

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS



TESIS

**SUBSIDENCIAS Y SU IMPLICANCIA EN EL PROCESO OPERATIVO EN
EL TAJO TOROMOCHO. MINERA CHINALCO PERÚ - REGIÓN JUNIN -
EN EL PERIODO 2019-2020**

PRESENTADO POR:

BACH. WILBERT PABEL PALIZA HUAMAN

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

Dr. MIGUEL VERA MIRANDA

CUSCO - PERU

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

VICE RECTORADO DE INVESTIGACIÓN

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe asesor del informe técnico titulado: **“SUBSIDENCIAS Y SU IMPLICANCIA EN EL PROCESO OPERATIVO EN EL TAJO TOROMOCHO. MINERA CHINALCO PERÚ - REGIÓN JUNIN - EN EL PERIODO 2019-2020”**

Presentado por **WILBERT PABEL PALIZA HUAMÁN**, con DNI **71893624** y código universitario Nro. **121943** para optar al Título Profesional de: **INGENIERO DE MINAS**. Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 03 (Tres) veces, mediante el software antiplagio Turnitin, conforme al Artículo 6° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de: **10 % (diez por ciento)**.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación, tesis, textos, libros, revistas, artículos científicos, material de enseñanza y otros (Art. 7, inc. 2 y 3)

Porcentaje	Evaluación y acciones.	Marque con una X
Del 1 al 10 %	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30%	Devolver al usuario para las correcciones.	-----
Mayores a 31 %	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a ley.	-----

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software antiplagio.

Cusco, 03 de enero de 2024.



FIRMA

POST FIRMA: Dr. Miguel Vera Miranda
DNI Nro.: 23876027

ORCID ID: 0000-0002-9349-8463

Se adjunta:

1. Reporte Generado por el sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio:
<https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:301816915?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

SUBSIDENCIAS Y SU IMPLICANCIA EN EL PROCESO OPERATIVO EN EL TAJO TOROMOCHO. MINERA CHINALCO PERÚ - R

AUTOR

WILBERT PABEL PALIZA HUAMÁN

RECUENTO DE PALABRAS

22536 Words

RECUENTO DE CARACTERES

133973 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

132 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

3.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 3, 2024 4:52 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 3, 2024 4:53 PM GMT-5

● 10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de trabajos entregados
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 18 palabras)
- Material bibliográfico
- Material citado

DEDICATORIA

A Dios, por darme esta maravillosa vida llena de salud, guiarme y cuidarme en todas las actividades que realizo, gracias por haberme dado fortaleza para continuar a pesar de muchos tropiezos, doy gracias a Dios y a la santa tierra Pachamama, con toda la humildad de mi corazón por permitirme culminar mis estudios y realizarme profesionalmente.

De igual forma, dedico mi tesis a mi Madre: Martha Huamán Guillen y en memoria de mi Padre Wilber Paliza Valencia quienes son mi fortaleza y motivo para seguir adelante. A mis hermanos: Willmar Paliza Huamán y Milagros Paliza Huamán, por siempre apoyarme y recordarme que si puedo lograrlo. A mi esposa Luzmarina y a mi hijo Níkola Sebastián, a toda mi familia y amigos porque me han brindado su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos.

También dedico mi tesis a mis familiares que me ven y cuidan desde el cielo, sin sus sabios consejos cuando estuvieron en vida no hubiese tenido la fortaleza y el valor de hacer cosas que siempre tuve miedo de hacerlas, me enseñaron a valorar todo lo que uno puede realizar cuando aún tiene vida.

AGRADECIMIENTOS

A MINERA CHINALCO PERU, por haberme abierto sus puertas para desarrollarme profesionalmente.

A mi asesor, Ing. Miguel Vera Miranda, por su constante iniciativa en la investigación de la presente tesis.

