

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Carrera de Ingeniería de Sistemas



SISTEMA DE INFORMACION DE ALERTAS DE ESTABILIDAD FISICA EN DIQUES DE RELAVE

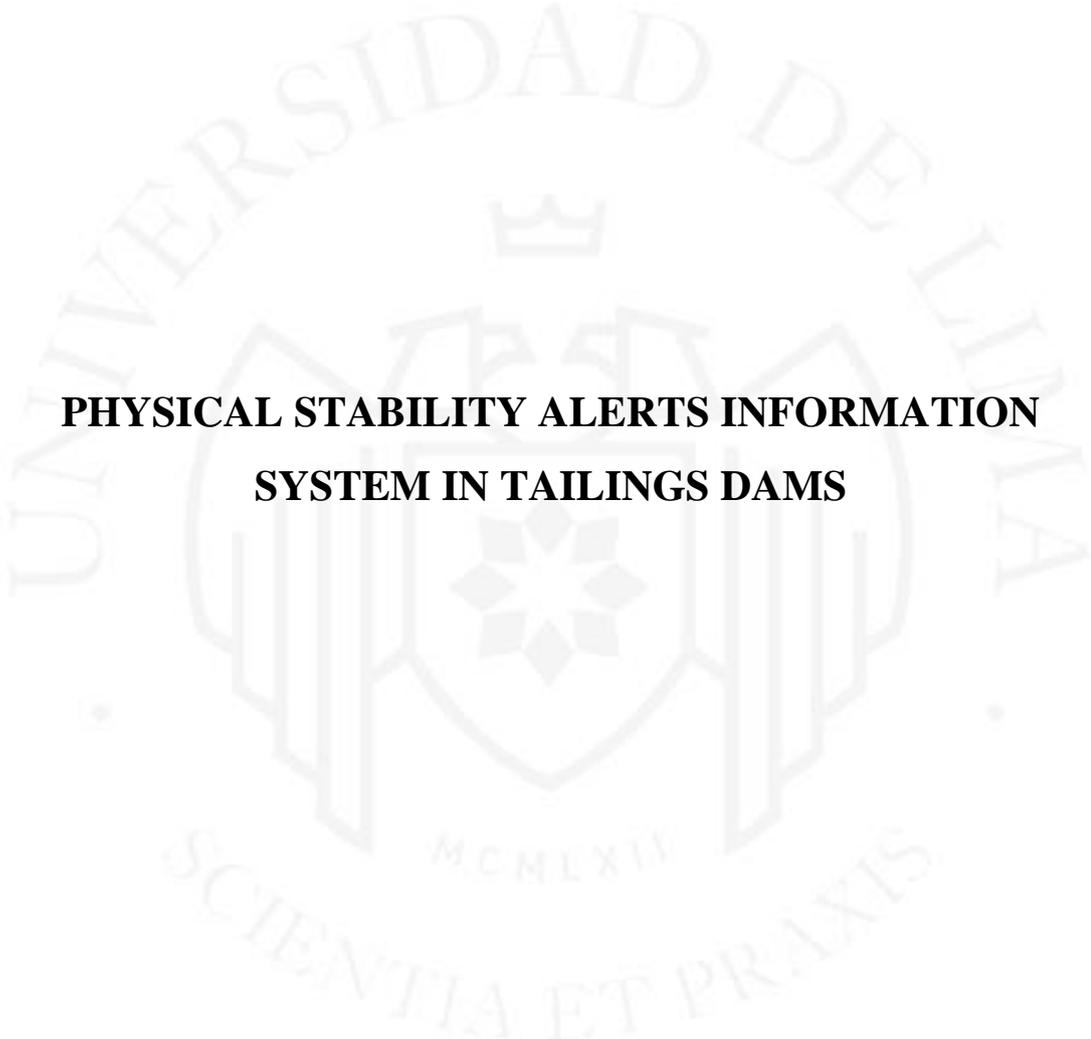
Trabajo de suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero de
Sistemas

Daniel Estuardo Llanos Sanabria
Código 19970975

Asesor

Miguel Angel Valencia Amado

Lima – Perú
Mayo de 2019



**PHYSICAL STABILITY ALERTS INFORMATION
SYSTEM IN TAILINGS DAMS**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II: CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS	3
2.1 Antecedentes:.....	3
2.2 Contaminación ambiental:	3
2.2.1 Impacto ambiental:	4
2.2.2 Diques de relaves controlados:	4
2.2.3 Aprendizaje automático	4
2.2.4 ¿Qué es aprendizaje automático?	5
2.3 ¿Cómo trabaja el aprendizaje automático?.....	6
2.3.1 Análisis de datos:.....	6
2.3.2 Análisis predictivo:.....	6
2.3.3 Predicción	7
2.3.4 Pensamiento de diseño:	7
2.4 ¿Qué es pensamiento de diseño?	7
2.4.1 ¿Cómo poner en práctica estas metodologías?.....	8
2.4.2 Comprender:	8
2.4.3 Observar + empatizar:	9
2.4.4 Definir:.....	9
2.4.5 Idear:.....	9
2.4.6 Prototipar:	9
2.4.7 Testear:	9
2.4.8 Implementar:.....	9
2.5 Lean canvas:	10
2.6 Marco Normativo:	10
2.7 Definición de Términos:	11
CAPÍTULO III: FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO	12
3.1 Fundamentación de la deseabilidad del proyecto	12
3.2 Fundamentación de la factibilidad del proyecto.....	12

3.3	Fundamentación de la viabilidad técnica.....	14
3.3.1	Disponibilidad	15
3.3.2	Recursos de Microsoft Azure	16
3.3.3	Seguridad	16
3.3.4	Protección de Datos	16
3.4	Implementación	17
3.5	Arquitectura	18
CAPÍTULO IV: DEFINICIÓN DEL PROYECTO		19
4.1	Definición del problema	19
4.2	Objetivo general	20
4.3	Objetivos específicos	20
4.4	Diseño para la propuesta de valor.....	20
4.4.1	Perfil del cliente.....	20
4.4.2	Perfil del valor del producto	21
4.5	Modelo de negocio propuesto.....	22
4.5.1	Inversión	24
4.5.2	Ingresos.....	25
4.5.3	Egresos.....	29
4.5.4	Flujo de Caja.....	32
CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PROTOTIPO		33
5.1	Metodología.....	33
5.2	Planificación	35
5.3	Definición	36
5.3.1	Definición de la Hipótesis	36
5.3.2	Definición del producto mínimo viable.....	37
5.3.3	Definición de las métricas	37
5.4	Retroalimentación.....	38
5.5	Diseño de vistas	39
5.5.1	Diseño de las vistas del prototipo	39
5.6	Implementación	42
5.6.1	Pseudocódigo de la plataforma web	42
5.6.2	Definición de la medición de las variables	43
5.7	Selección del modelo de predicción	44
5.8	Entrenamiento del Modelo de predicción.....	45

CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS	49
BIBLIOGRAFÍA	51



INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 <i>Tabla comparativa</i>	17
Tabla 4.1 <i>Activos fijos</i>	25
Tabla 4.2 <i>Gastos preoperativos</i>	25
Tabla 4.3 <i>Demanda potencial por las medidas administrativas 2019</i>	26
Tabla 4.4 <i>Demanda potencial por las medidas administrativas 2018</i>	27
Tabla 4.5 <i>Sanciones impuestas por relaves</i>	28
Tabla 4.6 <i>Ingreso de ventas anuales</i>	28
Tabla 4.7 <i>Gastos administrativas por mes</i>	29
Tabla 4.8 <i>Gastos administrativos anuales</i>	30
Tabla 4.9 <i>Gastos operativos por mes</i>	30
Tabla 4.10 <i>Gastos operativos anuales</i>	31
Tabla 4.11 <i>Pago de proveedores mensual</i>	31
Tabla 4.12 <i>Pago de proveedores anuales</i>	31
Tabla 4.13 <i>Flujo de caja</i>	32
Tabla 5.1 <i>Parámetros de inclinación</i>	43
Tabla 5.2 <i>Parámetros de nivel de agua superior</i>	44
Tabla 5.3 <i>Parámetros de nivel de agua inferior</i>	44

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	<i>Modelo de predicción</i>	5
Figura 2.2	<i>Proceso predicción</i>	6
Figura 2.3	<i>Proceso iterativo</i>	8
Figura 3.1	<i>Nivel de riesgo</i>	13
Figura 3.2	<i>Supervisión en las unidades mineras</i>	14
Figura 3.3	<i>Diseño de la Arquitectura</i>	18
Figura 4.1	<i>Modelo de negocio</i>	22
Figura 5.1	<i>Ciclo Lean Startup</i>	34
Figura 5.2	<i>Cronograma del proyecto</i>	35
Figura 5.3	<i>Gantt del proyecto</i>	36
Figura 5.4	<i>Vista del registro al sistema</i>	39
Figura 5.5	<i>Vista al acceso al sistema</i>	39
Figura 5.6	<i>Vista al módulo de alertas</i>	40
Figura 5.7	<i>Vista de la lectura de los datos del sensor</i>	40
Figura 5.8	<i>Vista del módulo de estadísticas</i>	41
Figura 5.9	<i>Vista de la alerta de desborde</i>	41
Figura 5.10	<i>Medición de variables</i>	43
Figura 5.11	<i>Algoritmo bosque de decisión multiclase</i>	45

RESUMEN

Debido a la problemática actual donde se ven afectados directamente los recursos naturales por la contaminación de grandes extensiones de suelos y ríos, impactando el medioambiente, dicha contaminación son ocasionadas por las fallas en la estabilidad física de los diques de relave. Para ello se plantea el desarrollo de un sistema de alertas de la estabilidad física de los diques, con la finalidad de minimizar los riesgos y evitar que ocurran estos derramamientos de relave, por tanto, se abordara el caso en base a las entrevistas y a los informes del Ministerio de Energía y Minas (MINEM).

Luego del análisis de las entrevistas y de los informes proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas, se identificó la necesidad de automatizar el registro de las mediciones de las variables de humedad e inclinación de los diques de relave, por lo que el análisis se realizará principalmente sobre estas dos variables que son fundamentales para mantener la estabilidad de los diques, ya que si estas variables no son controladas se tendría un riesgo potencial de deslizamientos en los dique de relaves.

El objetivo de este proyecto consiste en automatizar la recolección de la data a través de los sensores digitales de humedad e inclinación instalados en el dique de relave para luego enviar esta data hacia los servicios de computación en la nube (Computing Cloud Services). Por medio de una conexión a Internet donde se podrá acceder a los recursos computacionales donde estarán desplegados los servidores web y base de datos, para la implementación del servicio se enfoca en la infraestructura como servicio de “Infraestructure as a Service” (IaaS), posteriormente con el uso de aprendizaje automático (Machine Learning) como medio de innovación se podrá interpretar esta data y generar posibles escenarios de predictibilidad, para evitar fallas de estabilidad física.

Esta propuesta busca dar solución como medida de prevención de colapsos de diques de relave, con esto se mitigaría los desastres medioambientales, y pérdidas humanas de las comunidades donde se desarrolla la actividad minera.

Palabras clave

Cloud Computing, Tratamiento de depósitos de relave, Machine Learning, Diques, Servicios de nube.

ABSTRACT

Due to the current problems where natural resources are directly affected by contamination of large areas of soil and rivers, impacting the environment, said contamination is caused by failures in the physical stability of the tailings dikes. For this, the development of an alert system for the physical stability of the levees is proposed, in order to minimize the risks and prevent these tailings spills from occurring, therefore the case will be addressed based on the interviews and reports from the Ministry of Energy and Mines (MEM).

After the analysis of the interviews and the reports provided by the Ministry of Energy and Mines, the need to automate the recording of the measurements of the variables of humidity and inclination of the tailings dikes was identified, so the analysis will be carried out mainly on these two variables that are essential to maintain the stability of the dams, since if these variables are not controlled there would be a potential risk of landslides in the tailings dam.

The objective of this project is to automate the data collection through the digital humidity and inclination sensors installed in the tailings dam and then send this data to the computing services in the cloud (Computing Cloud Services). Through an Internet connection where you can access the computational resources where the web servers and databases will be deployed, for the implementation of the service it focuses on the infrastructure as a service of “Infrastructure as a Service” (IaaS), later With the use of machine learning (Machine Learning) as a means of innovation, it will be possible to interpret this data and generate possible predictability scenarios, to avoid physical stability failures.

This proposal seeks to provide a solution as a measure to prevent the collapse of tailings dams, thereby mitigating environmental disasters and human losses in the communities where mining activities take place.

Keywords

Cloud Computing, tailings treatment, Machine Learning, dykes, cloud services.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La evolución del manejo de relaves de la minería en el Perú como tal, se inicia a finales del siglo XVI, donde ya se empleaban molinos artesanales para triturar minerales, esta incipiente minería ya comenzaba a generar pequeñas cantidades de desmonte a consecuencia del chancado de piedras para la obtención del mineral.

Con el auge de la revolución industrial se incorporan las máquinas de vapor, que incrementaron las capacidades de los molinos, produciéndose más desechos o relaves que se disponían en los cursos de los ríos más cercanos con la finalidad que estos sean arrastrados por la corriente del río. Es decir, no había un manejo ambiental de estos residuos.

A finales del siglo XIX se incorporó la técnica de flotación y también se llevó a cabo la introducción del cianuro para la extracción de oro, con el método de flotación se generó una mayor producción de relaves, no obstante estos se disponían en lugares muy distantes de arroyos y lagos, ya a mediados del siglo XX se establecieron medidas de manejo ambiental, cesando la descarga descontrolada de relaves en los cuerpos de agua, para lo cual se construyeron los primeros diques para contener estos residuos.

La construcción de los diques de contención de relave se inició empíricamente con la tecnología y los equipos disponibles para esa época, pero en 1960 bajo los postulados de la ingeniería geotécnica se construirían los diques modernos. A principios de 1980 se enfatizó en los factores que determinan la estabilidad física de los depósitos de relaves.

