipos de letras. Lo mismo ocurrió con los mensajes y advertencias del programa, los que fueron colocados en una esquina de la ventana principal, sin verificar previamente si este correspondía al mejor lugar. Esto sin mencionar el botón de ayuda, el cual de momento sólo abre la guía de usuario para que sea este quien busque la solución a su problema.

Los resultados por otra parte fueron realmente satisfactorios, cumpliendo con todas las expectativas y exigencias, siendo estas últimas verificadas a través de historias de usuarios, sin dejar ninguna al debe. Esto crea un gran conformismo en este punto, gracias a que el objetivo principal se logró, creando una aplicación de escritorio para la evaluación del desempeño de indicadores sísmicos en minería.

Por su parte, al validar los objetivos específicos de la memoria, el primero corresponde a **desarrollar indicadores sísmicos a partir de cualquier catálogo sísmico**, el cual quedó satisfecho al demostrar la lectura de cualquier archivo CSV o MATLAB, y crear indicadores sísmicos a partir de ellos, específicamente se habla de ello en la sección *Validación de funcionalidades*. del presente texto.

El segundo objetivo específico corresponde a **desarrollar un sistema que permita visualizar los indicadores creados y manipular dicha gráfica a voluntad**, el cual es satisfecho en la misma sección que la anterior, específicamente en los puntos 4.2.3 y 4.2.4 del presente texto. Aunque a modo resumen se puede decir que se logró implementar un gráfico que muestra el comportamiento del indicador calculado, el cual puede ser manipulado a voluntad, con controles de historial de las visualizaciones realizadas, controles de

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

acercamiento y movimiento del gráfico, e incluyendo una opción de guardado de la imagen del gráfico presente en pantalla.

El último objetivo específico corresponde a **desarrollar un sistema que permita la evaluación de desempeño de indicadores creados a partir de cualquier catálogo sísmico**, el cual queda demostrado en el punto 4.2.5, donde se muestra la visualización de la evaluación realizada a un indicador sísmico creado, estos resultados están mostrados en una matriz de contingencia, señalando sus aciertos, fallas y falsas alarmas, junto con una tasa de aserción, y una tasa de falsas alarmas. Mostrando por último el PSS, el que señala la fidelidad del indicador creado.

Considerando esto y lo anterior mencionado, es posible dar por realizada la validación de la solución desarrollada y el cumplimiento del objetivo general de este trabajo, el cual es **implementar una aplicación de escritorio para la evaluación de indicadores sísmicos en minería**.

Por otro lado, hay que hablar sobre el aporte que la implementación de esta aplicación hará al mundo de la minería una vez que se llegue a su versión final, dado no existen aplicaciones actualmente que realicen este trabajo, y considerando además la funcionalidad de los indicadores sísmicos, no está demás mencionar este punto.

5.2 Conclusiones específicas.

El desarrollo de esta aplicación usando Python generó ventajas y desventajas durante su transcurso. En cuanto a las ventajas presentadas está el ser un lenguaje multiplataforma, haciendo que el programa creado, en principio, funcione no sólo en Windows, sino también en otros sistemas operativos. También el uso de librerías ayudó en el desarrollo, siendo fundamental tanto en el desarrollo de la interfaz, como en el de sus funcionalidades, entre estas, las más destacadas son la regresión logística y los gráficos.

Las desventajas en cambio fueron mínimas, y se basaron principalmente en la inexperiencia en el manejo de algunas de las librerías utilizadas para el desarrollo del proyecto, lo que pudo demorar el proceso en algunos casos.

Tomando en cuenta lo anterior, es posible mencionar que la tecnología ocupada para el desarrollo de la aplicación fue la indicada.

5.3 Trabajo a futuro.

Como se mencionó anteriormente, la aplicación desarrollada es sólo un prototipo, por lo que ahora se mencionarán un conjunto de sugerencias a considerar si se desea continuar con este trabajo.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

En primer lugar, se debe mejorar la interfaz de usuario, si bien es cierto que se trata de una primera versión de un programa recién creado, no deja de ser un hecho el que la interfaz no es estéticamente agradable a la vista, presentando un color plano y tosco, con botones netamente funcionales y tipografías por defecto. Incluso los mensajes podrían estar mejor presentados, dado que no se realizaron pruebas de usuario, por lo que el sector que se eligió para su muestreo no necesariamente está en el mejor lugar.

El desarrollo del proyecto no se enfocó en la estética del programa, sino más bien en su funcionalidad, dejando de lado este aspecto. Lo que claramente queda al debe si en un futuro se planea enviar al mercado el programa inicialmente acá desarrollado.

En cuanto a las recomendaciones que se pueden realizar, se recomienda realizar un estudio de distintas aplicaciones desarrolladas para minería, no sólo con tal de tener ideas, sino también para seguir el estándar de interfaz que se maneja en el negocio, dado que programas similares a otros pueden proporcionar menor rechazo al usuario, en cuanto a la complejidad de aprender a manejar un programa nuevo.

Otro de los puntos a mejorar debe ser la incorporación de un registro de datos por medio de bases de datos, que no sea sólo una exportación de datos como lo es ahora, esto provocaría un alivio para el usuario al no tener que conservar muchos archivos de ser necesario. Obviamente, con este paso viene la implementación de una sección de lectura de registros guardados, permitiendo al usuario manipular indicadores ya creados para estudios posteriores, como puede ser el manejo de los respectivos gráficos. Esto permitiría volver a manipular los indicadores ya creados para estudios más exhaustivos a futuro. Esto facilitaría el trabajo con los gráficos de los indicadores ya que, para volver a obtener algún gráfico previamente calculado, es necesario volver a calcular el indicador, lo que puede resultar molesto para el usuario si debe realizar esta acción reiteradas veces.

Lo mismo ocurre al momento de evaluar el indicador, dado que, para poder realizarse la evaluación, es necesario primero calcular el indicador para posteriormente evaluar su desempeño, comparando las alertas con eventos futuros.

Adicionalmente, y desprendido del punto anterior, se propone la creación de un módulo de comparación de indicadores, dado que, de momento, un indicador sólo será evaluado mirando el rendimiento actual, sin poder usar algún rendimiento anterior como referencia. Esto podría traer varios beneficios al momento de evaluar indicadores, debido a que incluso podría compararse el mismo indicador y su precisión en distintos rangos de tiempos, sin necesidad de volver a calcular los valores para hacer nuevos ajustes.