A todos y cada uno de los Ingenieros de MINERA CHINALCO PERU, al Ing. Luis Ticona Condori (Gerente Mina), al Ing. Victor Astete Benites (Superintendente de Servicios Técnicos), al Ing. Aristarco Moreno Guzman (Superintendente de Operaciones Mina), al Ing. Ruddy Palacios Rodriguez (Superintendente de Planeamiento Mina), al Ing. Juan Merma Rodriguez (Superintendente de Mantenimiento Mina), a mis jefes Ing. Roberto Torrejón Reyes, Ing. Lloyd Solórzano, Ing. Robert Mendoza, Ing. Daniel Vela y Ing. Luis Valdez, los cuales me brindaron sus conocimientos y experiencia. Al los Ings. Darwin Trejo, Omar Castillo (Jefes Generales de Operaciones), de igual forma a todos los trabajadores de MINERA CHINALCO PERU por sus desinteresados aportes y apoyo que me pudieron brindar.

Mi gratitud, compromiso y eterna identificación a mi alma mater, la Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco. De igual manera a los catedráticos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la UNSAAC por todos sus conocimientos y experiencias brindadas a lo largo de mi formación profesional.

INTRODUCCIÓN

La investigación desarrollada en el presente se subdivide en cinco capítulos, donde se profundiza el análisis ante los contratiempos que generan la ocurrencia de subsidencias no previstas en las labores de explotación del tajo Toromocho, el cuál demuestra que pese a los manejos exhaustivos de control de hundimientos, se carece de planes modelo acorde de las necesidades de ésta problemática presente en ésta unidad minera.

En el Capítulo I, se pone en evidencia la problemática que presenta la ocurrencia de subsidencias no previstas, ocasionando demoras operativas no planificadas en la operación.

En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico, donde se presenta los antecedentes de la investigación, rescatando que en nuestro país sólo existe un estudio pasado de análisis de subsidencias, por lo cuál la presente investigación servirá de base para futuras indagaciones.

En el capítulo III, presenta la metodología de la investigación, caracterizándose por ser correlacional, básica y cuantitativa.

En el capítulo IV, desarrolla el análisis de subsidencias en el periodo 2019-2020, mediante un análisis de Crown Pillar.

En el capítulo V, se demuestra la prueba de hipótesis teniendo como resultados la demostración que las subsidencias analizadas tuvieron un impacto en las labores de producción del tajo Toromocho.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene el objetivo determinar las implicancias que se genera ante la presencia de subsidencias en el proceso operativo del Tajo Toromocho entre los años comprendidos entre el 2019 y 2020; la cuál, se identifica como una investigación del tipo Básica, ya que servirá de base teórica para futuras investigaciones.

Adicionalmente la presente investigación es del tipo Descriptivo y Correlacional, ya que se describe el proceso de detección de Subsidencias y se puede medir sus Variables. Tomándose como muestra de 16 subsidencias encontradas hasta el año 2019. Para el desarrollo de la presente investigación se ha optado por desarrollarla con una base de datos histórica de los años 2019 y 2020 aplicándose una metodología básica de carácter cuantitativo, ya que el fin del presente es identificar mediante una evaluación, los parámetros a tomar en cuenta para suplir los incidentes que ocurren en los procesos del ciclo del minado.

Finalmente concluyendo que las implicancias que generaron las subsidencias en el proceso operativo fueron la identificación de deficiencias en la producción de los camiones, que no llegan a su parámetro óptimo durante los eventos de la ocurrencia de subsidencias, ocasionando una disminución de más 1000 toneladas movidas por camión al día, afectando la planificación diaria y así posteriormente proponer un plan necesario de contingencia , reduciendo y controlando los contratiempos para el desarrollo adecuado de las labores ya planificadas.

Palabras Clave: Subsidencias, Producción, Planes de Contingencia.

ABSTRACT

The objective of this research work is to determine the implications generated by the presence of subsidences in the operational process of the Toromocho Tagus between the years between 2019 and 2020; which is identified as a Basic type of research, as it will serve as a theoretical basis for future research.

Additionally, the present research is of the Descriptive and Correlational type, since it describes the process of detection of Subsidies and its Variables can be measured. Taking as a sample of 16 subsidences found up to 2019. For the development of this research, it has been chosen to develop it with a historical database of the years 2019 and 2020, applying a basic methodology of a quantitative nature, since the purpose of this is to identify, through an evaluation, the parameters to be taken into account to supply the incidents that occur in the processes of the mining cycle

Finally, concluding that the implications generated by the subsidences in the operational process were the identification of deficiencies in the production of the trucks, which do not reach their optimal parameter during the events of the occurrence of subsidences, causing a decrease of more than 1000 tons moved per truck per day, affecting the daily planning and thus subsequently proposing a necessary contingency plan, reducing and controlling setbacks for the proper development of the tasks already planned.