En la actualidad Europa lidera la investigación sobre los agentes externos que afectan la estabilidad física de los diques, ya que a pesar del desarrollo de la ingeniería, éstos tienen un alto potencial de riesgo ante la presencia de agua superficial y subterránea, que impactarían en la seguridad del dique, debido a infiltraciones que podrían conllevar a una falla del dique de relave afectando el medio ambiente (Ministerio de Energía y Minas [MEM], 1995).

Por otro lado, de acuerdo con la revisión de documentación para el desarrollo de este proyecto se identificó que para el seguimiento del comportamiento de los diques las

técnicas actualmente utilizadas para la toma de datos son los piezómetros e inclinómetros, y en la mayoría de los casos son manuales realizándose de forma interdiaria, es decir 15 veces al mes. Y la forma como se realiza la toma de los valores es introducir sondas conectadas al piezómetro o al inclinómetro en tubos que ya han sido previamente introducidos en el suelo, con esta acción se obtiene la medición de los niveles de humedad y de la presión del relave que aplica sobre las paredes del dique.

De acuerdo a los valores obtenidos en la recolección manual, para el control de la estabilidad física se podría utilizar esta información para la toma de acciones a determinar por la empresa minera, mediante la expulsión del agua excedente sobre el relave, ya sea este excedente de agua por lluvia, afluentes, ríos o aguas subterráneas, ya que de acuerdo a los valores de los piezómetros se mide la presión de los poros, y de acuerdo a estos valores se encienden las bombas para extraer el agua excedente o también se puede reforzar el dique, de esa manera se evita un desplazamiento de las paredes o la filtración del agua por ende se evita el colapso del dique.

Si bien la gestión de los residuos ha ido mejorando en el tiempo, a pesar del desarrollo de la ingeniería además de la regulación ambiental, aún existen factores que pueden influenciar en el comportamiento del dique, los mismos que deben ser controlados de una forma más eficiente, en tal sentido el sistema de alertas de estabilidad física de diques de relave busca evitar las fallas de ruptura de los muros de los diques que conllevan a la contaminación de grandes extensión, ya que este sistema proporcionara en tiempo real el estado en que se encuentran los diques.

Por lo cual se desarrollará la solución a este problema en base a la metodología Lean Startup parametrizando la evolución del proceso de innovación para el diseño de la plataforma tecnológica que soporte este modelo de negocio de gran envergadura.

CAPÍTULO II: CONCEPTOS Y FUNDAMENTOS

2.1 Antecedentes:

Debido a los acontecimientos generados por la falla de estabilidad física, en los diques de relaves a nivel mundial, donde han ocurrido este tipo de desastres se debió a la falla de la estabilidad física, el Perú cuya actividad principal es la minería no es ajeno a dichos acontecimientos por lo que la propuesta presentada está centrada en la comprensión de las fallas ocurridas en Perú enfocadas en el análisis de las variables de humedad por filtración y desplazamientos del dique cuyos datos se obtienen de piezómetros e inclinómetros respectivamente con el objetivo de minimizar dichas fallas.

Según la Tesis de Denis Palomino (Almerco Palomino, 2014), sobre la construcción de dique con tratamiento del relave, en la mina catalina huanca – región Ayacucho indica, que hace algunos años en el Perú no había un plan contención ni de tratamiento de los derivados de las operaciones mineras, por lo cual la forma de deshacerse de estos residuos era dejándolos en quebradas, lagunas y ríos, pero desde que se implementó el reglamento ambiental de la actividad minera, surgió la necesidad de controlar la estabilidad física de los diques y de esta forma se evitarían los desbordes de relave.

2.2 Contaminación ambiental:

Considerando que existen potenciales fallas en los depósitos de relaves, se propone la automatización de la recolección de datos a través de los sensores, para el monitoreo en tiempo real, que cubriría la necesidad de alertas predictivas ante una posible falla del dique, y así evitar la contaminación del suelo y grandes extensiones de agua debido a que los depósitos de relaves contienen altas concentraciones de metales pesados y agentes químicos que se agregaron en el proceso de concentración de minerales alguno de estos agentes químicos usados son el cianuro, arsénico, mercurio, plomo y cadmio, que son letales por su alta toxicidad al contacto de estos químicos (Ministerio del Ambiente, [MINAM], s.f).

Para la prevención de estas fallas en los diques de relave, se considera las normas tanto para la prevención, mitigación como control de riesgos del reglamento para la protección ambiental en la actividad minera (Servicio Nacional de Certificación Ambiental, [SENACE], 2014).

2.2.1 Impacto ambiental:

Es importante precisar que la autoridad competente en fiscalización en aspectos de seguridad en la infraestructura, instalaciones y operaciones mineras es OSINERMIN, para lo cual en el marco de sus competencias verifica el cumplimiento de los controles implementados en el dique durante la operación de la misma. Sin embargo; debido a que no todas las empresas mineras son supervisadas, se hace necesario contar con un sistema de alertas tempranas que permita mitigar oportunamente una posible falla en el dique y de esta manera evitar el pago de multas o sanciones que deriven en la paralización de las operaciones, a consecuencia de los impactos generados sobre cuerpos de agua, suelos y pérdidas de vidas humanas (Ministerio de Energía y Minas, s.f), así como el daño reputacional a la operación minera.

2.2.2 Diques de relaves controlados:

De acuerdo con lo indicado en los párrafos anteriores, el presente trabajo propone dar una solución a la problemática actual en torno a la estabilidad física de los depósitos de relaves, para lo cual se cambiará la recolección de la data la cual es manualmente, para ser obtenida esa información a través de los sensores de manera automática hasta donde el trabajo lo describe, para luego ser utilizados en el proceso de análisis.

2.2.3 Aprendizaje automático

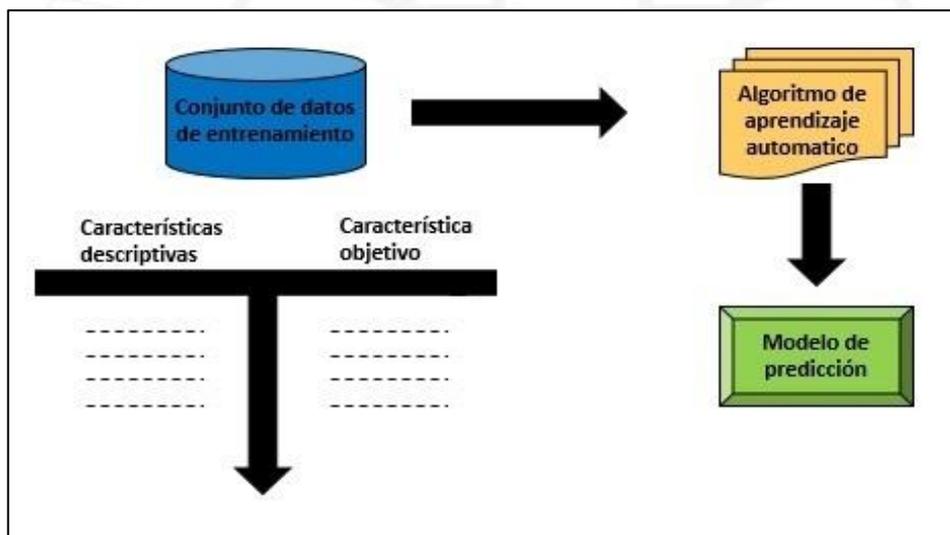
Aprendizaje automático (Machine Learning) se encuentra en el ámbito de los sistemas que aprenden de forma autónoma, identificando comportamientos de datos en grandes cantidades de data en lo que se denomina inteligencia artificial.

2.2.4 ¿Qué es aprendizaje automático?

“Machine Learning is defined as an automated process that extracts patterns from data. To build the models used in predictive data analytics applications, we used supervised Machine Learning. Supervised Machine Learning techniques automatically learn a model of the relationship between a set of descriptive features and a target feature based on a set of historical examples, or instances.” [El aprendizaje automático se define como un proceso automatizado que extrae patrones de los datos. Para construir los modelos utilizados en aplicaciones de análisis de datos predictivos, utilizamos aprendizaje automático supervisado. Las técnicas supervisadas de aprendizaje automático aprenden automáticamente un modelo de la relación entre un conjunto de características descriptivas y una característica de tara basada en un conjunto de ejemplos o instancias históricas.] (Kelleher, Namee, D’Arcy, 2015, p. 3).

Figura 2.1

Modelo de predicción



Fuente: Fundamentals of Machine Learning for predictive data analytics.

En la figura 2-1 se definen las características descriptivas y las de objetivo para que con algoritmos de aprendizaje automático se pueda obtener un modelo de predicción.

Figura 2.2

Proceso predicción



Fuente: Fundamentals of Machine Learning for predictive data analytics.

En la figura 2-2 se muestra el modelo de predicción como un proceso, que luego del proceso interno de las variables, da como resultado una predicción

2.3 ¿Cómo trabaja el aprendizaje automático?

“Machine Learning algorithms works by searching through a set of possible prediction models for the model that best captures the relationship between the descriptive features and target features in a dataset. An obvious criteria for driving this search is to look for model that are consistent with the data.” [Los algoritmos de aprendizaje automático funcionan mediante la búsqueda en un conjunto de posibles modelos de predicción para el modelo que mejor captura la relación entre las características descriptivas y las características de destino en un conjunto de datos. Un criterio obvio para conducir esta búsqueda es buscar modelos que sean consistentes con los datos.] (Kelleher,Namee, D’Arcy, 2015, p. 5).

2.3.1 Análisis de datos:

Análisis de datos (Data analytics) es la conceptualización del análisis de datos de grandes volúmenes de data para emitir resultados de gran precisión para la toma de decisiones.

Cloud computing es el servicio ofrecido en internet, donde la escalabilidad y aumento de recursos será bajo demanda de la operación contratada.

2.3.2 Análisis predictivo:

“Predictive analytics aims to determine what is likely to happen in the future. This analytics based on statistical techniques as well as other more recently developed techniques that fall under the general category of data mining.” [El análisis predictivo tiene como objetivo determinar qué es probable que suceda en el futuro. Este análisis se basa en técnicas estadísticas, así como en otras técnicas desarrolladas más recientemente

que se incluyen en la categoría general de minería de datos.] (Sharda, Delen, Turban, 2018, p. 25).

2.3.3 Predicción

“Prediction is commonly referred to as the act of telling about the future. It differs from simple guessing by taking into account the experiences, opinions, and other relevant information in conducting the task of foretelling. A term that is commonly associated with prediction is forecasting.” [La predicción se conoce comúnmente como el acto de contar sobre el futuro. Se diferencia de la simple conjetura teniendo en cuenta las experiencias, opiniones y otra información relevante al realizar la tarea de predicción. Un término que se asocia comúnmente con la predicción es el pronóstico.] (Sharda, Delen, Turban, 2018, p. 200).

Para el desarrollo del proyecto se está considerando el uso de las metodologías y técnicas del pensamiento de diseño (desing thinking) y lean canvas

2.3.4 Pensamiento de diseño:

Pensamiento de diseño (Desing Thinking) es la metodología que será usada para la implementación del desarrollo del proyecto en la creación de una plataforma web de alertamiento, como medio de publicación del monitoreo en tiempo real de las fallas de la estabilidad física de un dique de relave minero, se utilizará la data obtenida de los sensores instalados en el dique los cuales proporcionarán el estado físico del dique.

2.4 ¿Qué es pensamiento de diseño?

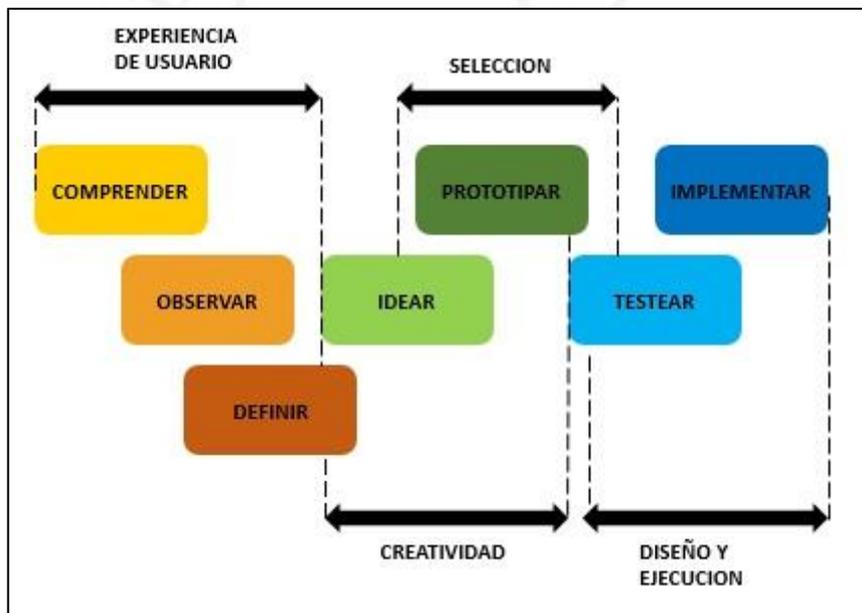
De acuerdo con Serrano y Blázquez (2016), El pensamiento de diseño (desing thinking) es una manera de resolver problemas reduciendo riesgos y aumentando las posibilidades de éxito. Empieza centrándose en las necesidades humanas y, a partir de ahí, observa, crea prototipos y los prueba, consigue conectar conocimientos de diversas disciplinas (psicología, sociología, marketing, ingeniería...) para llegar a una solución humanamente deseable, técnicamente viable y económicamente rentable. (p. 17)

2.4.1 ¿Cómo poner en práctica estas metodologías?

De acuerdo con Serrano y Blázquez (2016), Los métodos que se aplicarán pueden resumirse en una serie de etapas que cada diseñador ha agrupado en forma diferente, pero que en esencia son: comprender, observar, definir, idear, prototipar, testear, implementar y aprender. En el marco de estas fases, se pueden definir problemas, realizar las preguntas más adecuadas, crear más ideas y seleccionar las mejores respuestas. Estos pasos no son lineales, pueden ocurrir simultáneamente y puede ser repetitivos en lo que los diseñadores llaman un “Proceso iterativo”.

Figura 2.3

Proceso iterativo



Fuente: Desing thinking: Lidera el presente, crea el futuro.