Otras recomendaciones lógicas son el término, de ser óptimo su actual desempeño, de la regresión logística, permitiendo al usuario predecir eventos relevantes en un futuro, basándose en la data histórica de la mina. Junto con la optimización de los algoritmos y su eventual prueba en distintos sistemas operativos.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

La última recomendación a futuro surge a partir del preconcepción de la existencia de varios indicadores sísmicos, por lo que es totalmente lógico sugerir la implementación de más indicadores sísmicos, debido a la sugerencia, además, de que no debiesen ser ocupados solos, sino que se recomienda ocupar los indicadores sísmicos en conjuntos para mitigar las falsas alarmas.

5.4 Palabras finales del autor.

Para la creación de este programa debí introducirme en el ámbito minero, y en la problemática que se planeaba desarrollar. Fue necesario comprender no sólo el problema, sino la razón de su existencia, el beneficio que traería la creación del programa en la industria y el impacto que provocaría en el mundo.

El desarrollo implicó ocupar herramientas no antes exploradas, y buscar soluciones a problemas sin apoyo de mis compañeros, un ejemplo de esto podría ser la búsqueda de librerías apropiadas para resolver cada problema que surgía, tanto el principal como los menores, y dedicarle varias horas a planear la mejor técnica para la implementación de alguna funcionalidad.

Siento que este es el primer proyecto real que he llevado por mi cuenta y me ha motivado a seguir adelante en mi carrera. Y a su vez, me ha inspirado a seguir con este desarrollo si es posible en el futuro, dado que lo considero demasiado importante como para dejarlo tirado.

Me gustaría que este trabajo no quedara en nada, que mi esfuerzo y trabajo sirva de inspiración para seguir creando herramientas que ayuden en la labor del minero.

El desarrollo de este trabajo me ha recordado el motivo por el que empecé esta carrera, y me motiva a seguir creciendo como profesional.

Estoy muy feliz con el trabajo realizado y quedo conforme con todo. Siento que hice un buen trabajo considerando mi experiencia como recién egresado.

Sé que hay cosas que deben mejorarse, pero para eso es este proceso, para aprender con cada paso que se da.

Este es un gran paso en mi carrera y de verdad siento que estoy haciendo algo por la sociedad. Y me llama la atención pensar en cómo un programa puede llegar a cambiar la vida de la gente.

Realmente estoy muy sorprendido y agradecido de todo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agresti, A. (2007). *An introduction to categorical data analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, inc.
- Aki, K. (1965). Maximim likelihood Estimate of b in the Formula $\log N = a-bM$ and its confidence limits. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 237-239.
- Benjamin, J. R. (1968). Probabilistic models for seismic force design. *Journal of the Strucutral Sivision of the ASCE*, 1175-1196.
- Dunlop, R., & Gaete, S. (1997). Controlling the induced seismicity at El Teniente Mine: the sub-6 sector case history. *Rockbursts and Seismicity in mines 97: Proceedings of the 4th international symposium*. Cracovia, Polonia.: CRC Press.
- Estay, R. (2014). *Metodología para la evaluación del desempeño de indicadores sísmicos en sismicidad inducida por la minería*. Santiago, Chile.
- Fawcett, T. (2005). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 861-874.
- Felzer, K. (2006). Calculating the Gutenberg-Richter b value. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 87.
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 185-188.
- Hosmer, D., & Lemeshow, S. (1989). *Applied Logistic Regression*. New York, United States: Wiley Interscience.
- Leptokaropoulos, K., Staszek, M., Cielesta, S., Urban, P., Olszewska, D., & Lizurek, G. (2017). *Time-dependent seismic hazard in Bobrek coal mine, Poland, assuming different magnitude distribution estimations*. Polonia: Springer.
- Malek, F., & Leslie, I. S. (2006). *Using seismic data for rockburst re-entry protocol ar INCO's Copper Cliff North Mine*. Golden, Colorado.
- Menard, S. (2002). *Applied logistic regression analysis*. Colorado, United States: Sage University paper series on quantitative applications in social science.
- Min-Hao, W., Wang, J., & Kai-Wen, K. (2019). Earthquake, Poisson and Weibull distributions. *Physica A*, 121001.
- Ogata, Y. (1988). Statistical odels for earthquake occurrences and residual analysis for point processes. *Journal of the American Statistical Association*, 9-27.
- Ogata, Y. (1989). Statistical model for standard seismicity and detection of anomalies by residual analysis. *Tectonophysics*, 159-174.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

- Ogata, Y. (1999). eismicity analysis through point-process modeling: a review. *Pure and Applied Geophysics*, 471-507.
- Ogata, Y. (2001). Increased probability of large earthquakes near aftershock regions with relative quiescence. *Journal of Geophysical Research*, 8729-8744.
- Peirce, C. S. (1884). The numerical measure of the success of predictions. *Science*, 453-454.
- Potvin, Y., Hadjigeorgiou, J., & Stacey, T. R. (2007). Challenges in Deep and High Stress Minig. In Y. Potvin, *Challenges in Deep and High Stress Minig*. Perth, Australia: Nedlands : Australian Centre for Geomechanics.
- Python. (2020). *Python*. Retrieved from Python.org: <https://www.python.org/psf/donations/>
- Rodriguez, M. (2010a). Distribución de Poisson en simulación. *Cap&Cua*.
- Rodriguez, M. (2010b). Importancia de la Distribución Binomial y de Poisson. *Cap&Cua*.
- Sernageomin. (2018, Mayo 2). *SERNAGEOMIN*. Retrieved from SERNAGEOMIN: <https://www.sernageomin.cl/cartaabierta-cl-tasa-de-mortalidad-en-mineria-es-las-bajas-baja-de-la-historia/>
- Sernageomin. (2019). *SERNAGEOMIN*. Retrieved from SERNAGEOMIN: <https://www.sernageomin.cl/pdf/Presentacion-Accidentes-2019.pdf>
- Shchebakov, R., Turcotte, D., Runde, J., Tlampo, K., & Holliday, J. (2010). Forecasting th locations of future large earthquakes: An analysis and verification. *Pure and Applied Geophysics*, 743-749.
- Vallejos, J. A., & McKinnon, S. D. (2008). Guidelines for development of re-entry protocols in seismically active mines. *Proceeding of the 42nd US Rock Mechanics Symposium* (pp. paper 08-97). San Francisco, California.: American Rock Mechanics Association.
- Vallejos, J. A., & McKinnon, S. D. (2010). Omori's law applied to minning-induced seismicity and re-entry protocol development. *Pure and Applied Geophysics*, 91-106.
- Vallejos, J. A., & McKinnon, S. D. (2011). Correlations between mining and seismicity for re-entry protocol development. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 616-625.
- Vallejos, J. A., Estay, R., Zepeda, R., & Joquiera, P. (2012). A methodology for evaluating the performance of seismicity indicators at El Teniente Mine, Chile. *6th International conference & exhibition on mass minning, Massmin*. Ontario, Canada.
- Vallejos, J., & McKinnon, S. (2013). *Logistic regression and neural network classification of seismic records*. Canada: Elsevier.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