Keywords: Subsidence, Production, Contingency Plans.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1. CAPITULO I.....	17
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.5.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL	19
1.5.2. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA	19
2. CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20

2.1.1.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES	20
2.1.2.	ANTECEDENTES NACIONALES	22
2.2.	BASES TEÓRICAS	22
2.2.1.	SUBSIDENCIAS	22
2.2.2.	SUBSIDENCIAS EN MINERÍA SUBTERRÁNEA.....	25
2.2.3.	IMPORTANCIA DEL FENÓMENO DE LA SUBSIDENCIA	26
2.2.4.	HUNDIMIENTOS Y SUBSIDENCIAS.....	28
2.2.5.	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE SUBSIDENCIAS	30
2.2.6.	MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS	34
2.2.7.	MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN.....	36
2.2.8.	INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.....	39
2.2.9.	MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA LOCALIZAR Y DELIMITAR VACÍOS SUBTERRÁNEOS	40
2.2.10.	MÉTODOS SÍSMICOS	42
2.2.11.	PLAN DE MANEJO DE SUBSIDENCIAS	46
2.2.12.	MONITOREO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN SUBSIDENCIAS	47
2.2.13.	MECANICA DE ROCAS.....	48
2.2.14.	INTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	55
2.2.15.	KPI (Key Performance Indicators).....	57
2.3.	HIPÓTESIS	61

2.3.1.	HIPÓTESIS GENERAL	61
2.3.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	61
2.4.	VARIABLES E INDICADORES	62
2.4.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	62
2.4.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	62
2.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	62
3.	CAPÍTULO III	63
	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	63
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	63
3.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	63
3.3.	POBLACIÓN	64
3.4.	MUESTRA	64
3.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	64
3.5.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCION DE DATOS	64
3.5.2.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	64
3.6.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	65
4.	CAPÍTULO IV	66
	ANÁLISIS DE LAS SUBSIDENCIAS EN EL PERIODO 2019 – 2020	66
4.1.	MONITOREO DE SUBSIDENCIAS EN EL TAJO TOROMOCHO	66
4.1.1.	Labores Monitoreadas para la investigación	67
4.1.2.	Detección de Subsidiencias mediante perforaciones profundas.....	67

4.1.3.	Campana de perforación en el Nv 4590	69
4.1.4.	Control y Prospección de Vacíos detectados	72
4.1.5.	Método de la gestión de vacíos para dimensionar las labores subterráneas identificadas.	73
4.1.6.	EVALUACIÓN ESPESOR MÍNIMO PILAR CORONA CRITICO.	76
4.1.7.	EVALUACIÓN ESPESOR PILAR CORONA CRITICO.	80
4.1.8.	IDENTIFICACIÓN LABORES CRÍTICAS.	81
4.2.	INVESTIGACIÓN MEDIANTE LA DIGITALIZACIÓN DE LABORES QC	83
4.3.	ANÁLISIS DE LOS KPIS POR OCURRENCIA DE SUBSIDENCIAS EN EQUIPOS DE PRODUCCIÓN	86
4.3.1.	Tiempos muertos de operación por presencia de subsidencias	89
4.3.2.	ANÁLISIS DE EQUIPOS CON MAS INCIDENCIA DE OCURRENCIA DE SUBSIDENCIAS.....	90
5.	CAPITULO V	97
5.1.	ANÁLISIS	97
5.2.	PRESENTACIÓN	97
5.3.	INTERPRETACIÓN	97
5.4.	PRUEBA DE HIPÓTESIS	98
5.4.2.	NIVEL DE SIGNIFICANCIA Y NIVEL DE CONFIANZA.....	98
6.	CONCLUSIONES.....	101