De acuerdo con el gráfico se puede identificar los procesos que se deben seguir para el desarrollo de un proyecto, el cual se detalla a continuación:

2.4.2 Comprender:

En esta primera fase se debe formar un equipo multidisciplinar adecuado para poder identificar las necesidades expuestas por las personas que se han reunido con el equipo, ya que el objetivo principal es el resolver el problema, con los diferentes criterios del equipo.

2.4.3 Observar + empatizar:

La clave para la obtención de las necesidades de los usuarios es la inclusión de sus sentimientos con lo que se podría llegar de mejor forma a empatizar con ellos de tal modo que los usuarios sientan que han conectado con ellos, y con lo cual se logra obtener estas necesidades humanas como punto de partida.

2.4.4 Definir:

En esta etapa se debe considerar todas las alternativas posibles de solución al problema, desde las más obvias hasta las más excéntricas, sin dar ninguna por sentada. Para luego agruparlas en las que se hayan identificado ciertas similitudes.

2.4.5 Idear:

Una vez que se tenga definido las posibles soluciones, se debe empezar a crear los conceptos que puedan resolver los problemas identificados.

2.4.6 Prototipar:

Es uno de los pasos más importantes del proceso. Consiste en construir lo más rápido posible el producto o servicio realizando bocetos a mano alzada, maquetas físicas o virtuales. El prototipo no se tiene que hacer con los materiales finales ya que se deben generar ágilmente para poder hacer tangibles las ideas y con esto ser capaces de evaluar y redefinirlas hasta obtener la que sea aceptada por los usuarios.

2.4.7 Testear:

En esta fase se prueba el diseño del prototipo, donde el principal factor es la retroalimentación ya que esta brinda la información del usuario, y este bucle se realiza hasta encontrar la aceptación por parte del usuario.

2.4.8 Implementar:

Finalmente se procede con la implementación, de la mejor opción propuesta al usuario luego de haber realizado los procesos antes mencionados, con lo cual se reduce la

incertidumbre del éxito del servicio o producto a desarrollar. (Serrano, M y Blázquez, P Desing thinking: Lidera el presente, Crea el futuro pp. 72-79)

Cabe indicar que en el proceso de iteración las etapas se pueden traslapar no necesariamente se tiene que concluir una etapa para empezar la siguiente.

2.5 Lean canvas:

De acuerdo con Mejía-Giraldo, J.F. (2019). A pesar de que en el lean canvas se resalte la importancia de no limitar un modelo de negocio a la formulación de una solución para un problema, es mucho más enfático que el mismo canvas, en la medida en que una nueva empresa surge a partir de la identificación de un problema que podría ser resuelto por un producto o un servicio de forma factible y que, además, alguien estaría dispuesto a pagar por ello. En este orden de ideas, aunque el término solución puede ser más abierto que propuesta de valor lo que permitiría plantear soluciones a problemas no necesariamente en clave de bienes de consumo, lo que sugiere el lean canvas es que una solución es "viable" en la medida en que sea posible que alguien la compre, propuesta que también su modelo predecesor sugiere. En este sentido, es oportuno precisar, en primer lugar, que ambos modelos relacionan el concepto de problema de forma muy cercana a lo que se podría concebir como necesidades, a pesar de que en estos modelos se mencione ambos términos de forma indistinta y sin ninguna discusión sobre sus implicaciones para la creación de nuevos productos y servicios. Innovar: Revista de ciencias administrativas y sociales, 29(72), 31-40.

2.6 Marco Normativo:

- Decreto Supremo N°040-2014-EM Reglamento de Protección y Gestión Ambiental para las actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero.
- Decreto Supremo N°019-2009-MINAM Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley N°2746, Ley de Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental y su modificatoria.
- Ley N°29733, Ley de Protección de Datos Personales

2.7 Definición de Términos:

- Contaminación Ambiental: Acción por la cual el hombre introduce contaminantes al ambiente en concentraciones no permitidas.
- Depósitos de relaves: Son grandes obras de construcción que almacenan materiales y residuos de las operaciones mineras.
- Impacto ambiental: Actividad que altera los componentes del ambiente por acción directa del desarrollo de un proyecto.
- Relaves: Son los materiales triturados que se encuentran en medio arenoso mezclado con agua en los cuales se encuentran suspendidos agentes químicos.
- Estabilidad Física: Propiedad de mantener un cuerpo en estado de equilibrio o estable.
- Sistemas de Alertas: Conjunto de instrumentos, procedimientos y capacidades para difundir información de manera oportuna con el fin de salvaguardar la exposición de las personas al peligro.

CAPÍTULO III: FUNDAMENTACIÓN DEL PROYECTO

3.1 Fundamentación de la deseabilidad del proyecto

Luego de entrevistar a funcionarios del Ministerio de Energía y Minas y de la revisión de los informes proporcionados del monitoreo geotécnico con la instrumentación instalada en los depósitos de relaves 1, 2 y Chinchán en su fase I, la guía ambiental para el manejo de relaves mineros, la resolución N° 052-2016-OS/TAS TEM-S2 del Tribunal de apelaciones de sanciones en temas de energía y minería OSINERGMIN (Organismo Supervisor de la inversión en energía y minería), y del informe periodístico de prensa libre del canal América TV (Prensa Libre, 2010)

De aquí la finalidad del proyecto, será la creación de un sistema de monitoreo que puede alertar en tiempo real la estabilidad física de los diques de relave, con lo cual se busca minimizar el riesgo de desastres medio ambientales, con el fin de evitar las penalidades económicas de la empresa minera y así mismo se evitarían pérdidas humanas de las comunidades en las unidades mineras.

3.2 Fundamentación de la factibilidad del proyecto

Principalmente el proyecto se implementaría para utilizar la data de los sensores que se enviaron a la nube como input para el tratamiento y análisis de los posibles escenarios de predictibilidad, y con lo cual se reduciría el riesgo de colapso de un dique de relave, ya que con el uso de los algoritmos de Machine Learning se podría identificar los parámetros fuera del rango de las condiciones normales en tiempo real.

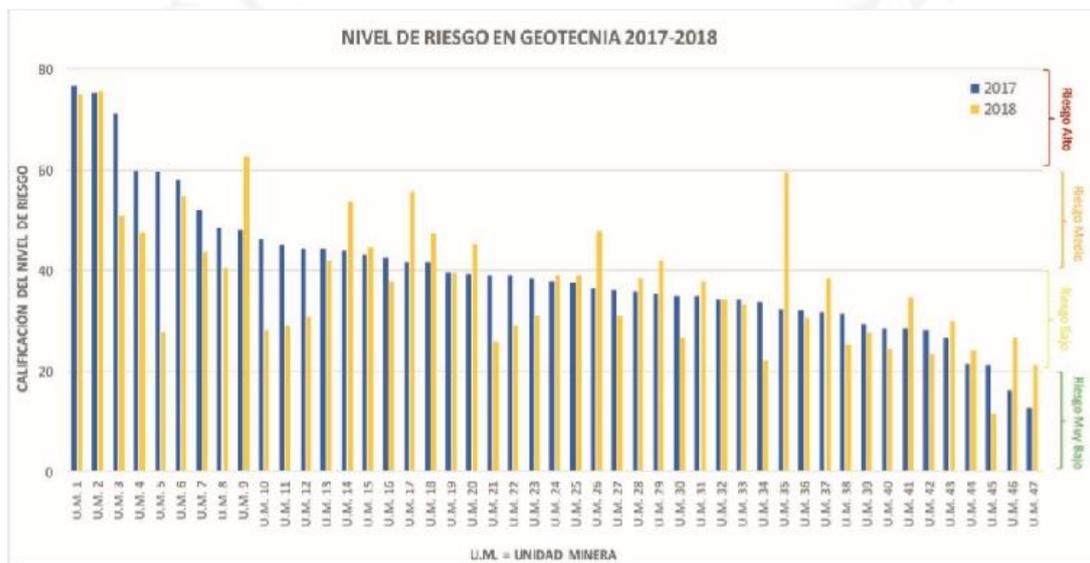
Como resultado de aplicar la metodología Design Thinking se determinó que el proyecto tendría gran aceptación ya que automatiza la recolección de data, y con esto se reduciría el tiempo de procesamiento de esta data, pero lo fundamental de este proyecto es la inclusión del módulo de aprendizaje automático (Machine Learning) para que con la data obtenida pueda generar escenarios de predictibilidad del comportamiento de la estabilidad del dique, por tanto la implementación de la solución es técnicamente posible con sensores digitales y microcomputadores de bajo costo y este monitoreo generará un

alto valor de seguridad de la comunidad minera y así contribuye a minimizar el impacto ambiental por contaminación de relaves.

Por tanto, se analiza la factibilidad económica para determinar la rentabilidad del proyecto, de acuerdo al análisis de las supervisiones ejecutadas por Osinergmin en los años 2017 y 2018, sobre los parámetros de seguridad relacionados a los depósitos de relave en 47 unidades mineras, se establecieron los parámetros de riesgos, desde bajo hasta riesgo alto.

Figura 3.1

Nivel de riesgo

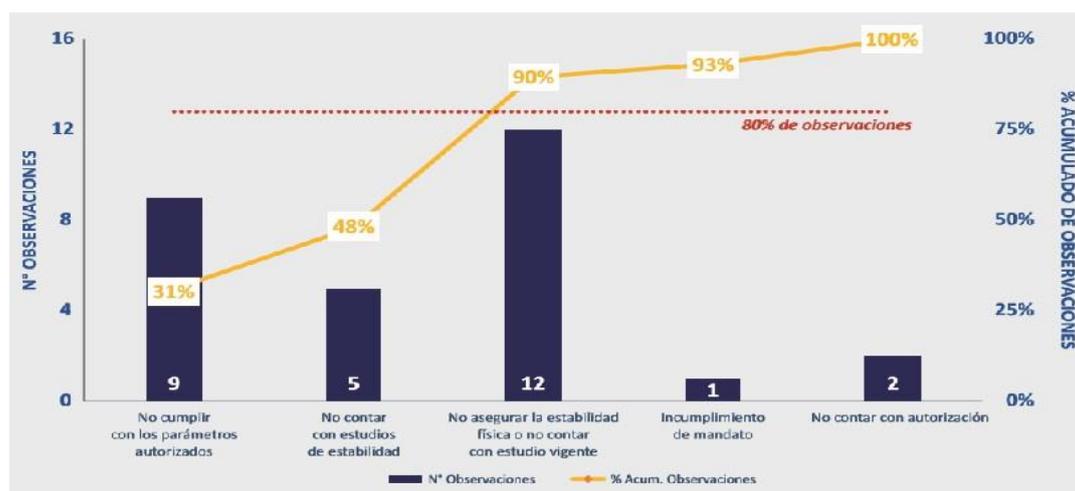


Fuente: Osinergmin - Boletín segundo trimestre 2019

De acuerdo con los resultados del segundo trimestre del 2019, el 75% de estas supervisiones estaban relacionadas a la estabilidad física de los depósitos de los relaves, por lo que se observa que en estos últimos 2 años se han sancionado 35 unidades mineras.

Figura 3.2

Supervisión en las unidades mineras



Fuente: Osinergmin - Boletín segundo trimestre 2019

3.3 Fundamentación de la viabilidad técnica

La propuesta es brindar el servicio de monitoreo en tiempo real de alertas que afectan la estabilidad física de los diques de relave.

Estas alertas serán emitidas por el sistema propuesto el cual se detalla a continuación, los sensores digitales instalados en los diques, iniciarán el proceso con el input de los valores de las variables de humedad e inclinación, para ser enviados hacia los módulos de procesamientos basados en Linux, en estos módulos con acceso a internet se formarán la tramas y se transmitirá la data a los servicios de computación en la nube de Azure en el servidor de base de datos se alimentará de esta trama, luego esta data estructurada será enviada al módulo de Machine Learning el cual con sus algoritmos de autoaprendizaje podrá establecer cuales con los parámetros críticos que pueden generar una posible falla en la estabilidad del dique, para que proceso concluya en la publicación de esta alerta en una web responsive en la primera versión, en la segunda versión ya se

enviarán notificaciones a dispositivos móviles Android o IOS. Es importante indicar que el software del módulo computacional será implementado en Linux de código abierto.

También se incluirán para la implementación del proyecto, los servicios de un analista con experiencia en Machine Learning, un programador en php y también a un especialista en infraestructura para la comunicación e integración entre los módulos computacionales y la nube, así también se incluirán los gastos de marketing y publicidad.

El valor post implementación del sistema de monitoreo de alertas predictivas en tiempo real, sería la mejora de la reputación de la empresa minera ya que este sistema implementado respaldaría una buena práctica complementaria de la seguridad del manejo de depósitos de relave, y al tener una mejor reputación en sus estándares de seguridad, se podría conseguir la autorización para la ampliación de los depósitos de relave en menor tiempo.

Dado a que la viabilidad técnica como mecanismo que favorece al desarrollo de esta propuesta, esta misma sería el impulso para poder realizar la replicación y el escalamiento de este sistema de monitoreo a las diferentes unidades mineras que tengan depósitos de relave.

3.3.1 Disponibilidad

Los servicios en la nube de Microsoft Azure ofrecen una amplia gama de servicios en computación en la nube (Cloud computing), con una flexibilidad y escalabilidad de crecimiento, según se requiera la capacidad de procesamiento solicitada bajo demanda.

Este servicio de Azure tiene una alta disponibilidad que nos asegura que nuestro servicio esté disponible en un 99.90%

En la actualidad los servicios en la nube pueden ser adquiridos por empresas con poco capital financiero y podrían acceder a todos los recursos informáticos que se ofrecen en nube a un bajo costo, con contratos de usos de recursos modificables en línea (Microsoft Azure, s.f).

3.3.2 Recursos de Microsoft Azure

Azure SQL Database

- Región: Este de EE.UU
- Sistema Operativo: Windows
- Instancia: Gen 5, 2 vCore, 8 GB de RAM, 32 GB Almacenamiento
- Nivel Seguridad: RA-GRS

Azure App Service

- Región: Oeste de EE.UU
- Sistema Operativo: Windows
- Instancia: Gen 5, 1 vCore, 1.75 GB de RAM, 50 GB Almacenamiento
- Nivel Servicio: Aprovisionado

Azure Machine Learning

- Región: Este de EE.UU.2
- Sistema Operativo: Windows
- Instancia: D3 v2: 4 vCPU, 14 GB de RAM
- Tipo de Uso: Implementación de modelos con AKS

3.3.3 Seguridad

Para los controles de las vulnerabilidades de seguridad se utilizarán las ya implementadas en el servicio de Azure, la cual garantiza los servicios integrados de seguridad en la nube, estos servicios de seguridad permiten identificar amenazas de manera eficiente y nos permite el ahorro del desarrollo de una capa de seguridad.