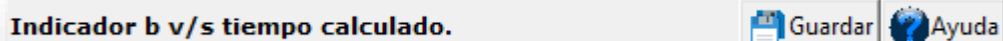
Woessner, J., & Wiemer, S. (2005). Assessing the Quality of Earthquake Catalogues: Estimating the Magnitude. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 684-698.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

ANEXOS

MANUAL PARA EL USUARIO

A continuación, se presenta una guía del usuario donde se detallan y explican la finalidad de las distintas secciones y las funcionalidades de cada elemento en la sección. Cada sección, a excepción de la primera, consta de un menú desplegable, con tal de que sea usted quien decida cuales secciones ver, incluso simultáneamente. Además, una vez concluida la tarea de una sección, esta indicará su realización con un mensaje en la parte inferior izquierda de la ventana como el siguiente:



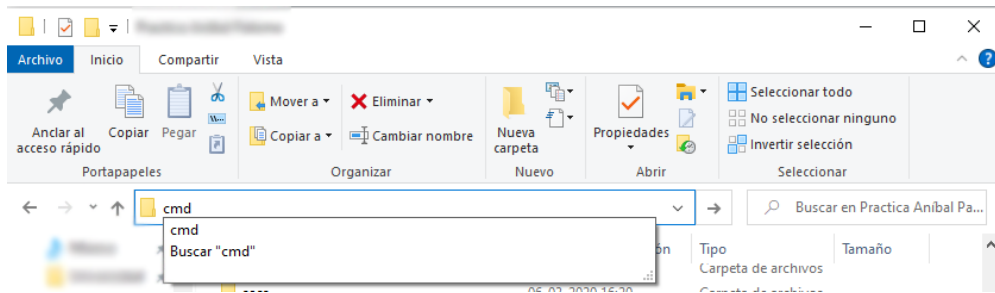
Indicador b v/s tiempo calculado. Guardar Ayuda

Pero antes de comenzar a explicar las secciones del programa, se procederá a guiarlo con la ejecución del programa.

PRIMERA EJECUCIÓN

Para iniciar, debe tener instalado en su equipo el programa Python, el cual puede descargar desde el sitio oficial, haciendo clic en el siguiente [enlace](#).

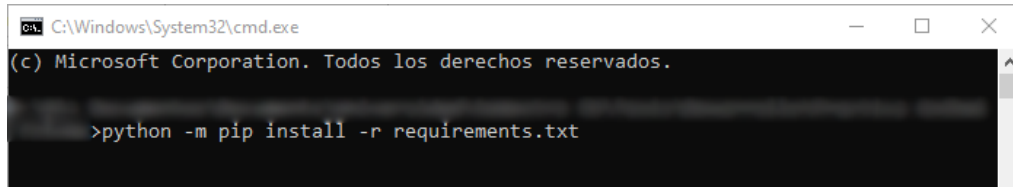
Una vez instalado Python en su equipo, abra la consola de su equipo y diríjase a la carpeta contenedora de los archivos del programa, si está en Windows, basta con entrar en la carpeta contenedora de los archivos e introducir en la barra de direcciones la sigla “cmd” para que inicie una consola en dicha dirección, tal como se muestra en la siguiente imagen:



Si se encuentra en otro sistema operativo, basta con copiar la dirección de la carpeta de destino y escribir el comando “cd” y pegar la dirección de destino, separado por un espacio.

Una vez ya en la dirección, se debe escribir el comando “python -m pip install -r requirements.txt” tal como se muestra en la siguiente imagen, y dejar que el instalador termine.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.



```
C:\Windows\System32\cmd.exe
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

>python -m pip install -r requirements.txt
```

Una vez instalado todo, debe ingresar el comando “*Python Prototipo.py*” y el programa comenzará a funcionar.

NOTA: Una vez que el programa ya haya funcionado una vez, para la próxima oportunidad no es necesario iniciarlo por consola, basta con un doble clic sobre el archivo llamado **Prototipo.py**

| | | |
|---|-------------|-------|
|  Prototipo | Python File | 55 KB |
|---|-------------|-------|

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

Actualmente, el programa consta de 7 secciones, algunas de las cuales se van habilitando a medida que pueden ser utilizadas. Estas son:

| | |
|--|----|
| 1. SELECCIÓN DEL ARCHIVO: | 57 |
| 2. INDICADOR B (GUTENBERG-RICHTER): | 59 |
| 3. INDICADOR CFE: | 63 |
| 4. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL INDICADOR B: | 65 |
| 5. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DEL INDICADOR CFE. | 67 |
| 6. REGRESIÓN LOGÍSTICA:..... | 69 |
| 7. GUARDADO DE DATOS: | 71 |

NOTA: AL MOMENTO DE QUE EL PROGRAMA PERCIBA ALGÚN ERROR, ESTE DESPLEGARÁ UN MENSAJE EN LA SECCIÓN INFERIOR IZQUIERDA DEL PROGRAMA. UN EJEMPLO ES EL QUE SE MUESTRA A CONTINUACIÓN:

Debe seleccionar un archivo.



Guardar



Ayuda

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

1. Selección del archivo:

En esta sección, se debe seleccionar el archivo que se utilizará para estudiar la mina junto con la magnitud a considerar como “relevante”.

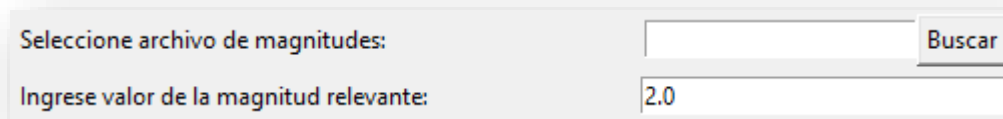
El archivo debe cumplir con las siguientes indicaciones:

- ***Solamente se permiten archivos Matlab (.mat) y CSV (.csv).***
- ***El archivo debe poseer al menos 3 columnas de datos, una con las magnitudes de los eventos, otra con las fechas ocurrencia y una última con las energías de los eventos. Cada columna debe tener su respectiva etiqueta.***


También se solicita ingresar el valor de la magnitud desde la cual se comenzará a considerar una magnitud como “relevante”. Dícese sismo relevante a aquel que puede producir daños en la mina.

