

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Escuela Profesional de Informática



**Sistema de Alerta Temprana y Monitoreo para evitar
Colapsos de los Relaves Mineros usando Paradigma
Funcional**

Nombre del curso: Paradigmas de Lenguaje de la Programación

Integrantes del grupo:

- 1.- Mendez Cruz Angely Yahayra
- 2.- Mendez Cruz Ciara Solange

Docente del Curso: Rodríguez Melquiades José Antonio

Trujillo - La Libertad
2021

Sistema de Alerta Temprana y Monitoreo para evitar Colapsos de los Relaves Mineros usando Paradigma Funcional

Monografía presentada en el curso Paradigmas de Lenguaje de la Programación como trabajo final del curso, es el producto logrado con los conocimientos adquiridos durante la III unidad, enfatizando en el paradigma de programación funcional, del mismo modo enfocándonos en la problemática de los relaves mineros en nuestro país y en el mundo.

Trujillo - La Libertad

2021

Resumen

El presente trabajo planteó como objetivo principal, implementar un sistema de alerta temprana y monitoreo usando paradigma de programación funcional para depósitos de relaves mineros que, a través de una plataforma de gestión de información, que proporcione información.

Se diseñó diferentes funciones tales como, para calcular los volúmenes, conversión de toneladas a metros cúbicos, área total del relave según el diámetro y profundidad y volumen ocupado y disponible en Dr. Racket, con información de tres empresas mineras: Empresa Minera Antamina, Consorcio Minero Horizonte y Minería Lincuna.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron que dos de las compañías mencionadas anteriormente generan niveles de alerta mínima y aún continúan con volúmenes disponibles mientras que, Minería Lincuna resultados negativos, lo que implica un nivel de alerta máxima que advierte a los usuarios para evitar accidentes de colapso.

Palabras claves: Relaves Mineros, Paradigma Funcional, Colapso, Nivel de alerta.

Índice de figuras

2.1 Estructura de la división de los Paradigmas de Programación.....	11
2.2 Programación Procedural o estructurada vs. Programación Funcional.....	12
3.1 Conversión de toneladas a metros cúbicos en Programación Funcional.....	15
3.2 Área total del relave según el diámetro y profundidad en Programación Funcional	16
3.3 Volumen ocupado y disponible en Programación Funcional.....	16
3.4 Resultados de las principales funciones y operaciones en Programación Funcional.	16
3.5 Resultados de la Ventana Principal y Secundaria con Programación Funcional e Interfaz Gráfica.....	17
3.6 Resultados de las 3 Ventanas de cada Empresa Minera Programación Funcional e Interfaz Gráfica.....	17
3.7 Angloamerican lleva control de presas de relaves a un siguiente nivel.	19

Índice de tablas

2.1 Inventario de pasivos ambientales.....	6
2.2 Producción estimada de relaves de Antamina.	7
2.3 Impactos ambientales.	9
3.1 Datos ingresados en vectores al sistema de alerta temprana y monitoreo.	15

Índice general

Resumen	II
Índice de Figuras	III
Índice de Tablas.....	III
1. Introducción.....	1
1.1 Realidad problemática.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos de la monografía	3
1.3.1 Objetivo general	3
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4 Método del trabajo	4
2. Relaves Mineros y el Paradigma de la Programación	5
2.1 Fundamentación teórica de los Relaves Mineros.....	5
2.2 Paradigma de Programación Funcional.....	10
3. Resultados y discusión de la monografía	15
3.1 Implementación.....	15
3.2 Resultados	16
3.3 Discusión.....	18
4. Consideraciones finales	20
4.1 Conclusiones	20
4.2 Trabajos futuros.....	20
Referencias bibliográficas.....	21

Capítulo 1

Introducción

1.1. Realidad problemática

En nuestro país y a nivel mundial la tendencia actual de la minería es encumbrarse como un sector responsable de sus operaciones y protector del medioambiente. Sin embargo, la explotación de los recursos metálicos deja grandes residuos que, de no atenderse inmediatamente, podrían representar una grave amenaza al ecosistema. Para contrarrestar este riesgo, surgen empresas con propuestas de creación de depósitos donde colocar relaves mineros, pero han existido accidentes a favor de la contaminación ambiental y en contra de la salud.

Para entender el nivel de peligro de los relaves mineros, si no son confinados, basta con citar el caso con graves consecuencias del accidente minero en Brasil, suscitado en febrero del 2019, donde el depósito de relaves mineros de Vale en Brumadinho, que formaba parte de la mina Córrego do Feijão, estaba inactivo desde 2016, pero se rompió por completo, y además del extenso daño humano contaminó el río Paraopeba. Aunque la minera afirmó que no hubo riesgos inminentes de rompimiento en ninguno de los diez depósitos, la acción es parte de una respuesta por el accidente. La ola de relaves mineros dejó 165 muertos y un número aún más grande de personas desaparecidas.

A nivel nacional, en nuestra patria, el cerro Tamboraque (Huarochirí), el cual alberga, según el ingeniero Óscar Cáceres, exasesor del Comité Nacional de Salud Ambiental del Ministerio de Salud (MINSA) en el año 2017, aproximadamente 400

millones de metros cúbicos de lodo y rocas, amenazaban con desplomarse y contaminar el río Rímac y dejar, por varios meses, sin agua a los habitantes de Lima.