Así también los servicios de cloud de Azure, proporcionan seguridad multicapa en los centros de datos de Azure a nivel mundial, las cuales tienen controles integrados a los componentes de hardware y firmware, con la supervisión de expertos en ciberseguridad.

3.3.4 Protección de Datos

La privacidad y protección de datos están enmarcados en el servicio de nube el cual cumple los más altos estándares de privacidad, para cumplir las normativas exigidas sobre

la protección datos y de este modo evitar que los datos sean expuestos al ser utilizados en campañas publicitarias y de marketing.

3.4 Implementación

En la implementación del proyecto a desarrollar, se considera en esta primera versión los sensores que se conectarán a los módulos de Raspberry pi 3+ basados en Raspbian una versión de la distribución del sistema operativo Debian de código libre, este módulo procesará la información de estos sensores y enviará la data a través de Wi-Fi haciendo uso del protocolo TCP/IP, hacia la nube de Microsoft donde se almacenará la data en una base de datos Azure SQL Database el cual expondrá esta información al módulo de Azure Machine Learning para que genere los posibles escenarios de predictibilidad y el resultado de este proceso pueda ser publicado en nuestra web responsive alojado en nuestro servicio web de Azure App Services.

Las características de flexibilidad, despliegue y construcción de plataformas abiertas de sistemas computacionales en la nube, conjuntamente con el acceso al portal auto gestionable de recursos escalables a demanda, cabe indicar que los servicios de Azure tienen embebidos los servicios de seguridad de Microsoft y con los costos accesibles, determino optar por esta tecnología.

Tabla 3.1

Tabla comparativa

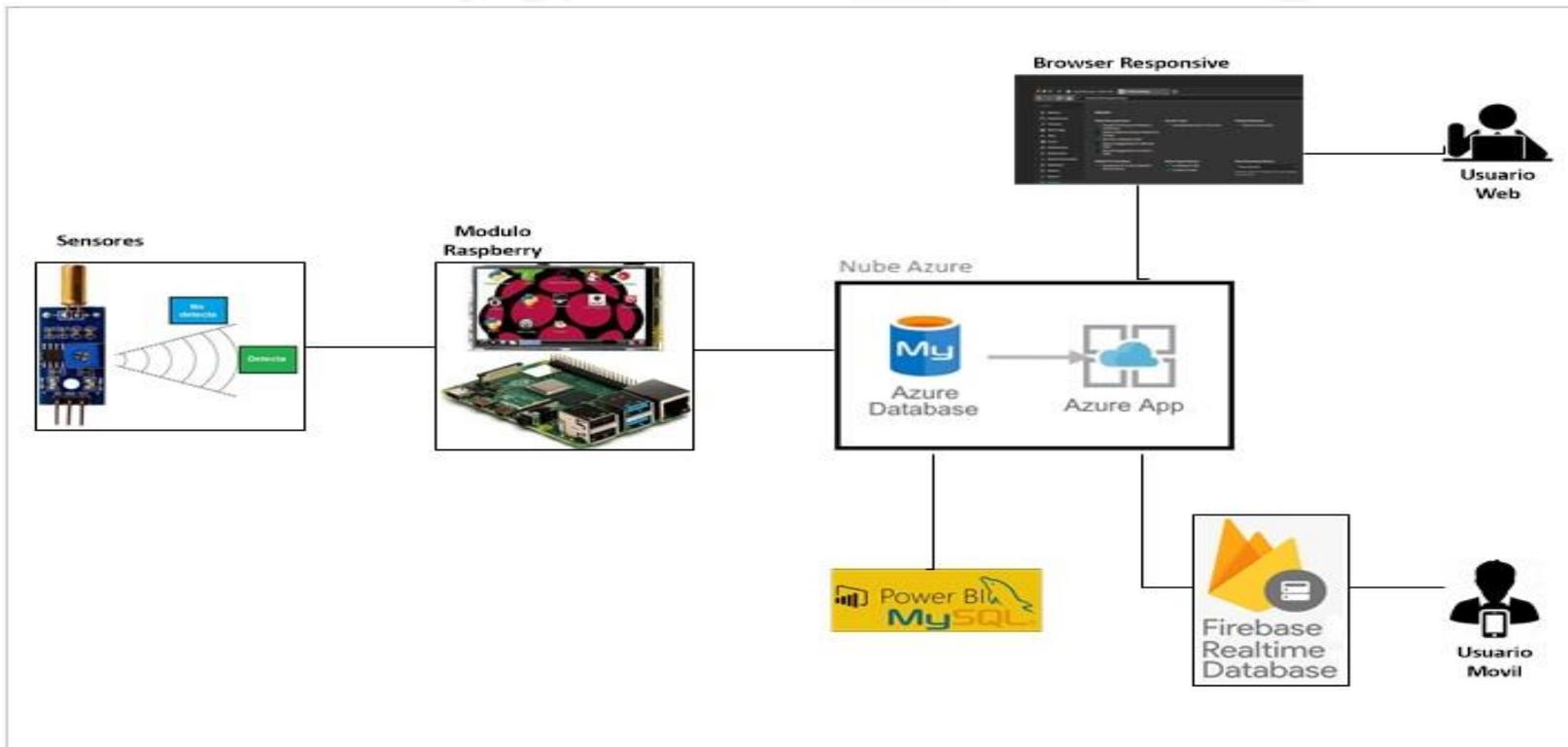
Aspectos considerados	
<p>Php</p> <p>Es de código abierto y de multiplataforma, completamente dinámico, rápido y cuenta con el respaldo de una gran comunidad.</p>	<p>Otros Lenguajes</p> <p>Código no flexible, y de costos elevados.</p>
<p>Raspberry</p> <p>Es un módulo computacional de gran capacidad, diseñada para la ejecución de proyectos y fundamentalmente por tener un bajo costo.</p>	<p>Arduino</p> <p>No tiene SO propio y no cuenta con salida de internet integrada</p>
<p>Azure</p> <p>Ahorro en el uso de licencias windows, actualizaciones de seguridad sin costo, diseñada para ambientes híbridos.</p>	<p>Otros proveedores de servicio</p> <p>Altos costos de los que se ofrecen sin costo por Azure.</p>

3.5 Arquitectura

Se define el diseño de la arquitectura.

Figura 3.3

Diseño de la Arquitectura



CAPÍTULO IV: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

La propuesta para este proyecto es la implementación de una plataforma que brinde información en tiempo real de la estabilidad de un dique de relave, a partir de la captura de datos por medio de los sensores digitales y del microcomputador con sistema operativo Linux, ya descritas en el capítulo III. Como resultado del uso de los algoritmos de Machine Learning y cloud computing en este proyecto se espera tener la información oportuna y en tiempo real de las condiciones de los depósitos de relaves, con lo cual se contribuirá al medio ambiente ya que se reducirá las posibles fallas de los diques de relave.

Para la primera fase de la implementación del proyecto estará conformada por un analista para el procesamiento de Machine Learning, un programador en php y un especialista en infraestructura, así también se necesitará un área proporcionada por parte de la empresa para la instalación de los equipos y también un ambiente para la operación.

Respecto al mercado minero la automatización de la recolección de la data a través de los sensores ya se tienen avances en centros mineros de Chile, pero no se aplica ningún tipo de tecnología emergente, en tal sentido la empresa minera peruana tendría la información digitalizada y en tiempo real sobre el estado de los diques de relave publicadas en la web.

4.1 Definición del problema

El inadecuado manejo de los controles de los diques de contención, debido a la disposición de relave minero, problemas sociales con las comunidades campesinas cercanas a las plantas concentradoras de minerales, crecimiento de la producción del relave de manera constante y la falta de concientización de la gestión ambiental.

La complejidad de la implementación de la solución en las zonas de difícil acceso por lo agreste del clima, el no haber otras experiencias sobre el servicio de alertas de monitoreo y la desconfianza de la comunidad minera.

4.2 Objetivo general

El desarrollo de un sistema de alertamiento en tiempo real de la estabilidad física de los diques de relave minero.

4.3 Objetivos específicos

Construcción de un sistema de alertamiento de la estabilidad física de un dique de relave como herramienta complementaria de seguridad para el sector minero industrial.

Garantizar la seguridad de la operación del dique durante la vida útil de este, con el propósito de cubrir las necesidades de la empresa y de los usuarios, con la aplicación de tecnologías digitales personalizadas para este fin.

Lograr la adopción de este sistema, reduciendo los errores humanos en la toma de muestras de control, minimizando el impacto ambiental, social y económico.

Definir la forma publicación del servicio de alertamiento y como se utilizará la data alojada en la nube para el tratamiento de esta información, así como la plataforma que lo va soportar.

4.4 Diseño para la propuesta de valor

Para establecer la propuesta de valor se utilizará el modelo de lienzo canvas identificando las acciones y actividades para las tres áreas: mapa de valor, perfil del cliente y encaje.

La propuesta de valor sería, un sistema de monitoreo que identifique los parámetros críticos de las variables de humedad e inclinación de un dique de relave, para que a través de Machine Learning poder predecir una posible falla en el dique y en consecuencia se evitaría la contaminación ambiental, el pago de penalidades y las pérdidas humanas de la comunidad.

Se detallan los perfiles según lo establecido:

4.4.1 Perfil del cliente

El cliente realizará las siguientes actividades:

- Realizar la toma de muestra de las medidas de los parámetros necesarios para medir la estabilidad de forma manual.

- Tomar las mediciones a través de los sensores de manera automática, y con lo cual se eliminarán los errores de la medición por causa de fatiga del recurso humano.

Las frustraciones del cliente son:

- Inseguridad ante una falla del dique de relave.
- Ineficiente en tiempo de toma de muestras de todos los puntos de control
- Inconformidad entre el personal que toman las medidas y la información emitida como resultante por parte del personal que analiza esta data.

Las alegrías del cliente son:

- Obtener la información de los valores de medición en tiempo real
- Mejorar la precisión de la toma de medición para el análisis de la estabilidad.
- Facilitar la accesibilidad del estado de los diques y de sus históricos.

4.4.2 Perfil del valor del producto

El cliente mostrara una mejor actitud luego de:

- La información siempre esté disponible en tiempo real sobre el estado de los diques de relave.
- Que pueden acceder a la información desde cualquier dispositivo con acceso a internet.
- Involucrarse en el proceso del desarrollo de implementación del proyecto.
- La accesibilidad de este servicio estará publicada vía web.

El cliente tendrá los siguientes tipos de beneficios.

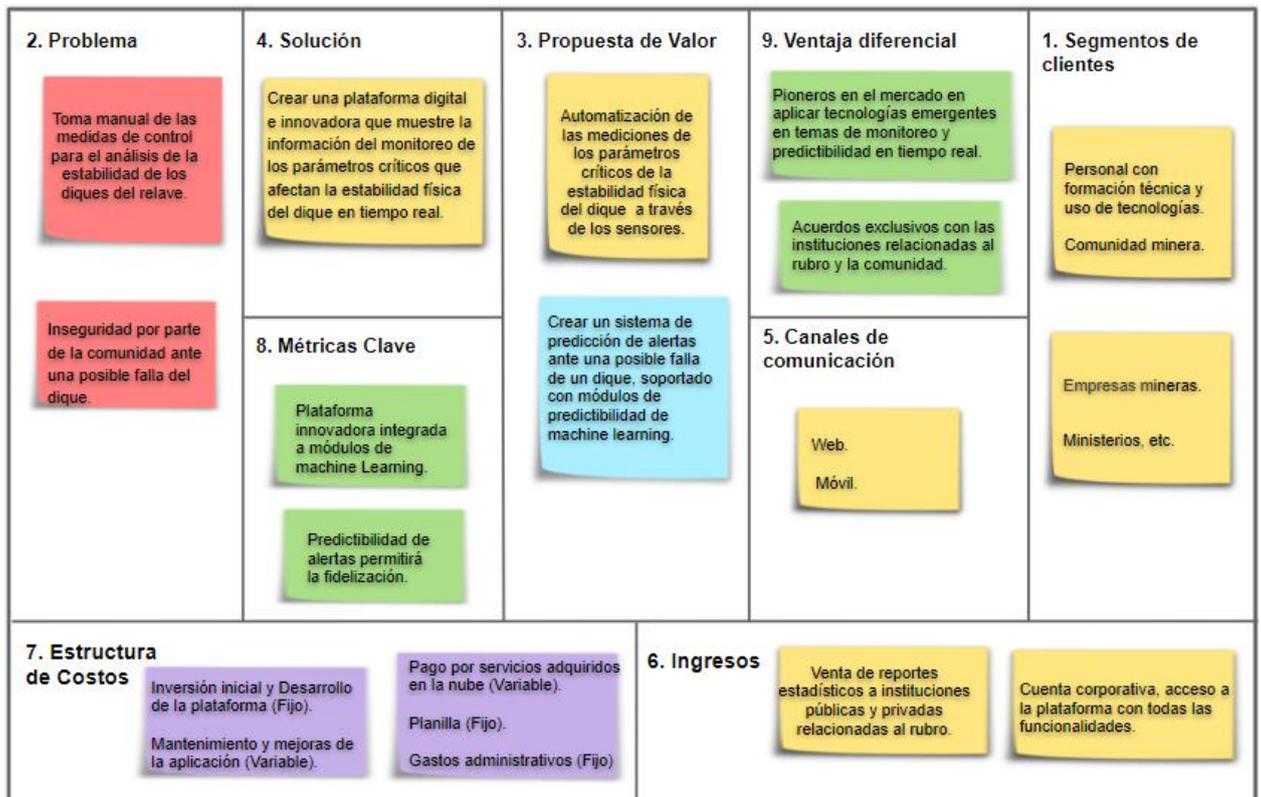
- Facilidad al acceso de la información para la comunidad y para mundo.
- Mayor sensación de seguridad para la comunidad minera.
- Generación de historial de información para las entidades gubernamentales para controles de auditoría.