1.1. Método de uso:

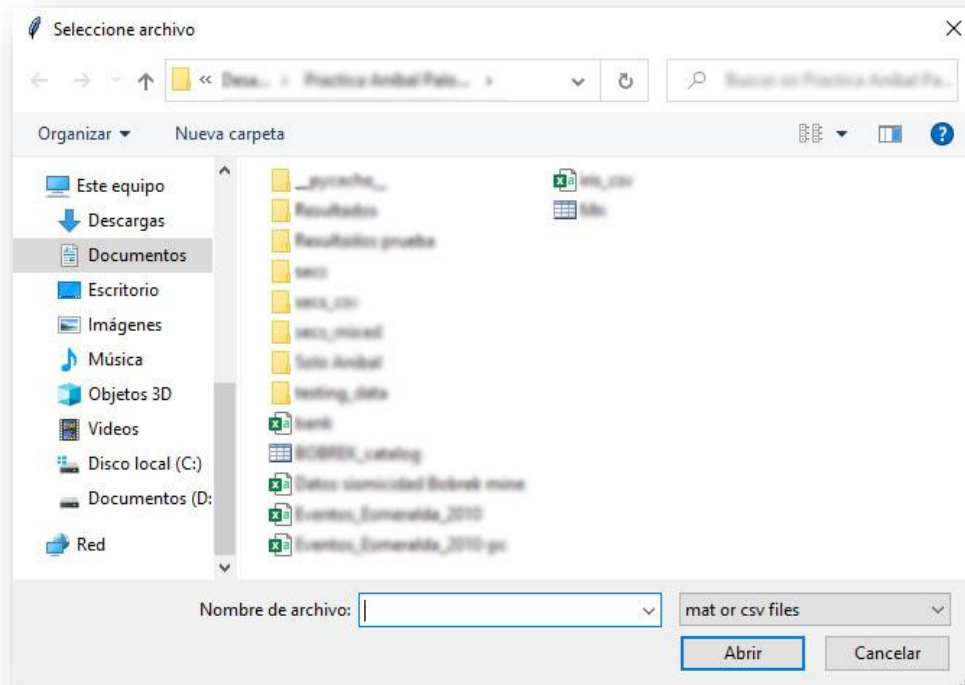
La sección siempre está visible, y tiene la siguiente apariencia:

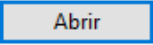


The screenshot shows a light gray rectangular panel with a subtle drop shadow. It contains two rows of input fields. The first row has the label "Seleccione archivo de magnitudes:" followed by an empty text box and a button labeled "Buscar". The second row has the label "Ingrese valor de la magnitud relevante:" followed by a text box containing the value "2.0".

1.1.1. Para seleccionar el archivo, presione el botón , aparecerá la siguiente ventana:

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.



- 1.1.2. En esta podrá navegar y seleccionar el archivo deseado presionando sobre él y luego pulsando el botón de 
- 1.1.3. La magnitud relevante por defecto es de 2.0, si desea otra magnitud, sólo reemplace el número por el valor deseado.

NOTA: AL CAMBIAR EL ARCHIVO, SE BORRAN TODOS LOS VALORES CALCULADOS ANTERIORMENTE. SE RECOMIENDA GUARDAR AVANCE PARA NO PERDER DATOS.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

2. Indicador b v/s tiempo (Gutenberg-Richter):

En esta sección se calculan los valores de b de la ley de Gutenberg-Richter y cómo varía este a través del tiempo, para esto es necesario ingresar el valor de M_c , correspondiente al valor mínimo desde el cual un movimiento sísmico se considera como tal y no como ruido. También los valores del bin, correspondiente a la amplitud del intervalo en que se divide la magnitud, el tamaño del grupo de estudio (del cual se obtendrá cada valor de b), y el valor de desplazamiento del grupo.

2.1. Método de uso:

Esta sección inicia visible, con la siguiente apariencia:

▼ Indicador b v/s tiempo

Indicador b v/s tiempo (Gutenberg-Richter).

Ingrese valor de la magnitud mínima (M_c): 0.6

Ingrese valor de bin: 0.1

Ingrese tamaño del grupo de estudio: 100

Ingrese valor de desplazamiento: 10

Mostrar gráfico(s). Agregar gráfico del error.

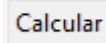
Mostrar/Ocultar gráfico.

Calcular

Al presionar la barra superior, esta sección dejará de estar visible. Y al presionar otra vez, volverá a aparecer. Para hacer funcionar esta sección, siga los siguientes pasos:

- 2.1.1. Ingrese el valor de **Mc**, el valor por defecto será de 0.6, si no desea dicho valor, borre y escriba el deseado.
- 2.1.2. Ingrese el valor del **bin**. El valor recomendado es de 0.1, aun así, el valor puede variar entre 0.1 y 1.0.
- 2.1.3. Ingrese el valor del **tamaño del grupo de estudio**, este valor representa la cantidad de datos que se considerarán para el cálculo de cada valor de b. El valor por defecto es de 100, si no desea dicho valor, borre y escriba el deseado.
- 2.1.4. Ingrese el valor del **desplazamiento**, es decir, cada cuántos elementos se calculará el valor de b. El valor por defecto es de 10, si no desea dicho valor, borre y escriba el deseado.
- 2.1.5. Marque o desmarque el valor de **Mostrar gráfico(s)**, con esto se mostrará el gráfico una vez calculados los datos. Al no dejar marcado el valor, se puede apretar el botón de **Mostrar/Ocultar gráfico.** para mostrar u ocultar el gráfico.
- 2.1.6. Marque o desmarque el valor de **Agregar gráfico del error.**, con esto se agregará el gráfico del **error de b** en el tiempo junto con el **b** en el tiempo.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

2.1.7. Finalmente presione el botón  para obtener el valor de b en el tiempo.

NOTA: UNA VEZ CALCULADOS LOS VALORES, SE OBTENDRÁ UN MENSAJE EN LA ZONA INFERIOR IZQUIERDA COMO EL QUE SE MUESTRA A CONTINUACIÓN:

Indicador b v/s tiempo calculado.