Otro caso reciente contribuyendo a la contaminación es el desastre ambiental, que generó el derrame de relaves en Mina Cobriza del Perú afecta a río Mantaro, según lo informado, el accidente provocó que 37.000 m³ de relaves cayeran al río, afectando a la vecina localidad de Expansión, el pasado 10 de julio del 2020. El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) y las autoridades locales informaron que aún investigan las causas y la afectación al río Mantaro. Por lo que ordenó a Mina Cobriza a “recoger el relave, desmonte y material de arrastre proveniente del Relaves Zona Norte de la unidad minera Cobriza, así como remediar el suelo, lecho y ribera del río Mantaro, asimismo generar un control de supervisión y mantenimiento para que no exista peligro de colapso” del mencionado Relave.

Por los antecedentes de accidentes mineros expuestos, y los daños ambientales y a la salud nos planteamos la siguiente problemática ¿Será posible generar un Alerta Temprana y Monitoreo para evitar Colapsos de Residuos Peligrosos de los Relaves Mineros usando Paradigma Funcional?

1.2. Justificación

La preocupación generada ante la realidad problemática investigada, nos proporciona la importancia en señalar que se necesita un monitoreo y prevención adecuado para evitar daños irreversibles. Por lo que surge el propósito de resolver la problemática de la presente monografía, el cual es evitar y alertar el colapso de relaves mineros, de ese modo prevenir accidentes que suelen originarse por circunstancias como el mal manejo y supervisión de relaves durante la operación; ello implica un mal diseño de presa de relaves al proporcionar cantidades mayores de desechos o residuos sólidos y

líquidos al soporte, por lo que una buena investigación para caracterizar el sitio y materiales (relave), hacer la ingeniería (conceptual, básica y detalle), controlar la calidad de la construcción, asimismo establecer un control y prevención mediante supervisiones de los límites máximos.

Asimismo, la finalidad de esta investigación señala la importancia de una buena administración y gestión por parte de las empresas mineras y sus equipos a cargo en los relaves al depósito, debido a que cada depósito es único y con una composición diferente (ya sea en su geometría, capacidad de residuos, ubicación, etcétera).

Lo que se espera con la implementación de un programa gracias al Paradigma Funcional, es Alertar de forma Temprana y permitir a las empresas y ciudadanos realizar un Monitoreo para evitar Colapsos de Residuos Peligrosos de los Relaves Mineros, disponiendo una experiencia exitosa aplicada a la detección y manejo eficiente y responsable de relaves en el Perú y el mundo; así como la seguridad de presas de relaves: diseño y operación.

1.3. Objetivos de la monografía

Para establecer lo que pretende la investigación y así contribuir con la solución del problema formulado, se tienen los siguientes objetivos:

1.3.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema estándar de monitoreo y alerta temprana usando paradigma de programación funcional para depósitos de relaves mineros que, a través de una plataforma de gestión de información, proporcione a autoridades, compañías mineras y ciudadanos, información de calidad, confiable y oportuna sobre el desempeño de los relaves en el ámbito ambiental y sanitario.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Emplear el paradigma de programación funcional para la creación del sistema de monitoreo y alerta temprana, ya que este paradigma facilita el código más corto, sencillo, legible y preciso además que las funciones dentro de este paradigma adoptan diferentes “formas” es decir pueden enlazarse entre sí como los datos y utilizarse como parámetro y como resultado de la función lo que permite implementar y procesar tareas computacionales muy complejas.
- b) Controlar el colapso de relaves mineros y así prevenir desastres que generen víctimas fatales y desaparecidos de ese modo prevenir afecciones futuras sobre el entorno de los relaves mineros que, perjudiquen físicamente a las personas y al medio ambiente por el nivel altísimo de toxicidad que estos emiten.

1.4. Método del trabajo

Para poder evitar el colapso en relaves mineros, como primer paso se registraron todas las compañías mineras con todas las características que posee el relave de cada una de ellas. Seguidamente, se elaboró e implementó una base de datos que permitió identificar la cantidad de residuos generados por compañía minera y el análisis de la data generada y así tener resultados que les permitan tomar decisiones inmediatas sobre el mantenimiento preventivo y correctivo de los relaves.

Finalmente, esta base de datos también ayudó a establecer los momentos en que los diferentes tipos de residuos deben ser evacuados para su disposición final. De esta manera, se evita la sobre acumulación y se prevé el colapso de residuos en el relave ubicado en cada unidad minera.

Capítulo 2

Relaves Mineros y el Paradigma de la Programación Funcional

2.1. Fundamentación teórica de los Relaves Mineros

2.1.1. Relaves mineros

Según el trabajo publicado por el Instituto de Estudios Energéticos Mineros denominado Legislación Ambiental en la Minería Peruana, el relave viene a ser el residuo resultante del proceso de concentración de minerales, constituido en un lodo que contiene mineral sedimentado en pequeñas fracciones de rocas inertes e inocuas en grandes volúmenes. El lodo del relave lo constituye una serie de elementos y/o compuestos químicos resultantes o utilizados en las actividades del proceso minero, los que son señalados también como potenciales contaminantes hídricos: ácidos, metales en su forma de iones tales como cobre, plomo, zinc, níquel, fierro, arsénico, cadmio, cianuro de sodio (en la minería aurífera), reactivos químicos: ácidos (H_2SO_4 , ácido sulfúrico), álcalis, espumas y colectores, entre otros.