4.5 Modelo de negocio propuesto

Está basado en lean canvas para soportar el modelo de negocio.

Figura 4.1

Modelo de negocio



Se detalla la elaboración de los 9 bloques del lienzo:

Bloque 1: Segmentos de clientes

La elaboración de este bloque está orientado a cubrir las necesidades de un segmento específico:

- Responsables de los diques: personas con formación técnica y relacionada al uso de celulares smartphone.
- Comunidad minera: personas que viven en la zona de influencia que cuenten con un equipo móvil.

Bloque 2: Problemas

- El manejo inadecuado en la recolección de las tomas de las variables de inclinación y humedad estos parámetros son fundamentales para el análisis de la estabilidad física de un dique de contención de relave, ya que se realiza de forma manual.

Bloque 3: Propuesta de valor

La propuesta de valor por segmentos:

- Responsables de los diques: complemento de control de seguridad con el soporte de medios tecnológicos, que permita identificar los valores críticos de las variables de humedad e inclinación de un dique de relave a través del Machine Learning para poder predecir una posible falla en la estabilidad del dique, con el fin de evitar la contaminación del medio ambiente, el pago de penalidades y las pérdidas humanas de la comunidad.
- Comunidad minera: Mayor seguridad y confianza obtenida por las alertas tempranas de posibles fallas de los diques de relave.

Bloque 4: Solución

Las actividades a tener en cuenta serían:

- Inducción de los técnicos con la aplicación.
- Planificar y desarrollar los nuevos requerimientos que soportará la aplicación.
- Logística eficiente con los componentes necesarios para que la aplicación esté habilitada.

Bloque 5: Canales

- El canal de comunicación será el servicio.
- El sistema de alertas para los responsables de los diques les brindará información para que puedan tomar acción ante posibles desbordes de relave, y para la comunidad minera les brindará alertas a sus dispositivos móviles para una posible evacuación.

Bloque 6: Fuentes de ingresos

- Los ingresos serán por las suscripciones de las cuentas corporativas con acceso a todas las funcionalidades y también a la venta de los reportes estadísticos del comportamiento de los diques.

Bloque 7: Estructura de costos

Para el inicio del negocio se incluyen los siguientes costos:

- Inversión propia desarrollo de la plataforma
- Gastos por desarrollo y mantenimiento de la aplicación
- Gastos por el servicio de nube contratado
- Gastos administrativos
- Pagos de planilla
-

Bloque 8: Métricas claves

Los puntos para tener en cuenta serian:

- Colaboradores calificados y comprometidos.
- Uso de la herramienta intuitiva e innovadora.
- Fidelización de los técnicos con la aplicación.
-

Bloque 9: Ventaja diferencial

En este bloque se busca la diferenciación mediante los siguientes puntos:

- Información: los usuarios tendrán acceso a la información del estado del dique.
- Comunidad: acceso a la comunidad previamente segmenta.
- Tiempo: se busca el posicionamiento en un horizonte de largo plazo.

4.5.1 Inversión

La inversión inicial para la puesta en marcha del desarrollo del proyecto se solventará por financiamiento propio para la compra de los activos y los gastos preoperativos. Esta inversión será de **S/. 97,023.00** con una tasa de rentabilidad del 6.5%, a un plazo de 5 años. Según la Superintendencia de Banca y Seguros en la sección de tasa de interés promedio del sistema bancario. (Superintendencia de Banca y Seguros y AFPs, s.f).

Los montos han sido considerados en la moneda nacional con el tipo de cambio de dólar a soles a un valor de S/ 3.32

Tabla 4.1*Activos fijos*

Activos Fijos	Monto
Equipos de cómputo portátiles (3)	S/.9,897.00
Laptop Lenovo ThinkPad E490	S/.3,299.00
Adquisición de módulos (6) y sensores (12)	S/.2,016.00
Raspberry pi 3 Model B+	S/.240.00
Sensores para Raspberry pi 3	S/.48.00
Útiles de Oficina	S/.400.00
Total	S/.12,313.00

Tabla 4.2*Gastos preoperativos*

Constitución de la Empresa	Monto Año 0
Desarrollo de la integración del sistema (3 FTEs x 4 meses)	S/.54,000.00
Jefe de Proyecto	S/.5,500.00
Analista Funcional	S/.4,300.00
Desarrollador	S/.3,700.00
Servicios de la infraestructura en la nube Azure (Costo x 4 meses)	S/.2,550.00
Base de Datos Azure y Web App Service Azure	S/.637.50
Suscripción del dominio y hosting	S/.400.00
Constitución de la Empresa	S/.1,400.00
Registro de la Marca	S/.700.00
Reclutamiento y selección del personal	S/.1,300.00
Alquiler de oficina y equipos (Incluye servicios x 4 meses)	S/.9,760.00
Gastos de alquiler de oficina y servicios de agua, luz, teléfono e internet	S/.1,460.00
Gastos en equipos inmobiliarios	S/.980.00
Publicidad (solo en una revista especializada del medio x 4 meses)	S/.14,000.00
Gasto en publicidad en la Revista Desde Adentro - SNMPE	S/.3,500.00
Gastos administrativos	S/.600.00
Total	S/.84,710.00

4.5.2 Ingresos

Se elabora la demanda potencial del consumo del servicio.

- Las empresas mineras que han sido sancionadas por Osinergmin serán tomadas como base para la elaboración de la demanda potencial.

- Según la tipificación de infracciones y sanciones mineras N° 03 039-2017-OS-CD, puede ser de hasta 10,000 UIT, en la operación de depósitos de relave.

- Sanciones impuestas del 2007 al 2019 del portal de Osinergmin

Tabla 4.3

Demanda potencial por las medidas administrativas 2019

TITULAR MINERO	N° RESOLUCIÓN	FECHA DE RESOLUCIÓN
EMPRESA MINERA LOS QUENUALES S.A.	007-2019-OS-TASTEM-S2	7/01/2019
CENTURY MINING PERU S.A.C.	017-2019-OS-TASTEM-S2	14/01/2019
VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A	020-2019-OS-TASTEM-S2	15/01/2019
COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A.	039-2019-OS-TASTEM-S2	28/01/2019
NEXA RESOURCES PERU S.A.A.	075-2019-OS-TASTEM-S2	19/02/2019
DOE RUN PERU S.R.L. EN LIQUIDACION EN MARCHA	082-2019-OS-TASTEM-S2	4/03/2019
NEXA RESOURCES ATACOCCHA S.A.A.	084-2019-OS-TASTEM-S2	4/03/2019
PAN AMERICAN SILVER HUARON S.A.	085-2019-OS-TASTEM-S2	4/03/2019
COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A.	094-2019-OS-TASTEM-S2	11/03/2019
PAN AMERICAN SILVER HUARON S.A.	156-2019-OS-TASTEM-S2	14/05/2019
COMPAÑÍA MINERA SAN VALENTÍN S.A.	186-2019-OS-TASTEM-S2	11/06/2019
COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	189-2019-OS-TASTEM-S2	17/06/2019
COMPAÑÍA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	190-2019-OS-TASTEM-S2	17/06/2019
EMPRESA MINERA LOS QUENUALES S.A.	221-2019-OS-TASTEM-S2	22/07/2019
COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCCHA S.A.	226-2019-OS-TASTEM-S2	5/08/2019
CENTURY MINING PERU S.A.C.	232-2019-OS-TASTEM-S2	12/08/2019
COMPAÑÍA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCCHA S.A.	239-2019-OS-TASTEM-S2	19/08/2019
CONSORCIO DE INGENIEROS EJECUTORES MINEROS S.A.	253-2019-OS-TASTEM-S2	3/09/2019
VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.	268-2019-OS-TASTEM-S2	17/09/2019
COMPAÑÍA MINERA SAN VALENTIN S.A.	271-2019-OS-TASTEM-S2	24/09/2019
COMPAÑÍA MINERA SAN VALENTIN S.A.	296-2019-OS-TASTEM-S2	15/10/2019
COMPAÑÍA MINERA SANTA LUISA S.A.	304-2019-OS-TASTEM-S2	22/10/2019
COMPAÑÍA MINERA KOLPA S.A.	317-2019-OS-TASTEM-S2	11/11/2019
COMPAÑÍA MINERA CARAVELI S.A.C.	330-2019-OS-TASTEM-S2	19/11/2019
COMPAÑÍA MINERA CARAVELI S.A.C.	331-2019-OS-TASTEM-S2	19/11/2019
VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A.	332-2019-OS-TASTEM-S2	19/11/2019

Fuente: Osinergmin

Tabla 4.4*Demanda potencial por las medidas administrativas 2018*

TITULAR MINERO	N° RESOLUCIÓN	FECHA DE RESOLUCIÓN
VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.	009-2018-OS-TASTEM-S2	9/01/2018
MINERA COLQUISIRI S.A.	014-2018-OS-TASTEM-S2	15/01/2018
TREVALI PERU S.A.C.	044-2018-OS-TASTEM-S2	20/02/2018
TREVALI PERU S.A.C.	045-2018-OS-TASTEM-S2	20/02/2018
CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	060-2018-OS-TASTEM-S2	6/03/2018
COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C.	077-2018-OS-TASTEM-S2	20/03/2018
TREVALI PERU S.A.C.	078-2018-OS-TASTEM-S2	20/03/2018
MINERA VETA DORADA S.A.C	086-2018-OS-TASTEM-S2	3/04/2018
COMPAÑIA MINERA VALOR S.A.	093-2018-OS-TASTEM-S2	10/04/2018
GREAT PANTHER CORICANCHA S.A.	094-2018-OS-TASTEM-S2	10/04/2018
MINERA COLIBRI S.A.C.	098-2018-OS-TASTEM-S2	16/04/2018
VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.	102-2018-OS-TASTEM-S2	17/04/2018
MINERA IRL S.A.	122-2018-OS-TASTEM-S2	21/05/2018
EMPRESA ADMINISTRADORA CERRO S.A.C.	129-2018-OS-TASTEM-S2	28/05/2018
MINERA IRL S.A.	143-2018-OS-TASTEM-S2	5/05/2018
SHOUGANG HIERRO PERU S.A.A.	157-2018-OS-TASTEM-S2	18/06/2018
CONSORCIO DE INGENIEROS EJECUTORES MINEROS S.A.	195-2018-OS-TASTEM-S2	10/07/2018
SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.	199-2018-OS-TASTEM-S2	16/07/2018
COMPAÑIA MINERA QUIRUVILCA S.A.	200-2018-OS-TASTEM-S2	16/07/2018
COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C.	219-2018-OS-TASTEM-S2	6/08/2018
CATALINA HUANCA SOCIEDAD MINERA S.A.	229-2018-OS-TASTEM-S2	13/08/2018
COMPAÑIA MINERA SAN IGNACIO DE MOROCOA SA	268-2018-OS-TASTEM-S2	3/09/2018
VOTORANTIM METAIS CAJAMARQUILLA S.A.	269-2018-OS-TASTEM-S2	3/09/2018
COMPAÑIA MINERA SANTA LUISA S.A.	274-2018-OS-TASTEM-S2	4/09/2018
COMPAÑIA MINERA MILPO S.A.A.	282-2018-OS-TASTEM-S2	10/09/2018
COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.	287-2018-OS-TASTEM-S2	11/09/2018
COMPAÑIA MINERA RAURA S.A.	379-2018-OS-TASTEM-S2	22/10/2018
CONSORCIO DE INGENIEROS EJECUTORES MINEROS S.A.	389-2018-OS-TASTEM-S2	23/10/2018
MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.	392-2018-OS-TASTEM-S2	23/10/2018
MILPO ANDINA PERU S.A.C.	393-2018-OS-TASTEM-S2	23/10/2018
COMPAÑIA MINERA CHUNGAR S.A.C.	405-2018-OS-TASTEM-S2	30/10/2018
COMPAÑIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	411-2018-OS-TASTEM-S2	6/11/2018
BREXIA GOLDPLATA PERU S.A.C.	423-2018-OS-TASTEM-S2	12/11/2018
GOLD FIELDS LA CIMA S.A.A.	432-2018-OS-TASTEM-S2	13/11/2018
SOCIEDAD MINERA CORONA S.A.	474-2018-OS-TASTEM-S2	3/12/2018
CORI PUNO S.A.C.	482-2018-OS-TASTEM-S2	4/12/2018
MINERA LAS BAMBAS S.A.	508-2018-OS-TASTEM-S2	18/12/2018
COMPAÑIA MINERA LINCUNA S.A.	523-2018-OS-TASTEM-S2	28/12/2018
COMPAÑIA MINERA SANTA LUISA S.A.	524-2018-OS-TASTEM-S2	28/12/2018

Fuente: Osinergmin

Tabla 4.5*Sanciones impuestas por relaves*

Titular Minero	Multa en UIT	Multa en Valor Monetario
CONSORCIO MINERO HORIZONTE (Res. N° 130-2019)	67.20	S/.288,960.00
PAN AMERICAN SILVER HUARON (Res. N° 156-2019)	30.00	S/.129,000.00
EMPRESA MINERA LOS QUENUALES (Res. N°221-2019)	19.95	S/.85,785.00
CENTURY MINING PERU (Res. N° 232-2019)	43.55	S/.187,265.00
MINERA SAN VALENTIN (Res. N° 271-2019)	79.04	S/.339,872.00
MINERA COLIBRI (Res. N° 162-2018)	120.90	S/.519,870.00
GREAT PANTHER CORICANCHA (Res. N° 97-2018)	100.00	S/.430,000.00
VOLCAN COMPANIA MINERA (Res. N° 390-2018)	100.00	S/.430,000.00
COMPAÑIA MINERA CODESTABLE (Res. N° 509-2018)	195.70	S/.841,510.00
COMPANIA MINERA LICUNA (Res. N° 523-2018)	87.42	S/.375,906.00
COMPAÑIA MINERA QUIRUVILCA (Res. N°1434 -2018)	206.00	S/.885,800.00
MINERA VETA DORADA (Res. N° 040-2017)	114.87	S/.493,941.00
NYRSTAR ANCASH (Res. N° 054-2017)	100.00	S/.430,000.00
SHOUGANG HIERRO PERU (Res. N° 186-2017)	71.04	S/.305,472.00
COMPANIA DE MINAS BUENAVENTURA (Res. N° 024-2016)	67.36	S/.289,648.00
Total		S/.6,033,029.00

El precio será del 15% sobre las multas impuesta por Osinergmin a la empresa minera. Para la proyección de los ingresos por venta, se tendrá como estrategia del servicio de monitoreo de los diques, el crecimiento de 3 depósitos de relave por año, que se incorporarán al servicio.