Guardar



Ayuda

2.2. Manejo de gráficos:

Para el manejo de los gráficos siga las siguientes instrucciones:




2.2.1. Siga las instrucciones del punto 2.1.5 para mostrar el gráfico. Una vez mostrado tendrá la siguiente apariencia:

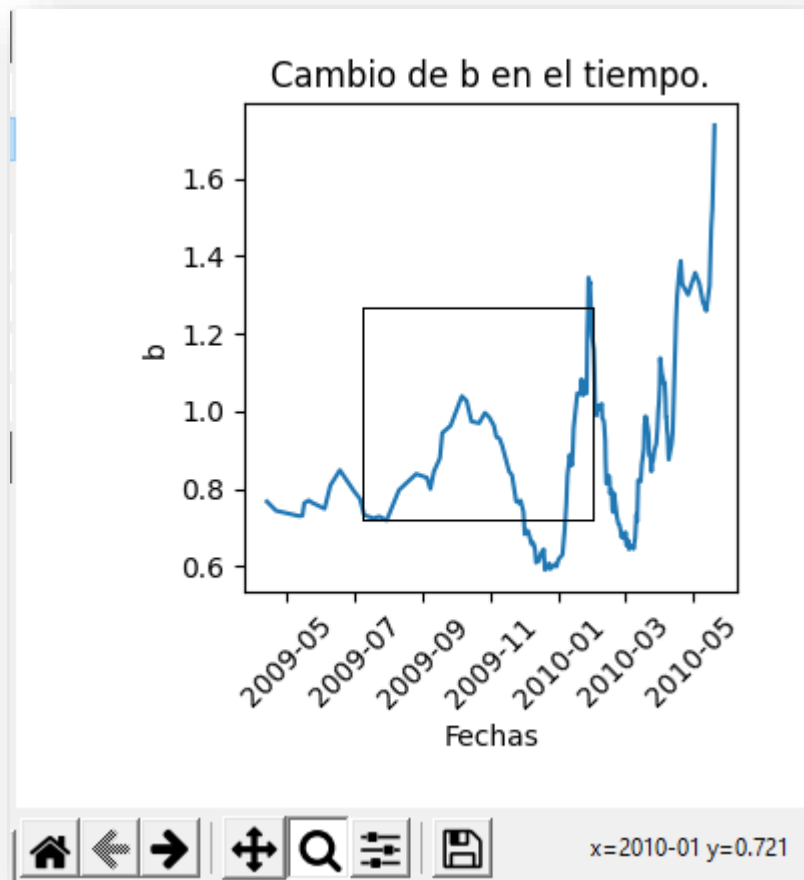



Los controles de cada gráfico se muestran debajo de cada uno

2.2.2. Presione el botón  para regresar la vista del gráfico a su estado inicial.

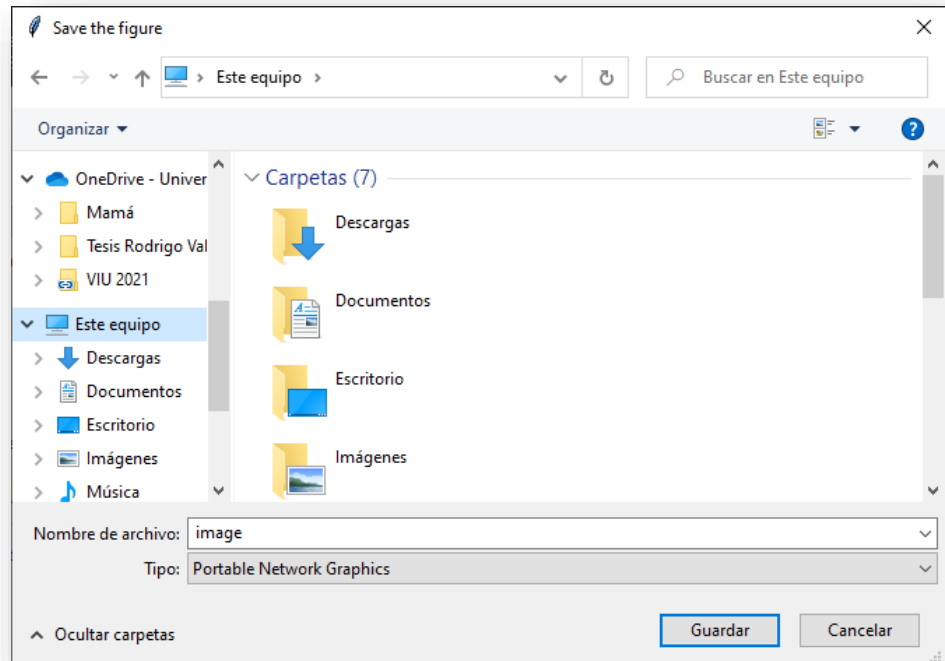
IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

- 2.2.3. Presione los botones  para avanzar o retroceder en las vistas realizadas.
- 2.2.4. Para mover el gráfico, presione el botón , este proceso se realiza principalmente cuando ya existe un acercamiento previo al gráfico.
- 2.2.5. Para acercar el gráfico presione el botón  y luego seleccione la parte que necesita acercar como se muestra a continuación.




- 2.2.6. Para guardar el gráfico en pantalla presione el botón , esto abrirá una ventana donde podrá elegir el destino y el nombre del archivo, tal como se muestra a continuación:

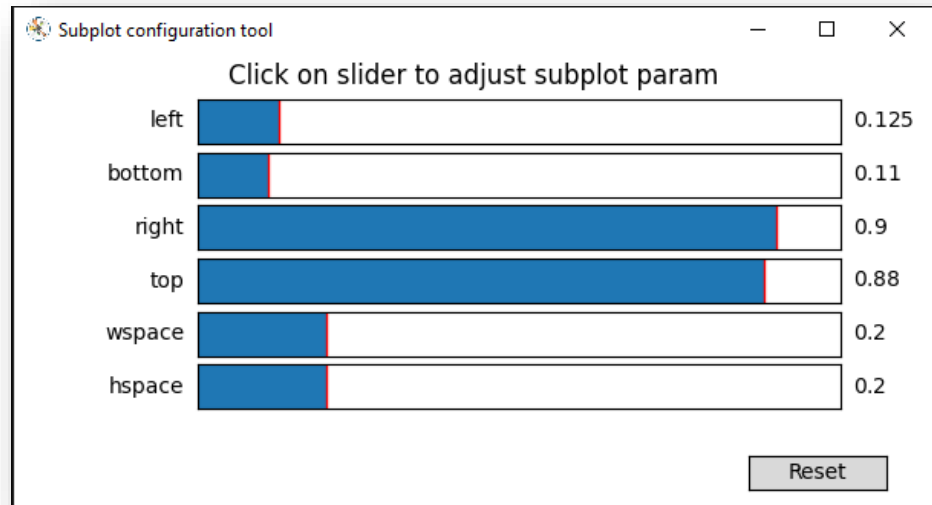
IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.