2.1.2. Relaves Mineros en el Perú

2.1.2.1. La producción de Relaves Mineros

En el Perú no existe un inventario específico referido a la producción de relaves mineros. La información oficial da cuenta

de los pasivos ambientales entre los cuales se encuentran estos desechos. Entiéndase por pasivos ambientales a aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

El Ministerio de Energía y Minas realizó el año 2006 un inventario de pasivos ambientales, actualizado en el año 2010 y recientemente en el año 2020 según información proporcionada en su página electrónica institucional. Una parte de estos pasivos son los depósitos de relaves abandonados al igual que las minas que contaban con ellos. Se presenta, a continuación, la cantidad de pasivos ambientales existentes y su evolución en este período de tiempo.

Tabla 2.1
Inventario de pasivos ambientales.

Dispositivo Legal	Año	Cantidad
Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros (RM 290-2006 MEM)	2006	850
Inventario Inicial actualizado en el año 2010 (RM 096-2010-MEM-DM)	2010	5551
Inventario Inicial actualizado en el año 2020 (RM 238-2020-MINEM/DM)	2020	7956

Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Para tener una idea de su magnitud, se presenta, como una muestra de la producción de relaves, información recogida de la página institucional de la minera Antamina, con un estimado de su producción diaria de relaves.

2.1.2.1.1. Datos de producción de relaves de Antamina

Antamina es un complejo minero polimetálico que produce concentrados de cobre, zinc, molibdeno, y concentrados de plata y plomo. Está ubicada en el distrito de San Marcos, departamento de Ancash, a 200 Km de Huaraz y a una altitud de 4.300 metros sobre el nivel del mar.

Tiene una presa de relaves, con capacidad para 570 Mton (Millones de toneladas) o 330 Mm³ (Millones de metros cúbicos). Antamina sostiene que la capacidad de la presa de relaves está programada para 23 años de vida útil. “La gigantesca presa de relaves de Antamina, la más alta del mundo en su tipo, tendrá capacidad para almacenar 570 Mton de material estéril o 330 Mm³ durante los 23 años de su vida útil”, menciona Ibídem.

Tabla 2.2

Producción estimada de relaves de Antamina.

Producción en toneladas	Tiempo
24,78 millones	Año
2,07 millones	Mes
68,83 miles	Día

Fuente: Página web de Antamina.

En este cuadro se ha presentado la estimación de la producción diaria de relaves de la minera Antamina basada en los datos que exhibe la descripción de su presa de relaves.

2.1.3. Impacto de Relaves Mineros en el Perú

La minería es una de las actividades más importantes por la generación de divisas, la generación de empleos, la participación activa en el incremento del Producto Bruto Interno y en el ingreso per cápita nacional; sin embargo, tiene una externalidad negativa que es la producción de relaves que ocasionan diversos impactos ambientales, sociales y económicos.

2.1.3.1. Impactos ambientales

Se trata de los efectos que los relaves provocan en los entornos donde se depositan y confinan, lo cual, al hacerse sin las precauciones técnicas recomendadas, puede provocar daños en cuerpos acuíferos (ríos, lagunas, napa freática), suelos y atmósfera (Ver **Tabla 2.3**). Tal vez lo más evidente de estos impactos tiene que ver con la degradación del paisaje que origina el relave, el cual, tras su acumulación, desaparece las coberturas vegetales, deseca lagunas y crea montículos que, al “crecer”, conforman colinas que modifican el relieve de un territorio. Como dice el Banco Mundial: “La inadecuada disposición de relaves y desmontes, así como los métodos inapropiados para la disposición de efluentes peligrosos y materiales contaminantes de las operaciones mineras, ya han causado casos graves de filtraciones, drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos

negativos en la biodiversidad y los ecosistemas.” (Banco Mundial 2005, 5-6).

A continuación, se presenta un cuadro de impactos ambientales con incidencia en la atmósfera, en el agua y en los suelos.

Tabla 2.3
Impactos ambientales

Impactos ambientales derivados de los relaves y residuos mineros	
Atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas de materia derivadas de la explotación superficial y el transporte.
Cuerpos de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Desagüe de desechos de minas. • Filtración a napa freática por lixiviación. • Residuos de procesamiento descargados directamente en cuerpos de agua.
Suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Descarga de desechos de minas y residuos de procesamiento. • Trastorno de la agricultura, la silvicultura y la recreación por minas a cielo abierto. • Inestabilidad física de los depósitos, agravada por riesgo sísmico. • Deforestación.

Fuente: Adaptado de Glynn, J. y G. Heinke, 1999.

2.1.3.2. Impactos sociales

Los impactos sociales se refieren a los efectos que los relaves originan en los modos de vida de las poblaciones humanas, así como en sus condiciones sociales, los que se perturban hasta el punto de generar perjuicios que la sociedad tiene que internalizar. El caso más palpable tiene que ver con los impactos registrados en la salud de las personas. La composición tóxica de los relaves, su ubicación en espacios adyacentes a poblaciones, agravan el riesgo de que las condiciones de salud de las personas sufran alteraciones altamente nocivas. La epidemiología reconoce numerosas enfermedades atribuibles a contacto con material proveniente de relaves mineros y pasivos ambientales (Ramos et. al., 2009).