Tabla 4.6*Ingreso de ventas anuales*

Titular Minero	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
CMH	S/.43,344.00	S/.43,344.00	S/.43,344.00	S/.43,344.00	S/.43,344.00
PASH	S/.19,350.00	S/.19,350.00	S/.19,350.00	S/.19,350.00	S/.19,350.00
EMLQ	S/.12,867.75	S/.12,867.75	S/.12,867.75	S/.12,867.75	S/.12,867.75
CMP		S/.28,089.75	S/.28,089.75	S/.28,089.75	S/.28,089.75
MSV		S/.50,980.80	S/.50,980.80	S/.50,980.80	S/.50,980.80
MC		S/.77,980.50	S/.77,980.50	S/.77,980.50	S/.77,980.50
GPC			S/.64,500.00	S/.64,500.00	S/.64,500.00
VCM			S/.64,500.00	S/.64,500.00	S/.64,500.00
CMC			S/.126,226.50	S/.126,226.50	S/.126,226.50
CML				S/.56,385.90	S/.56,385.90
CMQ				S/.132,870.00	S/.132,870.00
MVD				S/.74,091.15	S/.74,091.15
NA					S/.64,500.00

(Continúa)

(Continuación)

Titular Minero	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
SHP					S/.45,820.80
CDMB					S/.43,447.20
Total	S/.75,561.75	S/.232,612.80	S/.487,839.30	S/.751,186.35	S/.904,954.35

4.5.3 Egresos

Para los gastos administrativos se considera a la planilla, la publicidad y los gastos administrativos propiamente.

Donde se ha considerado el crecimiento para los próximos 5 años de la siguiente manera:

- La planilla tendrá un crecimiento del 5% anual, donde se incluirán los aportes sociales.
- La publicidad tendrá un crecimiento de 3% anual, pero por contratos anuales el pago mensual tendrá el 25% de descuento el primer año.
- Los gastos administrativos tendrán un crecimiento del 4%

Tabla 4.7

Gastos administrativas por mes

	Analista de Sistemas (3500x1.4)	Programador (2700x1.4)	Gerente (4300x1.4)	Publicidad	Gastos Administrativos
Mes 1	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 2	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 3	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 4	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 5	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 6	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 7	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 8	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 9	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 10	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 11	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Mes 12	S/.4,900.00	S/.3,780.00	S/.6,020.00	S/.2,625.00	S/.600.00
Total	S/.58,800.00	S/.45,360.00	S/.72,240.00	S/.31,500.00	S/.7,200.00

Tabla 4.8*Gastos administrativos anuales*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Planilla	S/.176,400.00	S/.185,220.00	S/.194,481.00	S/.204,205.05	S/.214,415.30
Publicidad	S/.31,500.00	S/.32,445.00	S/.33,418.35	S/.34,420.90	S/.35,453.53
Administrativo	S/.7,200.00	S/.7,488.00	S/.7,787.52	S/.8,099.02	S/.8,422.98
Total	S/.215,100.00	S/.225,153.00	S/.235,686.87	S/.246,724.97	S/.258,291.81

Para los gastos operativos se considera los supuestos para los próximos 5 años para las siguientes actividades que se detalla a continuación:

- El servicio de los recursos de Cloud Azure tendrá un crecimiento del 10% anual.
- El alquiler de la oficina y los equipos inmobiliarios tendrá un crecimiento de 5% anual, pero por contratos anuales el pago mensual tendrá el 20% de descuento el primer año.

Tabla 4.9*Gastos operativos por mes*

	Servicios en la nube de Azure BD, Web y ML	Suscripción Dominio Hosting	Mantenimiento Módulos y Sensores	Alquiler de Oficina y Equipos	Visitas a los clientes
Mes 1	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 2	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 3	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 4	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 5	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 6	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 7	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 8	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 9	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 10	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 11	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Mes 12	S/.1,192.38	S/.33.33	S/.300.00	S/.1,952.00	S/.900.00
Total	S/.14,308.56	S/.400.00	S/.3,600.00	S/.23,424.00	S/.10,800.00

Tabla 4.10*Gastos operativos anuales*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Servicios Nube Azure	S/.14,308.56	S/.15,739.42	S/.17,313.36	S/.19,044.69	S/.20,949.16
Dominio Hosting	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00	S/.400.00
Mant. modulo y Sensor	S/.3,600.00	S/.3,600.00	S/.3,600.00	S/.3,600.00	S/.3,600.00
Alquiler oficina y equipos	S/.23,424.00	S/.24,595.20	S/.25,824.96	S/.27,116.21	S/.28,472.02
Visitas a clientes	S/.10,800.00	S/.10,800.00	S/.10,800.00	S/.10,800.00	S/.10,800.00
Total	S/.52,532.56	S/.55,134.62	S/.57,938.32	S/.60,960.90	S/.64,221.18

Para los gastos por pago a proveedores técnicos que instalaran los equipos y revisaran periódicamente estos equipos para los próximos 5 años.

- El pago a proveedores se estima que tendrá un crecimiento del 10% anual.

Tabla 4.11*Pago de proveedores mensual*

	Técnico Electrónica	Técnico Sistemas
Mes 1	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 2	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 3	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 4	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 5	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 6	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 7	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 8	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 9	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 10	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 11	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Mes 12	S/.2,500.00	S/.2,500.00
Total	S/.30,000.00	S/.30,000.00

Tabla 4.12*Pago de proveedores anuales*

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Técnico Electrónico	S/.30,000.00	S/.33,000.00	S/.36,300.00	S/.39,930.00	S/.43,923.00
Técnico en Computo	S/.30,000.00	S/.33,000.00	S/.36,300.00	S/.39,930.00	S/.43,923.00
Total	S/.60,000.00	S/.66,000.00	S/.72,600.00	S/.79,860.00	S/.87,846.00

4.5.4 Flujo de Caja

Se procederá con el desarrollo del flujo de caja para poder analizar la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 4.13

Flujo de caja

FLUJO DE CAJA	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS						
Venta de Servicios						
TOTAL DE INGRESOS	S/.0.00	S/.75,561.75	S/.232,612.80	S/.487,839.30	S/.751,186.35	S/.904,954.35
GASTOS						
Gastos Pre Operativos	S/.97,023.00					
Gastos Administrativos		S/.215,100.00	S/.225,153.00	S/.235,686.87	S/.246,724.97	S/.258,291.81
Gastos Operativos		S/.52,532.56	S/.55,134.62	S/.57,938.32	S/.60,960.90	S/.64,221.18
Pago Proveedores		S/.60,000.00	S/.66,000.00	S/.72,600.00	S/.79,860.00	S/.87,846.00
TOTAL EGRESOS	S/.97,023.00	S/.327,632.56	S/.346,287.62	S/.366,225.19	S/.387,545.87	S/.410,358.99
U.B = INGRESOS - EGRESOS	-S/.97,023.00	-S/.252,070.81	-S/.113,674.82	S/.121,614.11	S/.363,640.48	S/.494,595.36
Imp. Renta (30%)				S/.36,484.23	S/.109,092.14	S/.148,378.61
U.N	-S/.97,023.00	-S/.252,070.81	-S/.113,674.82	S/.85,129.88	S/.254,548.33	S/.346,216.75

VAN = S/. 87,106.30, TIR = 12%

Luego del flujo de caja se pueden obtener los valores del VAN y el TIR, por lo que se concluye que el proyecto es rentable.

CAPÍTULO V: DESARROLLO DEL PROTOTIPO

El desarrollo del prototipo está enfocado en la medición de las variables de inclinación y humedad, estas variables son las fundamentales para la estabilidad de un dique de relave ya que con estas variables se monitorea la inclinación del dique para evitar deslizamientos y también se monitorea el nivel de humedad para evitar la permeabilidad de las paredes de los diques, ya que si no se controlan estas variables se comprometerían los factores de estabilidad del dique y se produciría una ruptura o falla y esto produciría un derramamiento de relave, para la medición de estas variables se utilizará los sensores digitales de inclinación el (The tilt sensor module) y el sensor de humedad el (Soil moisture sensor), estos sensores van a generar en tiempo real los valores de estas variables del dique monitoreado para prototipo en la primera fase, luego en la fase de la implementación se utilizaran sensores digitales industriales de alta precisión preparados para operar en condiciones de climas agrestes como el sensor de inclinación ZCT-CX09 y el sensor de humedad HM 110.

También se utilizará un microcomputador, en el cual se realizará la configuración de los sensores y este procesará la data de la lectura tomada por estos sensores. Para esta implementación vamos a usar como microcomputador el módulo Raspberry pi3 model B+. Este módulo tendrá como sistema operativo Raspbian Linux, luego se utilizará el MiniPC – IBOX Core i7-5550U NUC1 v1, diseñado para operar en ambiente predominantemente húmedos y polvorientos.

Este microcomputador enviará la data obtenida de los sensores hacia la nube, donde para la primera fase se necesitará un servidor web y un servidor de base de datos, para luego usar Machine Learning como herramienta de tecnología y este pueda generar los escenarios según la data obtenida por los sensores.

5.1 Metodología

La metodología está basada en Lean Startup, para crear el producto con las necesidades del cliente, en constante validación del producto para ir corrigiendo el producto, con el uso óptimo de recursos hasta que este sea aceptado por el cliente.

La metodología de ingeniería de software para el desarrollo de la aplicación, estará a cargo de una empresa tercerizada la cual tendrá que entregar la documentación

con la inclusión de la descripción, nomenclatura y funcionalidades de la aplicación para la primera fase.

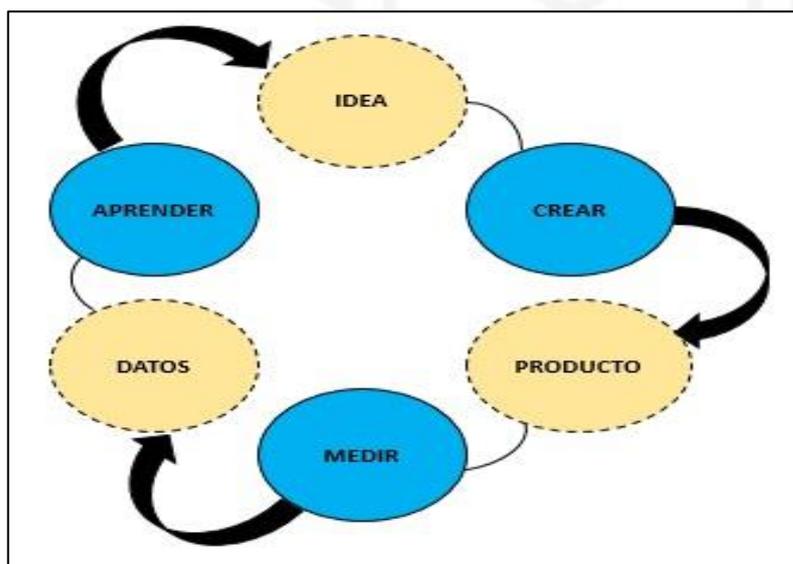
Esta metodología de Lean Startup se debe cumplir con el ciclo de crear el producto, medir los resultados y de esta manera se aprende. De este modo se puede ir satisfaciendo las necesidades del cliente, y debido a esta retroalimentación se genera un mayor dinamismo en la concepción del producto que sea del agrado del cliente con el menor uso de recursos.

Aplicación de la metodología:

- Hipótesis: El producto sea aceptado en el mercado y que satisfaga al cliente.
- El producto mínimo viable es lo que se tiene que desarrollar para comprobar la hipótesis en el mercado.
- La medición para registrar los resultados de la hipótesis y su aceptación por el cliente.
- La retroalimentación de los sentimientos del cliente hacia el producto, para modificar el producto.

Figura 5.1

Ciclo Lean Startup



Fuente: Ries (2019)

5.2 Planificación

El tiempo para el desarrollo del proyecto mínimo viable para primera versión se ha contemplado un máximo de 20 semanas.