2.2.7. Para hacer que el gráfico abarque una porción distinta en la ventana, presione



el botón , esto abre una nueva ventana que permitirá cambiar las proporciones del gráfico en la pantalla, como se muestra a continuación:



IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

3. Indicador CFE:

En esta sección se calculará el Criterio de Frecuencia de Eventos o CFE, para poder calcularlo es necesario indicar la periodicidad con la que se buscarán las frecuencias, al igual que la duración de los períodos a considerar para los 2 indicadores sísmicos. El primer indicador es el motivo de estudio, mientras que el segundo es el que mostrará lo que se consideraría normal en dicho período de tiempo. Adicionalmente se piden ingresar los porcentajes correspondientes, con los que se calcularán las bandas inferiores y superiores siguiendo la distribución de Poisson.

3.1. Método de uso:

La sección posee la siguiente apariencia:

▼ Indicador CFE (Criterio de frecuencia de eventos)

Criterio de frecuencia de eventos (CFE).

Ingrese tasa de actualización (dd/hh/mm/ss): 0 0 15 0

Ingrese período de tiempo t1 (dd/hh/mm/ss): 1 0 0 0

Ingrese período de tiempo t2 (dd/hh/mm/ss): 7 0 0 0

Ingrese porcentaje límite inferior: 2

Ingrese porcentaje límite superior: 95

Mostrar gráfico. Mostrar/Ocultar gráfico.

Calcular

E inicialmente se encuentra oculta.

- 3.1.1. Presione sobre el título de la sección **Indicador CFE (Criterio de frecuencia de eventos)** el cual luce de la siguiente forma:

► Indicador CFE (Criterio de frecuencia de eventos)

- 3.1.2. Ingrese la **tasa de actualización**. Este valor indica cada cuánto tiempo se volverá a contar los eventos ocurridos. Cada entrada representa distintos valores de la tasa, es decir, el primero representa los días, luego las horas, minutos y segundos. El valor inicial es de 15 minutos, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.
- 3.1.3. Ingrese el **tiempo t1**. Este valor indica cuanto tiempo será considerado para contar los eventos ocurridos. Cada entrada representa distintos valores de **t1**, es decir, el primero representa los días, luego las horas, minutos y segundos. El valor de inicio es de 1 día, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

- 3.1.4. Ingrese el valor del **tiempo t2**. Este valor indica cuanto tiempo será considerado normal para realizar la comparación con el número de eventos encontrados en **t1**. Cada entrada representa distintos valores de **t2**, es decir, el primero representa los días, luego las horas, minutos y segundos. El valor de inicio es de 7 días, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.
- 3.1.5. Ingrese el valor del **porcentaje para el límite inferior**. Este valor indica el porcentaje de la distribución de Poisson utilizado para la calcular el límite inferior de los datos. El valor por defecto es de 2%, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.
- 3.1.6. Ingrese el valor del **porcentaje para el límite superior**. Este valor indica el porcentaje de la distribución de Poisson utilizado para la calcular el límite superior de los datos. El valor por defecto es de 95%, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.
- 3.1.7. Marque o desmarque el valor de **Mostrar gráfico.**, con esto se mostrará el gráfico una vez calculados los datos. Al no dejar marcado el valor, se puede apretar el botón de **Mostrar/Ocultar gráfico.** para mostrar u ocultar el gráfico.
- 3.1.8. Finalmente presione el botón **Calcular** para obtener el valor de b en el tiempo.

NOTA: UNA VEZ CALCULADOS LOS VALORES, SE OBTENDRÁ UN MENSAJE EN LA ZONA INFERIOR IZQUIERDA COMO EL QUE SE MUESTRA A CONTINUACIÓN:

CFE obtenido.



Guardar



Ayuda

NOTA: PARA SABER CÓMO MANEJAR EL GRÁFICO, DIRÍJASE A LA SECCIÓN **Manejo de gráficos**: DONDE SE MENCIONAN LAS FUNCIONAIDADES DE CADA BOTÓN Y CÓMO USARLO.

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

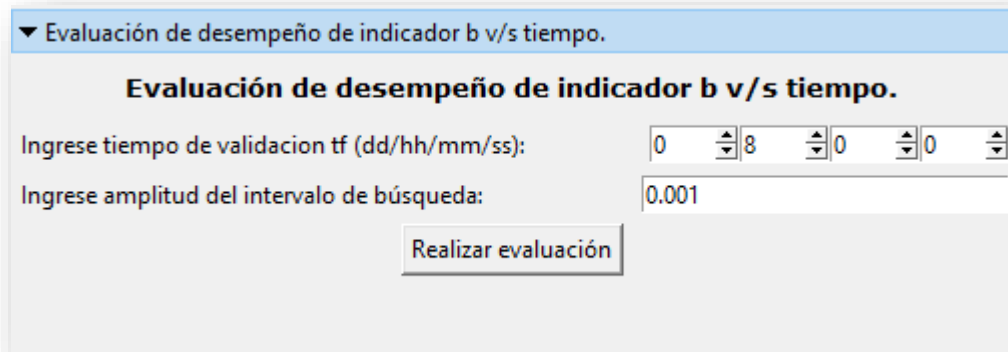
4. Evaluación de desempeño del indicador b:

En esta sección se puede evaluar el desempeño del indicador calculado en el punto 2. Para esto se buscará la ocurrencia de un evento de magnitud relevante, desde el momento que se activa la alarma, hasta el tiempo indicado t_f .

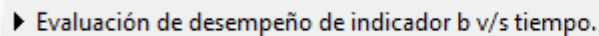
También se solicita el ingreso del intervalo de búsqueda del b crítico que maximizará el valor del Peirce Skill Score (PSS).