2.1.3.3. Impactos económicos

Se refiere a las consecuencias negativas de los relaves y pasivos ambientales en las actividades económicas y productivas de las comunidades cercanas a las zonas críticas. Los impactos económicos derivados de los tratamientos deficientes de los relaves se han hecho más patentes a partir del caso de accidentes que han generado perjuicios importantes en actividades productivas, tales como la agricultura o la piscicultura. Sea por zonas de almacenamiento poco apropiadas, sea por riesgos derivados de la sismicidad del territorio peruano, las presas de relaves pueden colapsar y afectar carreteras, caminos, puentes, viviendas, así como infraestructura productiva (tierras de cultivo, canales acuíferos, piscigranjas).

2.2. Paradigma de Programación Funcional

2.2.1. Programación Declarativa

En la programación declarativa, se refiere a lenguajes de programación (o sentencias de código) en los que se declaran los valores, objetivos o características de los elementos del programa y en cuya ejecución no existe mutación (modificación de valores de variables) ni secuencias de pasos de ejecución. De esta forma, la ejecución de un programa declarativo tiene que ver más con algún modelo formal o matemático que con un programa tradicional imperativo (Domingo G., Pomares C., Botía A., Francisco M., 2020).

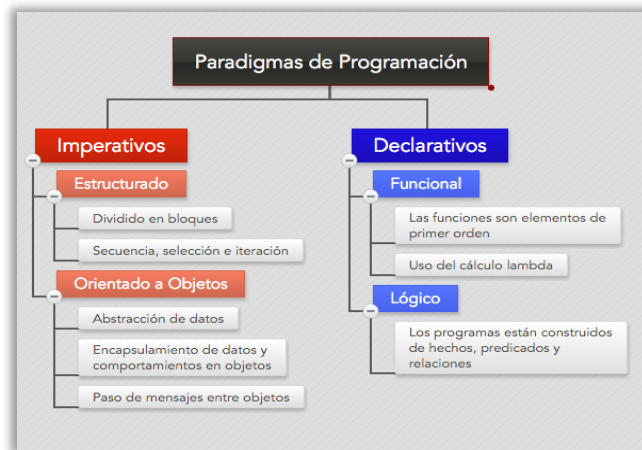


Figura 2.1: Estructura de la división de los Paradigmas de Programación.

Fuente: Ávila José - Blog de Programación Orientada a Objetos

Características de la programación declarativa:

- Variable = nombre dado a un valor (declaración).
- No existe asignación ni cambio de estado.
- No existe mutación, se cumple la transferencia referencial: dentro de un mismo ámbito todas las ocurrencias de una variable y las llamadas a funciones devuelven el mismo valor.
- No existen referencias.

2.2.2. ¿Qué es la Programación Funcional?

Según la Enciclopedia libre en Español Wikipedia, en informática, la programación funcional es un paradigma de programación declarativa basado en el uso de verdaderas funciones matemáticas. En este estilo de programación las funciones son ciudadanas de primera clase, porque sus expresiones pueden ser asignadas a variables como se haría con cualquier otro valor; además de que pueden crearse funciones de orden superior.

El fundamento de los lenguajes funcionales es el cálculo lambda, desarrollado por Haskell Curry en la década del 30. Es un cálculo de funciones basado en la abstracción y la aplicación. Curry demostró que las funciones definibles dentro de este cálculo corresponden a las computables por una máquina de Turing.

Un programa funcional está constituido enteramente por funciones; el programa principal es una función que toma como argumento la entrada al programa y genera la salida del programa como su resultado, según González Osorio (1998). Típicamente, la función principal se define en términos de otras funciones, y éstas, a su vez, en término de más funciones; esta cadena finaliza en funciones predefinidas o primitivas.

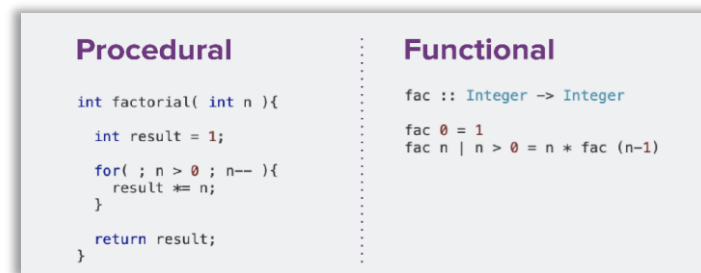


Figura 2.2: Programación Procedural o estructurada vs. Programación Funcional.

Fuente: Sallar (2019).

Las características del paradigma funcional son las siguientes:

2.2.2.1. Definición ecuacional o de funciones

Así lo señala Peña Ricardo de la Universidad Complutense de Madrid (1995), que un programa funcional consiste en esencia en un conjunto de definiciones de función. Cada definición de función consta de un conjunto de ecuaciones, de manera similar a las funciones matemáticas: reciben parámetros y devuelven siempre un único resultado de operar con esos parámetros. Por ejemplo, $\text{triplo } x = 3 * x$ define una función triplo que devuelve el triple del valor de su único parámetro.