Figura 5.2

Cronograma del proyecto

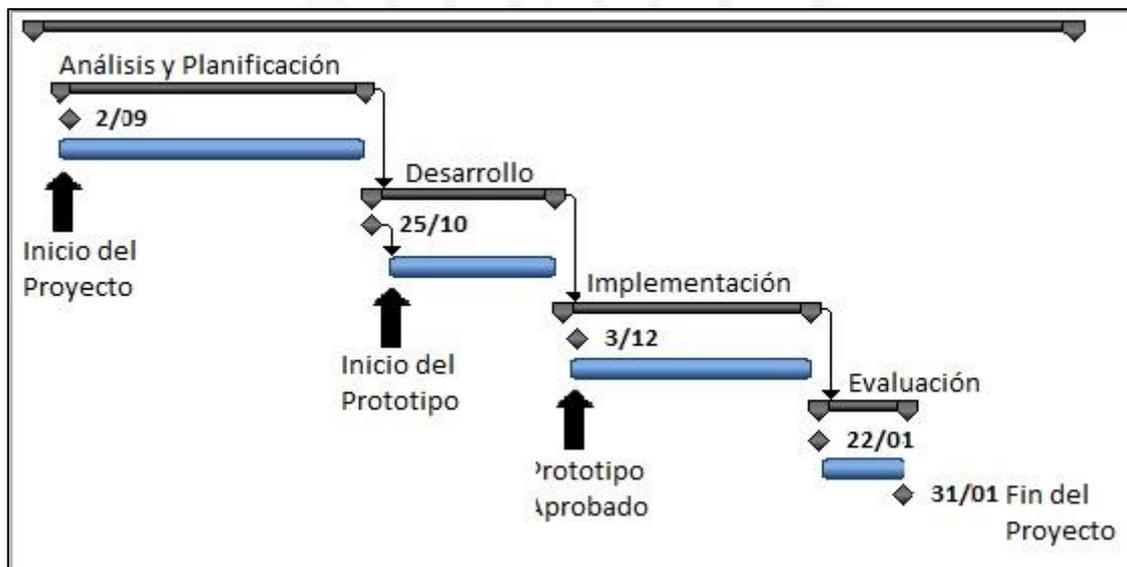


Figura 5.3

Gantt del proyecto

	M1				M2				M3				M4				M5			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
1. Planificación																				
1.1 Creacion de la planificación																				
1.1.1 Levantamiento de las necesidades del usuario																				
1.1.2 Analisis y bosquejo de la arquitectura																				
1.1.3 Analisis del proceso																				
1.2 Aprovechamiento de los servicios de Azure																				
1.3 Hito: Aprobacion del Modelo																				
2. Ejecucion																				
2.1 Acelerar 1: Creacion del Diseño																				
2.1.1 Plan de Acelerar																				
2.1.1.1 Obtencion del conjunto de necesidades																				
2.1.1.2 Definicion de los modelos a desarrollar																				
2.1.2 Elaboracion de las vistas del diseño																				
2.1.3 Pruebas de sensibilidad del usuario																				
2.1.4 Modificacion de las vistas																				
2.1.5 Selección de las vistas aceptadas por el usuario																				
2.1.6 Hito: Aprobacion de las vistas																				
2.1.7 Consolidacion de la informacion																				
2.2 Acelerar 2: Modelamiento de datos																				
2.2.1 Plan de Acelerar																				
2.2.1.1 Obtencion del conjunto de necesidades																				
2.2.1.2 Definicion de los datos para el modelamiento																				
2.2.2 Elaboracion del modelamiento de datos																				
2.2.3 Implementacion del modelamiento de datos																				
2.2.4 Se obtiene el plan de ejecucion de la consulta a la BD																				
2.2.5 Hito: Aprobacion del modelo de datos en la BD																				
2.2.6 Consolidacion de la Informacion																				
2.3 Acelerar 3: Creacion de la logica de la pagina web																				
2.3.1 Plan de Acelerar																				
2.3.1.1 Obtencion del conjunto de necesidades																				
2.3.1.2 Definicion de la logica a implementar																				
2.3.2 Diseño de la logica																				
2.3.3 Implementacion de la interfaz del servio web																				
2.3.4 Pruebas funcionales de la interfaz del servicio web																				
2.3.5 Pruebas integrales de la interfaz del servicio web																				
2.3.6 Hito: Aprobacion de la interfaz web																				
2.3.7 Consolidacion de la Informacion																				
2.4 Acelerar 4: Puesta en marcha																				
2.4.1 Plan de Acelerar																				
2.4.2 Implementacion de la puesta en marcha																				
2.4.3 Validacion de la puesta en marcha																				
2.4.4 Hito: Aprobacion de la puesta en marcha																				
2.4.5 Consolidacion de la informacion																				
3. Cierre																				
3.1 Ejecucion del Servicio web																				
3.2 Acceso al servicio web																				
3.3 Carga inicial del data a la aplicación web																				
3.4 Publicacion del servicio web																				
3.5 Hito: Cierre del Proyecto																				

5.3 Definición

Se realizara la definición de la hipótesis, producto mínimo viable y métricas.

5.3.1 Definición de la Hipótesis

La creación de un sistema de monitoreo que identifique los parámetros críticos de las variables de humedad e inclinación de un dique de relave, y a través de Machine Learning

se pueda predecir una posible falla en el dique y por lo tanto se evitaría la contaminación ambiental, el pago de penalidades y las pérdidas humanas de la comunidad.

La información publicada será en tiempo real de los depósitos de relave con lo cual estamos creando un nuevo mercado.

5.3.2 Definición del producto mínimo viable

El producto mínimo viable es el servicio de la publicación web, de la estabilidad física de un dique.

Para los responsables del dique:

- Registrar y acceder al servicio.
- Modificar información personal
- Búsquedas de eventos críticos

Para la comunidad:

- Registrarse y acceder al servicio.
- Consumir el servicio

5.3.3 Definición de las métricas

Definimos las métricas con las que se van a evaluar el producto mínimo viable.

Para los responsables del dique:

- Número de responsables que van a utilizar el servicio.
- El precio del uso y suscripción del servicio
- El tipo de cambios sobre el producto mínimo viable.

Para la comunidad:

- Número de personas dispuestas a utilizar el servicio
- El precio del uso y suscripción del servicio
- El tipo de cambios sobre el producto mínimo viable.

5.4 Retroalimentación

Se utilizará todos los aspectos encontrados en la interacción de los usuarios, que esperan el producto mínimo viable

Interacción:

Cambios sugeridos por responsables del servicio.

- Agregar filtros de búsquedas de la ubicación de donde se ha realizado la medición
- Agregar comentarios del servicio de monitoreo

Los cambios son aceptados en esta interacción.

5.5 Diseño de vistas

5.5.1 Diseño de las vistas del prototipo

Figura 5.4

Vista del registro al sistema



Figura 5.5

Vista al acceso al sistema

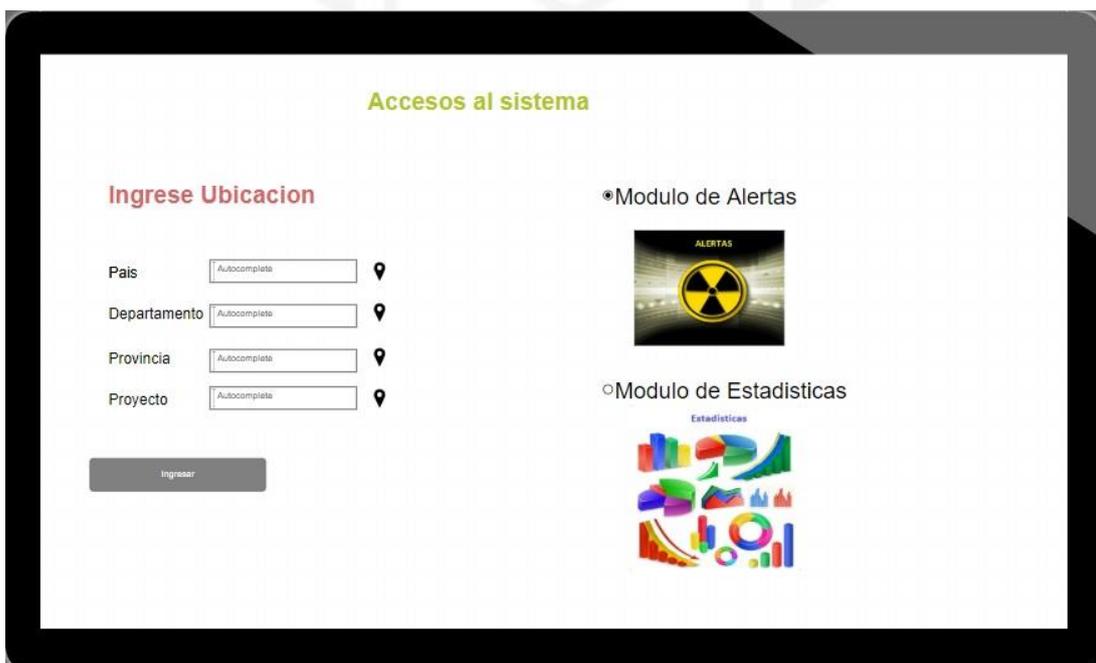


Figura 5.6

Vista al módulo de alertas



Figura 5.7

Vista de la lectura de los datos del sensor

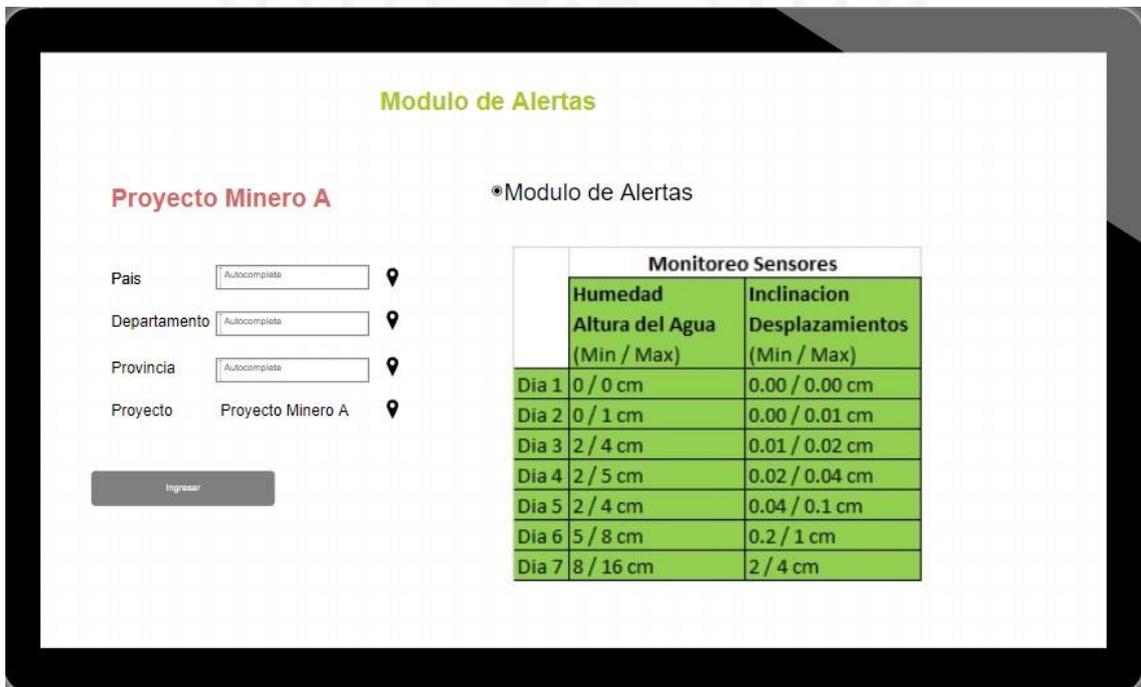


Figura 5.8

Vista del módulo de estadísticas

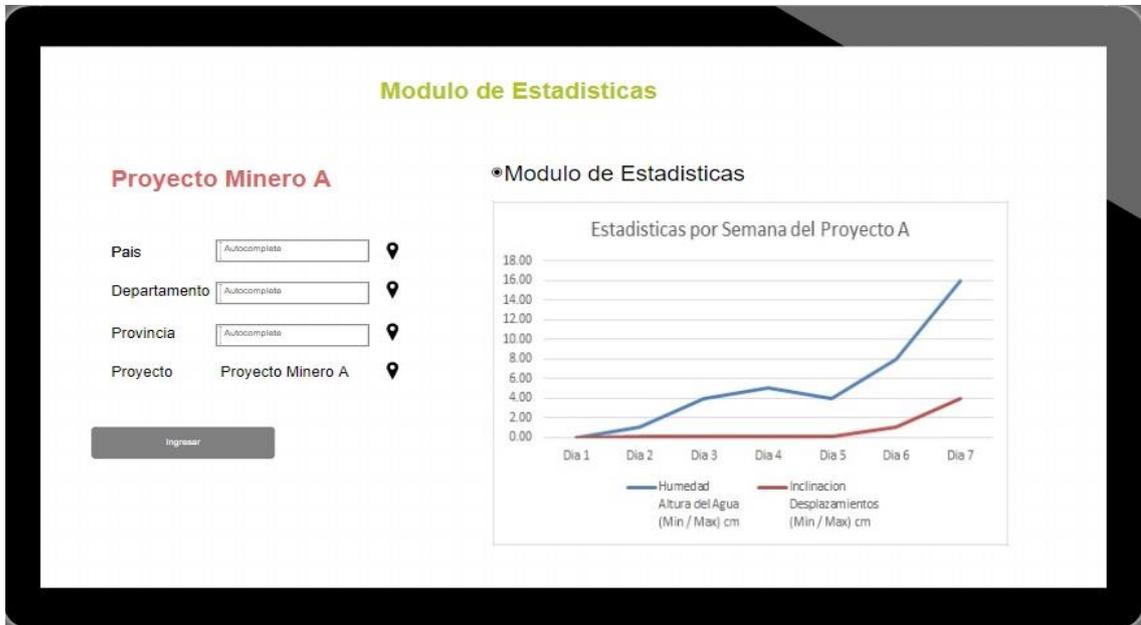


Figura 5.9

Vista de la alerta de desborde



5.6 Implementación

En esta fase se genera el pseudocódigo de la aplicación y definición de variables.

5.6.1 Pseudocódigo de la plataforma web

Se detalla el pseudocódigo de la plataforma web

Pseudocódigo Web:

Inicio

Desplazamiento = 0

Borde_libre = 0

Nivel_Freatico = 0

Proyecto

Estado = Normal, Advertencia, Critico

Imprime "Ingrese el Proyecto"

Lee Proyecto

Si Desplazamiento < 4 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Normal

Si 4 < Desplazamiento < 6 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Advertencia

SiNo Desplazamiento > 6 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Critico

Si Borde_Libre >100 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Normal

Si 80 < Borde_Libre < 100 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Advertencia

SiNo Borde_Libre < 80 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Critico

Si Nivel_Freatico >50 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Normal

Si 40 < Nivel_Freatico < 50 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Advertencia

SiNo Nivel_Freatico < 50 entonces

Imprime "Dique en condiciones" = Critico

Hasta Desplazamiento>6 y Borde_Libre<80 y Nivel_Freatico < 50

Imprime "ALERTA de falla del dique y desborde de relave"

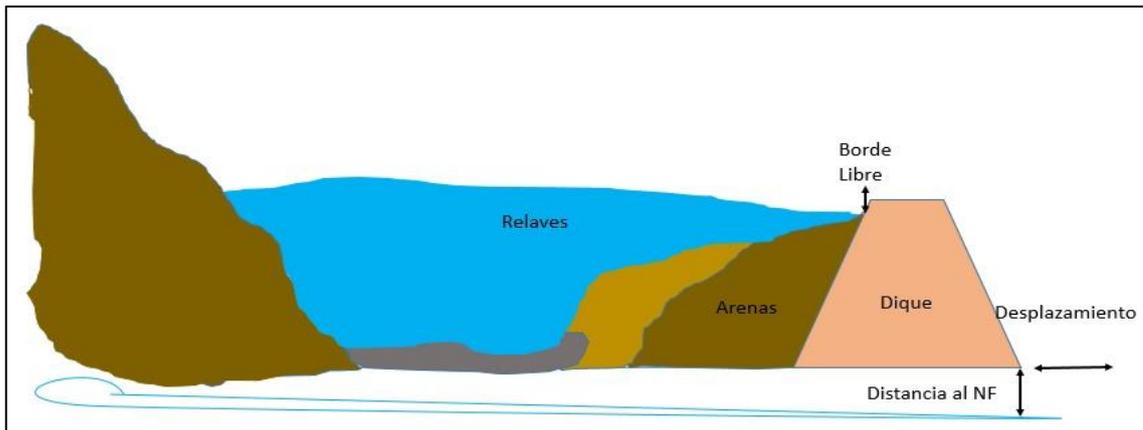
Fin

5.6.2 Definición de la medición de las variables

Para la implementación se identifican los puntos donde se instalarán los sensores, y se definen los valores que son críticos y que afectaría directamente la estabilidad del dique.