4.1. Método de uso:

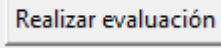
La sección posee el siguiente aspecto, que inicialmente está oculta:



- 4.1.1. Presione sobre el título, **Evaluación de desempeño de indicador b**, para desplegar la sección, esta tiene el siguiente aspecto:



- 4.1.2. Ingrese el **tiempo** que se utilizará para buscar un evento relevante ocurrido posterior a la señal de alerta del indicador. Cada entrada representa distintos valores de t_f , es decir, el primero representa los días, luego las horas, minutos y segundos. El valor de inicio es de 8 horas, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.
- 4.1.3. Ingrese el **intervalo de búsqueda** para encontrar el valor de b , que maximizará las señales de alarmas. El valor por defecto es de 0.001, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado. Se recomienda que el valor ingresado sea acorde al intervalo que abarca el **indicador b en el tiempo**, por lo que se pide observar previamente el gráfico mostrado en la sección donde se calculó dicho indicador. De lo contrario puede demorar más de lo planeado.

- 4.1.4. Finalmente presione el botón 

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

NOTA: A DIFERENCIA DE LAS SECCIONES ANTERIORES, EL RESULTADO DE ESTA SECCIÓN ES MOSTRADA INMEDIATAMENTE A CONTINUACIÓN DEL BOTÓN, DE LA SIGUIENTE MANERA:

▼ Evaluación de desempeño de indicador b v/s tiempo.

Evaluación de desempeño de indicador b v/s tiempo.

Ingrese tiempo de validacion tf (dd/hh/mm/ss):

Ingrese amplitud del intervalo de búsqueda:

TP=17 FP=95 FN=4 TN=76 TPR=0.81 FPR=0.56 PSS=0.25 b*=0.92

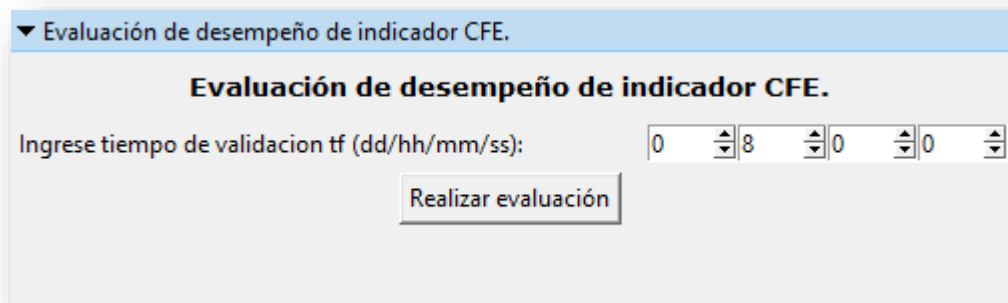
IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

5. Evaluación de desempeño del indicador CFE.

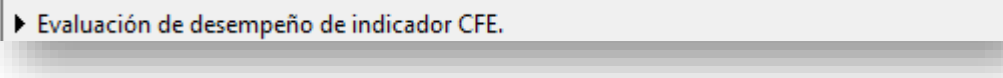
En este caso, al igual que en el punto 4. Se busca comparar las alertas encontradas por el indicador con la ocurrencia de un evento en un período t_f después de la alerta de la alarma.

5.1. Método de uso:

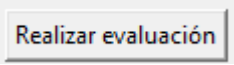
La sección posee el siguiente aspecto, que inicialmente está oculta:



- 5.1.1. Presione sobre el título, **Evaluación de desempeño de indicador CFE**, para desplegar la sección, esta tiene el siguiente aspecto:



- 5.1.2. Ingrese el tiempo que se utilizará para buscar un evento relevante ocurrido posterior a la señal de alerta del indicador. Cada entrada representa distintos valores de t_f , es decir, el primero representa los días, luego las horas, minutos y segundos. El valor de inicio es de 8 horas, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.

- 5.1.3. Finalmente presione el botón 

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

NOTA: AL IGUAL QUE EN LA SECCIÓN 4, EL RESULTADO DE ESTA SECCIÓN ES MOSTRADA INMEDIATAMENTE A CONTINUACIÓN DEL BOTÓN, DE LA SIGUIENTE MANERA:

▼ Evaluación de desempeño de indicador CFE.

Evaluación de desempeño de indicador CFE.

Ingrese tiempo de validacion tf (dd/hh/mm/ss): 0 8 0 0

Realizar evaluación

TP=242 FP=5963 FN=1025 TN=36071 TPR=0.19 FPR=0.14 PSS=0.05

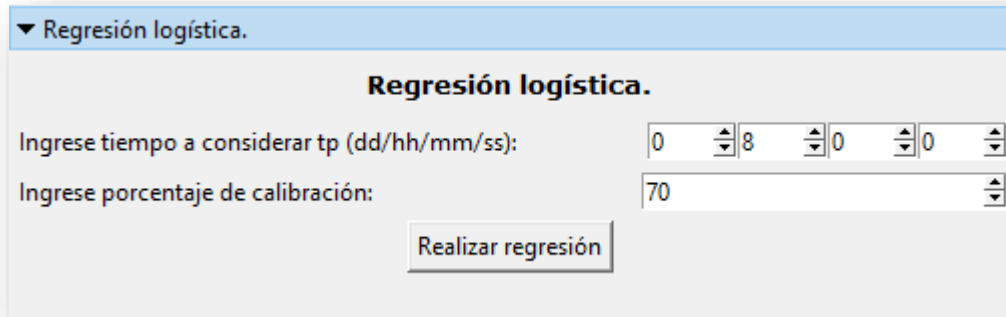
IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

6. Regresión logística:

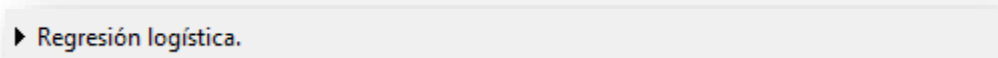
En esta sección el programa crea una regresión logística usando los datos previamente calculados, de momento sólo se ocupan el valor de b y la suma acumulada de la energía, posteriormente se agregarán nuevas variables.

6.1. Método de uso:

La sección posee el siguiente aspecto, que inicialmente está oculta:



6.1.1. Presione sobre el título, **Regresión logística**, para desplegar la sección, esta tiene el siguiente aspecto:



6.1.2. Ingrese el **tiempo** que se utilizará para buscar un evento relevante ocurrido posterior a la señal de alerta del indicador. Cada entrada representa distintos valores de **tp**, es decir, el primero representa los días, luego las horas, minutos y segundos. El valor de inicio es de 8 horas, pero si no desea dicho valor, borre e ingrese el deseado.