2.2.2.2. Funciones de primera clase y de orden superior

Las funciones que manipulan otras funciones se dice que son "*funciones de alto orden*" o "*funciones de orden superior*". Este concepto puede verse desde varios puntos de vista. Ejemplo de esto es la **composición de funciones**. Podemos decir que la composición es una función que toma como argumentos las funciones a componer. transforman unos

datos de entrada en otros de salida. Es una idea muy actual, porque es la forma en la que están planteados muchos algoritmos de procesamiento de datos en inteligencia artificial.

2.2.2.3. Funciones puras

A diferencia de la programación imperativa, en programación funcional no es posible definir funciones con estado local. Las funciones que se definen son funciones matemáticas puras, que cumplen las siguientes condiciones:

- No modifican los parámetros que se les pasa.
- Devuelven un único resultado.
- No tienen estado local ni el resultado depende de un estado exterior mutable.

Esta última propiedad es muy importante y quiere decir que la función siempre devuelve el mismo valor cuando se le pasan los mismos parámetros.

Las funciones puras son muy fáciles de entender porque no es necesario tener en cuenta ningún contexto a la hora de describir su funcionamiento. El valor devuelto únicamente depende de los parámetros de entrada. Por ejemplo, funciones matemáticas como suma, resta, cuadrado, sin, cos, etc. cumplen esta propiedad.

2.2.2.4. Recursividad

Otra característica fundamental de la programación funcional es la no existencia de bucles. Un bucle implica la utilización de pasos de ejecución en el programa y esto es característico de la programación imperativa. En programación funcional las iteraciones se realizan con recursión.

2.2.2.5. Currificación o Currying

Tomás Eduard (2016), define que la currificación consiste en un mecanismo para la invocación parcial de funciones. Al invocar una función le pasamos todos sus parámetros y obtenemos un valor. Al invocarla parcialmente, le pasamos solo parte de

esos parámetros y obtenemos una función. A esa otra función le pasamos el resto de parámetros para terminar obteniendo el resultado final.

2.2.2.6. Cuestiones de eficiencia

Los lenguajes de programación en este paradigma son típicamente menos eficientes en el uso de CPU y memoria que los lenguajes imperativos como pueden ser C y Pascal. Esto está relacionado con el hecho de que algunas estructuras de datos de tamaño indefinido como los vectores tienen una programación muy sencilla usando el hardware existente, el cual es una máquina de Turing bastante evolucionada.

Capítulo 3

Implementación, resultados y discusión de la monografía

3.1. Implementación

Para la elaboración del sistema de alerta temprana y monitoreo se consideró la siguiente tabla con datos hallados manualmente que posteriormente se usaron para verificar y comparar con los resultados encontrados a través del programa elaborado en Dr. Racket.

Tabla 3.1

Datos ingresados en vectores al sistema de alerta temprana y monitoreo.

Compañía Minera		Producción de relave en toneladas						Características del Relave			
Nombre	Ubicación (Provincia- Departamento)	Día (t)	Día (m³)	Mes (t)	Mes (m³)	Año (t)	Año (m³)	Diámetro (m)	Área del relave (m²)	Profundidad (m)	Volumen (m³)
Antamina	Huaraz/Ancash	68,830	57,358.3	2,064,900	51,622,500	24,778,800	7,433,640,000	1800	2,543,400	140	356,076,000
Consorcio Minero Horizonte	Pataz/ La Libertad	65,860	54,883.3	1,975,800	49,395,000	23,709,600	7,112,880,000	1700	2,268,650	150	340,297,500
Compañía Minera Lincuna	Recuay/ Ancash	68,520	57,100	2,055,600	51,390,000	24,667,200	7,400,160,000	1500	1,766,250	160	282,600,000

Fuente: Elaboración propia.

Para ello se realizó una estimación de datos aproximados, para la primera empresa considerada los valores se obtuvieron de la **Tabla 2.2 Producción estimada de relaves de Antamina**. Los cuales sirvieron para adicionar como ejemplo dos empresas mineras más como Consorcio Minero Horizonte y Compañía Minera Lincuna.

Las principales funciones y operaciones usadas para la implementación del sistema de alerta temprana y monitoreo fueron la conversión de toneladas a metros cúbicos, el área

del relave según diámetro, el área total del relave según el diámetro y profundidad, asimismo de la cantidad hallada tanto para el volumen ocupado como para el volumen disponible.

```

13 ;Convierte toneladas a volumen segun tiempo *cubicodia*
14 (define (cubicodia A) ;A=toneladas
15 ;Volumen=Masa/Densidad *Densidad relave: 1200kg/m3
16 (exact->inexact>(* (/ A 1200) 1000)))
17
18 ;Convierte toneladas a volumen segun tiempo *cubicomes*
19 (define (cubicomes A) ;A=toneladas
20 ;Volumen=Masa/Densidad *Densidad relave: 1200kg/m3
21 (exact->inexact>(* (/ A 1200) 1000 30)))
22
23 ;Convierte toneladas a volumen segun tiempo *cubicoano*
24 (define (cubicoano A) ;A=toneladas
25 ;Volumen=Masa/Densidad *Densidad relave: 1200kg/m3
26 (exact->inexact>(* (/ A 1200) 1000 360)))

```

Figura 3.1: Conversión de toneladas a metros cúbicos en Programación Funcional.