Figura 5.10

Medición de variables



El sensor de humedad medirá la distancia de la cara superficial con el borde superior del dique, así también medirá la distancia entre la cota inferior del dique y el nivel freático estas distancias son de acuerdo con el diseño del dique.

El sensor de inclinación tiene la función de obtener el valor de los desplazamientos del dique.

Tabla 5.1

Parámetros de inclinación

Estado de Monitoreo	Desplazamiento Absoluto	Condición
Normal	< 4 cm	Estructura del dique opera en condiciones normales
Moderado	4 – 6 cm	Posiblemente se presenten grietas superficiales
Critico	> 6 cm	El dique presentara grietas longitudinales comprometiendo la estabilidad física con deslizamiento de material

Fuente: Elaboración Osinergmin

Tabla 5.2*Parámetros de nivel de agua superior*

Estado de Monitoreo	Borde Libre	Condición
Normal	> 100 cm	Estructura de la cota superior del dique opera en condiciones normales
Moderado	100 – 80 cm	Posible desborde superior de relave
Crítico	< 80 cm	Condición crítica de la estabilidad física del dique

Fuente: Elaboración MINEM

Tabla 5.3*Parámetros de nivel de agua inferior*

Estado de Monitoreo	Borde Libre	Condición
Normal	> 50 cm	Estructura de la cota inferior del dique opera en condiciones normales
Moderado	50 – 40 cm	Posible saturación de humedad en la base del dique.
Crítico	< 40 cm	Condición crítica de la estabilidad física del dique

Fuente: Elaboración MINEM

5.7 Selección del modelo de predicción

Luego del análisis de los modelos propuestos por Azure en sus módulos de Machine Learning se optó por el algoritmo predictivo bosque de decisión multiclase (Multiclass Decision Forest). La elección de este algoritmo es debido en gran medida al alto grado de acierto en sus diferentes iteraciones, donde analiza y clasifica cada uno de los diferentes escenarios con las categorías definidas por el usuario.

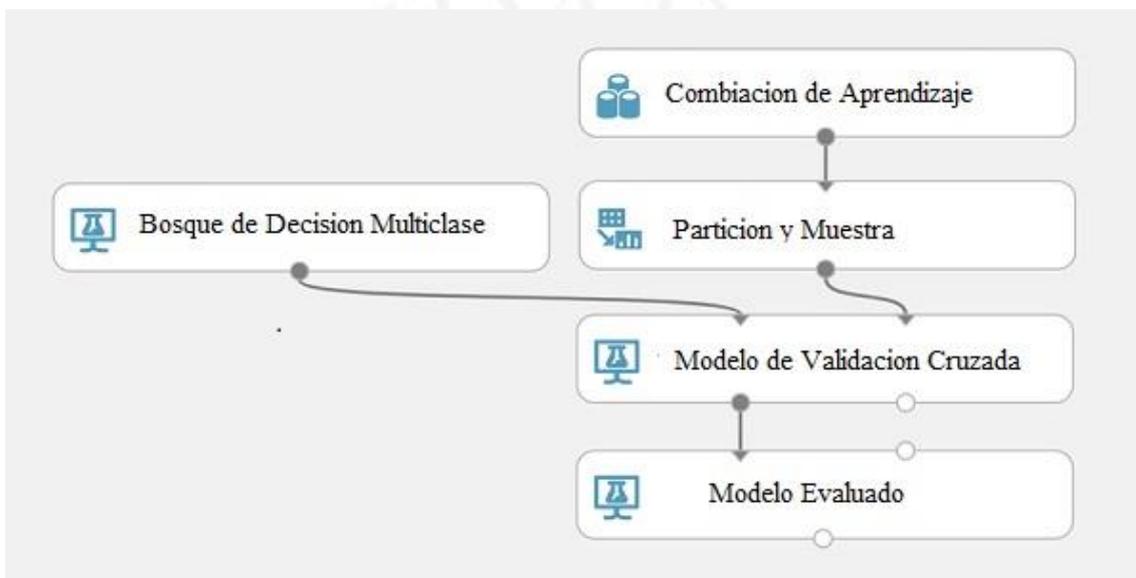
Para el desarrollo de este proyecto se han contemplado tres categorías para el análisis de la estabilidad física de un dique, estas categorías son: Normal, Moderado y Crítico.

5.8 Entrenamiento del Modelo de predicción

Para el entrenamiento del modelo se usará el módulo de entrenamiento (Train Module) de Azure, la configuración del conjunto de datos para el entrenamiento debe contener la columna de categorías los cuales tendrán valores discretos.

Figura 5.11

Algoritmo bosque de decisión multiclase



Fuente: Microsoft Azure

En la figura 5-11 se observa la interacción del bosque de decisión multiclase, dicho algoritmo conjuntamente con el módulo de entrenamiento, se encargarán de generar los posibles escenarios de falla de la estabilidad física de los diques.

CONCLUSIONES

- En el Perú, la actividad minera es uno de los segmentos principales en la economía, que aportó en el 2018 el 10% del PBI y el 61% de las exportaciones, el crecimiento de esta actividad en conjunto con los nuevos proyectos mineros de gran escala, (Ministerio de Energía y Minas, s.f). sustenta la iniciativa del desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real de la estabilidad física de los diques, ya que se proyectará un mayor volumen de relave, el cual deberá ser controlado.
- La identificación de un inadecuado control en el manejo de depósitos de relave, se aprovechó para definir los parámetros del sistema de alertas en tiempo real que monitoree los pasivos ambientales contenidos en el dique, gracias a este soporte tecnológico se busca minimizar el impacto ecológico, ambiental, y a su vez incrementar el valor social y económico. Ya que con este monitoreo se evitaría los pagos de multas por desborde de relave y la suspensión de la operación minera.
- Respecto del alcance, el despliegue de este sistema cubre el control de monitoreo en los depósitos de relave, en esta etapa también se va generar el inventario de estos depósitos de relave activos, esta información estará disponible en el módulo de estadísticas del sistema. Donde se proporcionará la información del estado del dique en tiempo real.
- Gracias a la data histórica recopilada en el módulo de estadísticas, se determinará el comportamiento de la estabilidad física de los diques, así también se tendrán estadísticas de los valores críticos de las variables que controlan la humedad y la inclinación del dique, esta información estará expuesta vía web para ser consumida a través de reportes automatizados.
- La gestión de procesos del sistema de monitoreo de los depósitos de relave, estarán alineados a los objetivos de la organización, cada proceso cuenta con indicadores para el análisis sobre la afectación de la estabilidad física, esta data será analizada a través del módulo de predictibilidad de Azure, como complemento de la seguridad de la estabilidad de los diques en las operaciones mineras.

- Se concluye que el sistema de monitoreo en tiempo real, integrado al módulo de predictibilidad constituye un factor de cambio y transformación de una propuesta de innovación para la generación de diversos escenarios de posibles fallas de la estabilidad física, estos escenarios son de suma importancia para la reducción de los desbordes de relave en los depósitos activos de las operaciones mineras, luego este monitoreo podrá ser aplicado sobre depósitos inactivos y finalmente sobre depósitos abandonados de responsabilidad del ministerio de energía y minas.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda el desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real, este monitoreo deberá ser permanente como parte del plan de seguridad de la estabilidad física de los diques de relave de las empresas mineras, para la prevención de desastres ecológicos.
- Se recomienda que la calibración de los sensores sea revisada mensualmente y estos sensores deben encontrarse correctamente instalados en la cota inferior y el borde superior del dique, la calibración debe estar definida de acuerdo a los parámetros de criterio establecidos en el diseño del dique.
- Luego de la primera fase donde se ha contemplado el módulo de estadísticas con la información de diques activos, se recomienda evaluar posteriormente el incluir al módulo de estadísticas, la información de diques inactivos y los que se encuentran en estado de abandono.
- Se recomienda que el gestor del uso de este sistema de monitoreo en los diques de relave, sea el Ministerio de Energía y Minas, y este tenga el grado de normativa para obtener la concesión de un proyecto minero. Luego para este sistema se deberá evaluar la incorporación de variables alternas que afecten al dique como la temperatura y la presión que se ejerce en el dique.
- Se recomienda que para el uso de la plataforma de monitoreo se debe considerar el entrenamiento de personal técnico de al menos 40 horas, en los temas relacionados a la comunicación de los equipos con los sensores, la calibración de los sensores de acuerdo a los criterios de los parámetros del diseño del dique, así como la interacción de los módulos del sistema y su arquitectura en conjunto soportada en Azure.
- Se recomienda que el sistema de monitoreo de la estabilidad física de un dique de relave sea permanente, para minimizar cualquier afectación de la estructura de las paredes del dique, con la implementación de este sistema de monitoreo en tiempo real y el uso del módulo de predictibilidad bosque de decisión multiclase de Azure se podrá tomar acciones preventivas ante posibles colapsos.

REFERENCIAS

- Almerco Palomino, D.O. (2014). Construcción de dique con tratamiento del relave, en mina catalina huanca – región Ayacucho (tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Recuperado de <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/usmp/1045>
- Diario el Peruano (13 de septiembre 2019). Aporte de la minería PBI. Recuperado <https://elperuano.pe/noticia-aporte-de-mineria-al-pbi-65726.aspx>
- Gartner (2020). Comparing Amazon Web Services (AWS), IBM, Microsoft. Recuperado de <https://www.gartner.com/reviews/market/public-cloud-iaas/compare/amazon-web-services-vs-ibm-vs-microsoft>
- Prensa Libre (30 de junio del 2010). Huancavelica Min. Caudalosa Chica Rio Opamayo relave minero. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ZW5zubjXIUo>
- Kelleher, J; Namee, B y D'Arcy, A. (2015). Fundamentals of Machine Learning for predictive data analytics: algorithms, worked examples, and case studies. Massachussetts: Massachussetts Institute of Technology.
- Mejia-Giraldo, J.F. (2019). Propósitos organizacionales como alternativa para los problemas que proponen los modelos canvas y lean canvas. Innovar: Revista de ciencias administrativas y sociales, 29(72), 31-40.
- Ministerio del Ambiente (s.f). Definiciones. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/definiciones/>
- Ministerio de Energía y Minas (s.f). Casi el 10% del PBI y el 61% de las exportaciones del 2018 fueron producto de la minería (Plataforma digital única del Estado Peruano). Recuperado <https://www.gob.pe/institucion/MINEM/noticias/29754-MINEM-casi-el-10-del-pbi-y-el-61-de-las-exportaciones-del-2018-fueron-producto-de-la-mineria>
- Ministerio de Energía y Minas. (1995) Guía ambiental para el manejo de relaves mineros. Recuperado de <http://www.MINEM.gob.pe/MINEM/archivos/file/DGAAM/guias/relaveminero.pdf>
- Ministerio de Energía y Minas (s.f). Reglamento de Protección Ambiental para las actividades mineras, aprobado a través del D.S. 016-93-EM modificado por D.S. 016-93-EM. Recuperado de http://intranet2.MINEM.gob.pe/web/archivos/dgaam/publicaciones/compendio99/016-93_059-93.pdf
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (s.f). Resoluciones del consejo directivo y TASTEM. Recuperado de <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/mineria/sanciones>

Ries, E. (2019). El camino hacia el lean startup: Como aprovechar la visión emprendedora para transformar la cultura de tu empresa e impulsar el crecimiento a largo plazo. Lima: Deusto

Serrano, M; Blázquez, P. (2016). Desing thinking: Lidera el presente, Crea el futuro. Pozuelo de Alarcon: ESIC.

Servicio Nacional de certificación Ambiental para las inversiones sostenibles. (2014). Reglamento de Protección y Gestion Ambiental para las Actividades de Explotación, Beneficio, Labor General, Transporte y Almacenamiento Minero. Recuperado de <https://www.senace.gob.pe/download/senacenormativa/NAS-4-6-01-DS-040-2014-EM.pdf>

Sharda, R; Denle, D; Turban, E. (2018). Business Intelligence, Analytics, and data science: A Managerial Perspective. New York: Pearson

Superintendencia de Banca y Seguros y AFPs (s.f). Tasa de interés promedio del sistema bancario. Recuperado <http://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPortal/Paginas/TIPasivaDepositoEmpresa.aspx?tip=B>

Microsoft Azure (s.f). Azure Invente con un objetivo. recuperado <https://azure.microsoft.com/es-es/>

BIBLIOGRAFÍA

Albright, S; Winston, W. (2019). Business analytics: Data analysis and decision making. Boston: Cengage.

Bishop, C. (2006). Pattern recognition and Machine Learning. New York: Springer.

Perez, M; Alvarez J; Campo, J; Ferrero, F y Grillo, G. (2011). Instrumentación electrónica. Madrid: Thomson.

Yauyo Verastegui, R. R. (2013). Metodología para la gestión de pasivos ambientales mineros (Informe de Suficiencia para optar el título profesional de ingeniero de minas). Universidad Nacional de Ingeniería.