6.1.3. De igual manera, ingrese el **porcentaje de calibración**, este representa el porcentaje total en que se dividirá la muestra para crear la regresión, cuyo resto se ocupará para evaluar la efectividad de la regresión. El valor por defecto es de un 70%, pero si no desea dicho valor, replácelo por el valor deseado.

6.1.4. Finalmente presione el botón 

IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

NOTA: AL IGUAL QUE EN LA SECCIÓN 4 Y 5, EL RESULTADO DE ESTA SECCIÓN ES MOSTRADA INMEDIATAMENTE A CONTINUACIÓN DEL BOTÓN, DE LA SIGUIENTE MANERA:

▼ Regresión logística.

Regresión logística.

Ingrese tiempo a considerar tp (dd/hh/mm/ss): 0 8 0 0

Ingrese porcentaje de calibración: 70

Realizar regresión


La ecuación presenta una efectividad de 88.15%

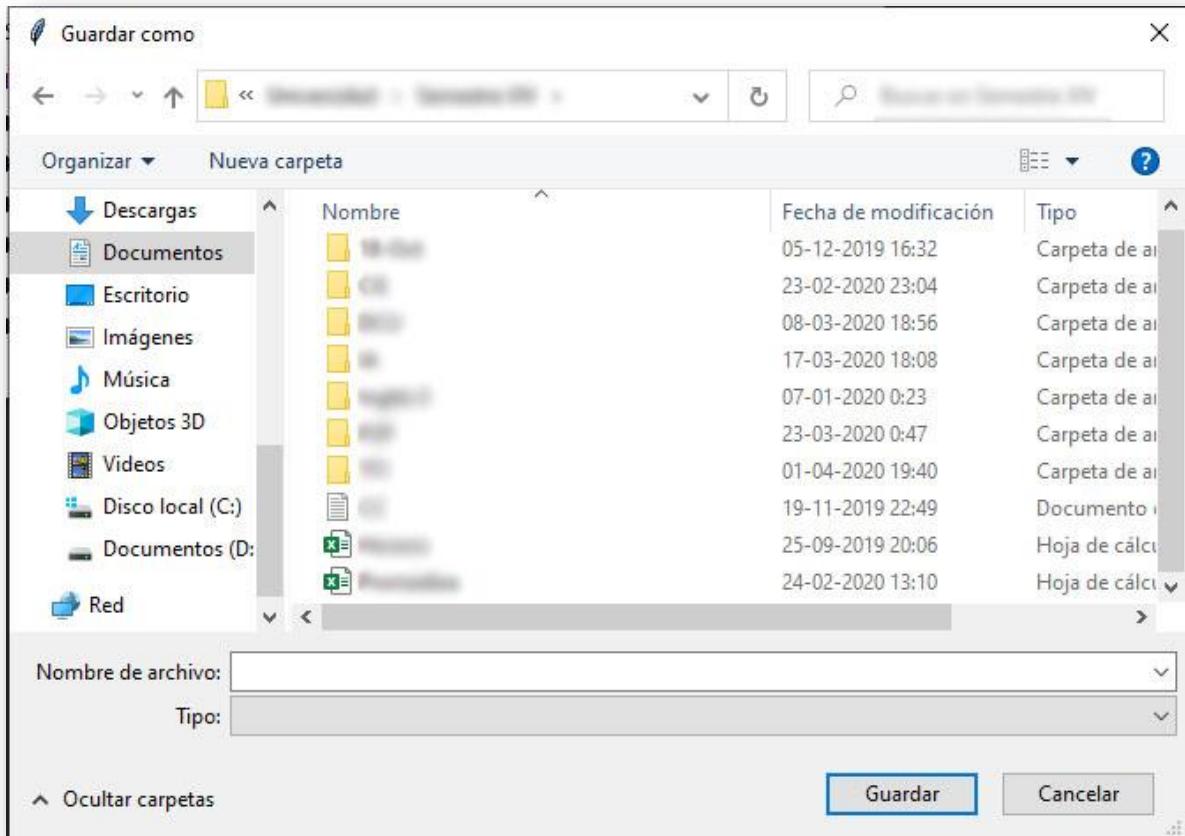
IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

7. Guardado de datos:

Este procedimiento puede realizarse cada vez que se estime conveniente y genera un documento de texto con los últimos datos calculados durante la ejecución del programa. Es decir, que cada sección sólo almacena los últimos datos calculados en dicha sección, borrándose una vez que se cambie de archivo o se recalcule una sección anterior.

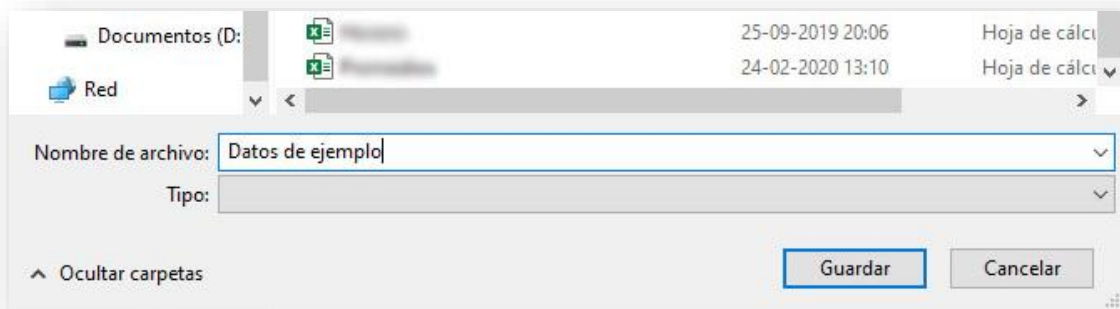
7.1. Método de uso:

7.1.1. Presione el botón  cuando estime conveniente. Aparecerá la siguiente ventana:



IMPLEMENTACIÓN DE APLICACIÓN DE ESCRITORIO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE INDICADORES SÍSMICOS EN MINERÍA.

7.2. Escriba el nombre del archivo donde se le indica. Como se muestra a continuación:



7.3. Finalmente presione el botón

Guardar

NOTA: DADO QUE EL PROGRAMA DE MOMENTO NO REGISTRA DATOS DE OTRA MANERA, SE RECOMIENDA CREAR TANTOS ARCHIVOS COMO NECESITE, DADO QUE CADA ARCHIVO GENERADO SERÁ INDEPENDIENTE DE LOS OTROS PREVIAMENTE CREADOS.