Fuente: Elaboración propia extraída de Dr. Racket.

```

36 ;Area del relave segun diametro *areadelcirculo*
37 (define (arearelave A) ;A= diametro
38 ;Area=0.25*(pi=3.14)*Diametro*Diametro
39 (exact->inexact>(* 0.25 3.14 A A)))
40
41 ;Volumen del relave segun diametro y profundidad *m3*
42 (define (volumenrelave A B) ;A= diametro B=profundidad
43 ;Volumen=Area*Profundidad
44 (exact->inexact>(* (arearelave A) B)))

```

Figura 3.2: Área total del relave según el diámetro y profundidad en Programación Funcional.

Fuente: Elaboración propia extraída de Dr. Racket.

```

56 ;Volumen ocupado hasta hoy
57 (define (volumenocupado B C) ;B=dias C=indice vector
58 (exact->inexact(* B(cubicodia(vector-ref diast C)))))
59
60 ;Volumen disponible hasta hoy
61 (define (volumendisponible C) ;B=dias C=indice vector
62 (exact->inexact(-(volumenrelave(vector-ref diametro C) (vector-ref profundidad C))
63 (volumenocupado (vector-ref diashastareporte C) C) )))
64

```

Figura 3.3: Volumen ocupado y disponible en Programación Funcional.

Fuente: Elaboración propia extraída de Dr. Racket.

3.2 Resultados

Al culminar con la investigación se llegaron a resultados interesantes del punto de vista tanto teórico como en el uso del Paradigma de Programación Funcional.

-COMPAÑIA MINERA- Antamina-Huaraz-Ancash	-COMPAÑIA MINERA- Consorcio Minero Horizonte-Pataz-Recuay	-COMPAÑIA MINERA- Minera Lincuna-La Libertad-Ancash
-PRODUCCIÓN DEL RELAVE- t =Tolenadas m³ =Metros cúbicos Dia(t):68830 Dia(m³):57358.33333333336 Mes(t):2064900 Mes(m³):51622500.0 Año(t):24778800 Año(m³):7433640000.0	-PRODUCCIÓN DEL RELAVE- t =Tolenadas m³ =Metros cúbicos Dia(t):65860 Dia(m³):54883.33333333336 Mes(t):1975800 Mes(m³):49395000.0 Año(t):23709600 Año(m³):7112880000.0	-PRODUCCIÓN DEL RELAVE- t =Tolenadas m³ =Metros cúbicos Dia(t):68520 Dia(m³):57100.0 Mes(t):2055600 Mes(m³):51390000.0 Año(t):24667200 Año(m³):7400160000.0
-CARACTERÍSTICAS DEL RELAVE- m =Metros m² =Metros cuadrados m³ =Metros cúbicos *Diametro(m):1800 *Área(m²):2543400.0 *Profundidad(m):140 *Volumen total(m³):356076000.0	-CARACTERÍSTICAS DEL RELAVE- m =Metros m² =Metros cuadrados m³ =Metros cúbicos *Diametro(m):1700 *Área(m²):2268650.0 *Profundidad(m):150 *Volumen total(m³):340297500.0	-CARACTERÍSTICAS DEL RELAVE- m =Metros m² =Metros cuadrados m³ =Metros cúbicos *Diametro(m):1500 *Área(m²):1766250.0 *Profundidad(m):160 *Volumen total(m³):282600000.0
-ALERTA DEL RELAVE- *Estado: ACTIVO *Fecha de inicio de producción: 05-Agosto-2021 *Días transcurridos hasta hoy: 40 días. *Volumen ocupado hasta hoy: 2294333.3333333335 *Volumen disponible hasta hoy: 353781666.6666667 (NIVEL DE ALERTA MÍNIMA)	-ALERTA DEL RELAVE- *Estado: ACTIVO *Fecha de inicio de producción: 18-Febrero-2018 *Días transcurridos hasta hoy: 1304 días. *Volumen ocupado hasta hoy: 71567866.66666667 *Volumen disponible hasta hoy: 268729633.3333333 (NIVEL DE ALERTA MÍNIMA)	-ALERTA DEL RELAVE- *Estado: ACTIVO *Fecha de inicio de producción: 26-Marzo-2005 *Días transcurridos hasta hoy: 6016 días. *Volumen ocupado hasta hoy: 343513600.0 *Volumen disponible hasta hoy: -60913600.0 (NIVEL DE ALERTA MÁXIMA)

Figura 3.4: Resultados de las principales funciones y operaciones en Programación Funcional.

Fuente: Elaboración propia extraída de Dr. Racket.

Implementación del Sistema de Alerta y Monitoreo de Relaves Mineros en Interfaz Gráfica en DrRacket, brindándole al usuario, una implementación amigable y accesible para usar.