7.	RECOMENDACIONES	102
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS 106		
	ANEXO 1.....	107
1.1.	DESCRIPCIÓN DE MINERA CHINALCO PERÚ.....	107
1.2.	Breve descripción de Minera Chinalco Perú.....	107
1.3.	Actividades de la empresa.....	107
1.4.	Ubicación Geográfica.....	107
1.5.	Accesos a la Mina.....	109
1.6.	Geomorfología y Relieve.....	109
1.7.	Clima y Meteorología.....	110
1.8.	Recursos.....	112
1.8.1.	Recurso de Suelo.....	112
1.8.2.	Flora y Fauna.....	114
1.9.	Geología.....	116
1.9.1.	Geología Económica.....	116
1.9.2.	Geología Regional.....	118
1.9.3.	Geología Local de Toromocho.....	120
1.9.4.	Tipo de Yacimiento.....	121
1.10.	DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES MINA.....	125
1.10.1.	Equipos utilizados en Tajo.....	126

1.11. PROCESOS UNITARIOS OPERACIONES MINA	130
1.11.1. Perforación:	130
1.11.2. Voladura:	131
1.11.3. Carguío:	132
2.1.1. Acarreo:	133
ANEXO 2.....	135
ANEXO 3.....	136
ANEXO 4.....	137
ANEXO 5.....	138
ANEXO 6.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	24
Tabla 2	25
Tabla 3	31
Tabla 4	34
Tabla 5	35
Tabla 6	37
Tabla 7	52
Tabla 8	53
Tabla 9	54
Tabla 10	62
Tabla 11	67
Tabla 12	70
Tabla 13	72
Tabla 14	77
Tabla 15	82
Tabla 16	90
Tabla 17	91
Tabla 18	95
Tabla 19	109

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1	69
Gráfico 2	77
Gráfico 3	77
Gráfico 4	78
Gráfico 5	79
Gráfico 6	79
Gráfico 7	80
Gráfico 8	89
Gráfico 9	93
Gráfico 10	94
Gráfico 11	96
Gráfico 12	100

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	32
Figura 2	33
Figura 3	39
Figura 4	108
Figura 5	110
Figura 6	111
Figura 7	113
Figura 8	113
Figura 9	114
Figura 10	115
Figura 11	116
Figura 12	119
Figura 13	121
Figura 14	122
Figura 15	125
Figura 16	126
Figura 17	127
Figura 18	127
Figura 19	128
Figura 20	129
Figura 21	130

Figura 22	131
Figura 23	131
Figura 24	132
Figura 25	133
Figura 26	134

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

KPI: Key performance indicators (Indicadores clave de rendimiento).

InSAR : El radar de apertura sintética interferométría

GNSS : El sistema mundial de navegación por satélite

DORIS: Determinación de Órbitas y Radio-Posicionamiento Integrado por Satélite

MDT :Modelo digital del terreno

LIDAR:Light Detection and Ranging

ALTM:Airborne Laser Terrain Mapper

RMR:Rock Mass Rating

ERI: Resistividad eléctrica

HP: Horse Power, capacidad efectiva de potencia de los motores de los equipos Diésel.

DM: Disponibilidad mecánica de los equipos Diésel, expresada en porcentaje (%).

CAPITULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante las exploraciones previas a la explotación del tajo Toromocho operada por Minera Chinalco Perú, se tenían previstas la presencia de antiguas labores subterráneas que precedían a la explotación moderna, sin embargo, la incidencia de solucionar los problemas del día a día al presentarse estas labores (subsidiencias), ocasionaron una interferencia en las operaciones cotidianas de explotación del tajo.

Es así que durante las operaciones que corresponden al ciclo normal de minado, la presencia y detección de subsidiencias en las labores tanto de producción y acceso dentro de tajo se vieron afectadas directamente retardando el tiempo normal del ciclo; ocasionando demoras significativas en las operaciones unitarias de perforación, voladura y acarreo de mineral. La presencia de subsidiencias también significó una pérdida de horas efectivas de productividad neta interfiriendo en los indicadores presupuestados y presentando riesgos críticos en la seguridad del personal. En tajo Toromocho al ser una mina de gran dimensión se utilizan equipos como palas eléctricas, camiones mineros, perforadoras eléctricas y equipos auxiliares que corren el riesgo de

sufrir hundimientos debido a las labores subterráneas antiguas, por lo cual no existe un plan de contingencia para preservar la seguridad de dichos equipos y evitar los mencionados incidentes.