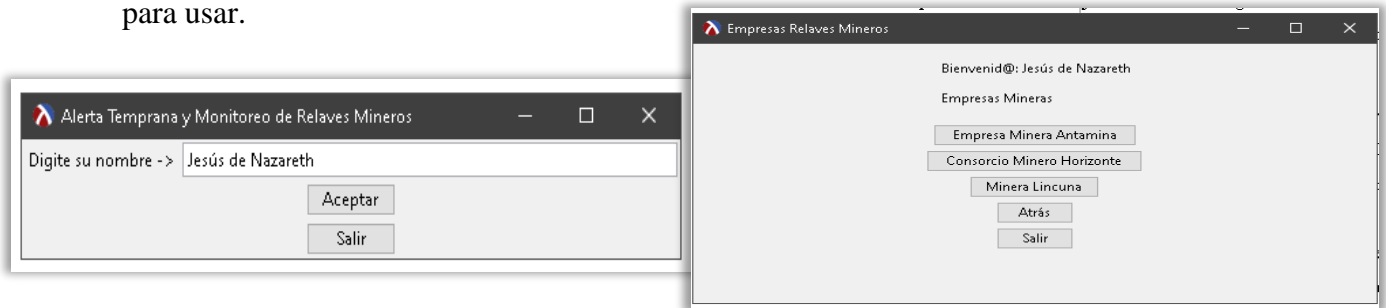


Figura 3.5: Resultados de la Ventana Principal y Secundaria con Programación Funcional e Interfaz Gráfica.

Fuente: Elaboración propia extraída de Dr. Racket.

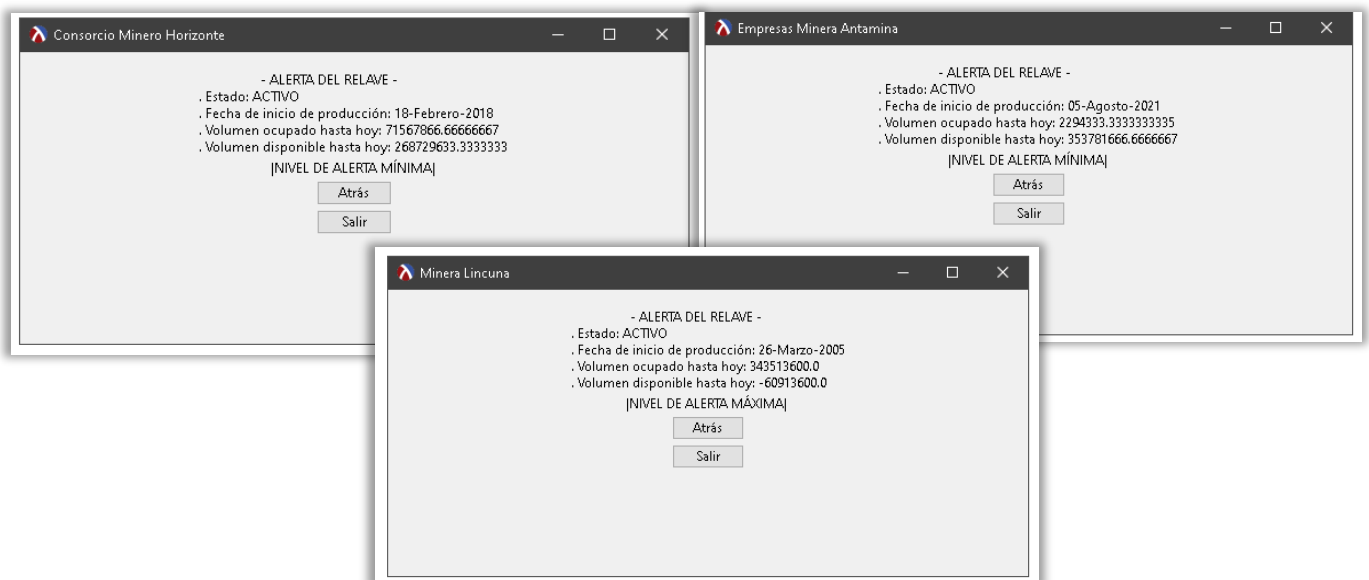


Figura 3.6: Resultados de las 3 Ventanas de cada Empresa Minera Programación Funcional e Interfaz Gráfica.

Fuente: Elaboración propia extraída de Dr. Racket.

3.2. Discusión

En el presente trabajo se obtuvieron los resultados tomando los datos de relaves obre tres empresas mineras, las cuales son: Empresa Minera Antamina, Consorcio Minero Horizonte y Minería Lincuna. Del mismo modo se obtuvo que de los datos proporcionados en la **Tabla 3.1**, haciendo uso del paradigma de programación funcional, impulsando nuevas formas de establecer datos y brindar información a través de los resultados como se observa en la Figura , se obtiene que la ALERTA DEL RELAVE, para la empresa Minera Antamina es NIVEL DEL ALERTA MÍNIMA, así también para el Consorcio Minero Horizonte, con el NIVEL DE ALERTA MÍNIMA,, por el contrario la tercera empresa evaluada arroja un resultado negativo con un NIVEL DE ALERTA MÁXIMA, por lo que el usuario puede interpretar como una advertencia y avisar a las autoridades tanto de la empresa como de la localidad.

En cuanto a los resultados de los volúmenes disponibles (**Figura 3.6**) y el posible riesgo que generaría el exceso ante un posible colapso y accidentes irremediables, para la Empresa Minera Antamina un 353781666.66 m³, mientras que el Consorcio Minero Horizonte arrojó 268729633.33 m³, que significa que aún tienen espacio para albergar más relave y no están en riesgo; además la minera Lincuna presentó un volumen negativo, -60913600.0 lo que significa que existe un colapso del relave, es decir residuos tóxicos, albergados en la presa de contención, por lo que necesita atención inmediata.

Según Perú Minero (2019), en la mina de cobre Quellaveco en Perú, la compañía minera diversificada Anglo American implemento nuevas técnicas que le dan a la empresa mucho más control sobre las presas de relaves.

Dicha empresa desarrollo una nueva técnica que proporciona información sobre la cantidad de agua en sus presas de relaves, alerta e instalaciones de fibra óptica en algunas

de sus instalaciones de almacenamiento de relaves que proporcionan un monitoreo en tiempo real de la deformación, filtración y posible colapso ante terremotos o lluvias. Verifica las características geológicas y estructurales de las represas y sus cimientos. “*Nadie más en la industria está haciendo esto*”, reveló el director técnico de Anglo American, Tony O’Neill.

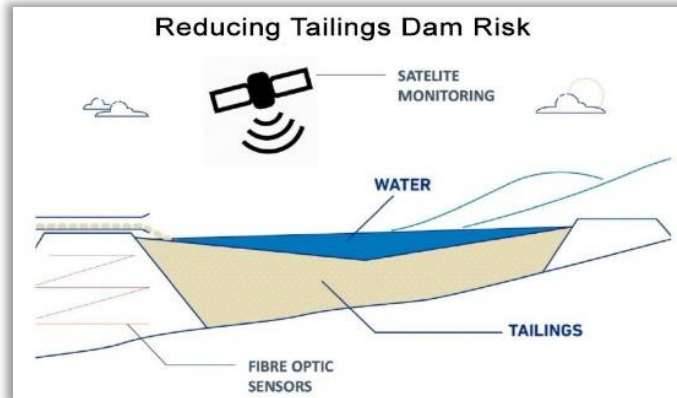


Figura 3.7: Angloamerican lleva control de presas de relaves a un siguiente nivel

Fuente: Perú Minero (2019)

Capítulo 4

Consideraciones finales

4.1. Conclusiones

- Se logró desarrollar un sistema estándar de monitoreo y alerta temprana usando paradigma de programación funcional para depósitos de relaves mineros, el cual proporciona información de calidad, confiable y oportuna, como características importantes, volúmenes total y disponible sobre el desempeño de los relaves en la actualidad y en que condición se encuentran para ser declarados con alerta mínima o máxima.
- Se implementó funciones y operaciones usando el paradigma de programación funcional, además haciendo uso de funciones puras, código más preciso y más corto, en cuanto al almacenamiento de datos es implícito, las operaciones asignan almacenamiento solo cuando es necesario y luego se libera automáticamente, las que me permitieron encontrar resultados sobre los relaves mineros y por tanto con esos resultados lograr controlar el colapso de los mismos y tomar acciones frente a resultados que indiquen que el relave no es favorable para la sociedad.

4.2. Trabajos futuros y recomendaciones

A partir del presente trabajo se puede continuar con las siguientes investigaciones:

- Se propone ampliar la investigación, para conocer la cantidad de días restantes que le quedan al relave minero para el colapso, también determinar el área del muro de contención que amortigua y rodea cada uno de estos depósitos.
- Se propone que este sistema sea usado por autoridades, compañías mineras y asociaciones especializadas en análisis de monitoreo y control de los volúmenes y capacidades de los relaves mineros de ese modo se podrá tener perspectivas diferentes y futuros cambios al presente trabajo.

Referencias bibliográficas

- Enciclopedia libre en Español Wikipedia. Programación funcional.
https://es.wikipedia.org/wiki/Programaci%C3%B3n_funcional#Sistemas_de_tipos
- González Osorio (1998). Programación Funcional: Conceptos y Perspectivas. Instructor Asociado del Departamento de Ingeniería de Sistemas, Universidad Nacional de Colombia. <https://dialnet.unirioja.es> › descarga › artículo.
- Peña R. (1995). La programación funcional en Haskell. Departamento de Informática y Automática de la Universidad Complutense de Madrid.
https://www.researchgate.net/publication/277290326_La_programacion_funcional_en_Haskell
- Tomás Eduard (2016). Qué es la "Curriificación" en programación funcional. Campus MVP. <https://www.campusmvp.es/recursos/post/Que-es-la-Curriificacion-en-programacion-funcional.aspx>
- Domingo G., Pomares C., Botía A., Francisco M. (2020). El paradigma de Programación Funcional. Departamento Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Alicante. <https://domingogallardo.github.io/apuntes-lpp/teoria/tema02-programacion-funcional/tema02-programacion-funcional.html>
- Cruzado E., Bravo F (2010) Impacto de los relaves mineros en el Perú.
[https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/dgp/ciae.nsf/vf07web/BA9A77F64A43DBDC0525780E0070D202/\\$FILE/IT021_04011111.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/dgp/ciae.nsf/vf07web/BA9A77F64A43DBDC0525780E0070D202/$FILE/IT021_04011111.pdf)
- Ministerio de Energía y Minas (2020) Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros.
http://www.minem.gob.pe/_legislacionM.php?idSector=1&idLegislacion=13355
- Rumbo Minero Internacional (2017) Relaves Mineros: Optimizando la Gestión para una industria ecoamigable. <https://www.rumbominero.com/revista/relaves-mineros-optimizando-la-gestion-para-una-iindustria-ecoamigable/>