Por lo tanto, Minera Chinalco Perú carece de un plan de acción o procedimiento ante la ocurrencia de subsidencias no planificadas, es así que se propone tener un procedimiento que minimice los tiempos perdidos y reduzca el riesgo de padecer accidentes no deseados.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son las implicancias de las subsidencias que se genera en el proceso operativo en el tajo Toromocho durante el periodo 2019-2020?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS DE LA INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo mejorar la predicción de detección de subsidencias durante las operaciones mineras en el tajo Toromocho de minera Chinalco?
- ¿De qué manera influye la gestión de perforaciones profundas para detectar labores subterráneas?
- ¿Qué acciones inmediatas se debe tomar ante la presencia de subsidencias?

1.3.JUSTIFICACIÓN

Analizar la presencia de subsidencias que ocurren durante las operaciones mineras actuales es de suma importancia para el desarrollo normal de lo presupuestado. La planificación de la producción y el control ingenieril de los procesos, ya están establecidos, por lo cual la presencia de una subsidencia no planificada es un riesgo a la gestión de las operaciones, es así que la presente investigación toma importancia para tener un plan de contingencia y reducir los

tiempos perdidos ocasionados por la ocurrencia de labores subterráneas no identificadas, en la actual operación a tajo abierto de Toromocho.

1.4.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las implicancias que se genera ante la presencia de subsidencias en el proceso operativo del tajo Toromocho en el periodo 2019-2020

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los parámetros de detección de subsidencias para su adecuada predicción durante las operaciones mineras en el tajo Toromocho.
- Determinar la influencia de las perforaciones profundas para detectar labores subterráneas
- Determinar las acciones inmediatas a tomar ante la presencia de subsidencias

1.5.DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL

El trabajo de investigación utilizará los datos de los años 2019 y 2020.

1.5.2. DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA

La investigación se realizará únicamente en las operaciones de Minera Chinalco Perú – tajo Toromocho - región Junín.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(EZQUERRO MARTÍN, 2021) “*ESTUDIO DE LA SUBSIDENCIA DEL TERRENO PRODUCIDA POR LA EXPLOTACIÓN DE ACUÍFEROS MEDIANTE DATOS DE INTERFEROMETRÍA RADAR SATÉLITE, 2021*” Realizado en la Universidad Politécnica de Madrid - España

La tesis propone una metodología para analizar la subsidencia causada por la extracción de agua subterránea, con el objetivo de mejorar la comprensión de este peligro geológico, caracterizar los acuíferos y evaluar el impacto potencial de la subsidencia en estructuras e infraestructuras urbanas. El estudio concluye que la evaluación del terreno permite predecir la presencia de subsidencias no detectadas en los años venideros, en caso de intervención humana.

(ALEMAN SANCHEZ, 2019) “**MODELIZACIÓN DE LA SUBSIDENCIA MINERA DEL POLÍGONO LO TACÓN (LA UNIÓN - MURCIA), 2019**” Realizado en la Universidad Politécnica de Cartagena - España

Tesis de Máster del tipo cualitativo, cuyo objetivo fue el estudio técnico de las causas que producen subsidencias en murcia, para dimensionar la afectación en la población y sus viviendas, demostrando un parámetro de hundimiento progresivo a lo largo de los años. Éste estudio concluye que mediante las simulaciones estudiadas y basándose en la geología de la zona, las subsidencias y su riesgo avanzaron con el riesgo de provocar colapsos de gran magnitud y propone una acción inmediata de diseño de paralización de subsidencias.

(FERNANDEZ LOPEZ, 2013) “**ANÁLISIS, VALORACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DE LAS MEDIDAS CORRECTORAS DE LOS EFECTOS HIDROGEOLÓGICOS DE SUBSIDENCIA Y MEDIOAMBIENTALES PRODUCIDAS COMO CONSECUENCIA DEL CESE Y ABANDONO DE LABORES EN UNA EXPLOTACIÓN MINERA EN UN ENTORNO URBANO, 2013**” Realizado en la Universidad de León - España

Tesis con el objetivo de darle una valoración a las medidas correctivas que ocasionaron los cierres intempestivos de labores mineras, produciendo pasivos agresores ambientales y una significativa presencia de hundimiento del suelo. Es así que el autor concluye que, siguiendo ciertas precauciones, la presa diseñada será estable durante su desmantelamiento. Estas precauciones incluyen mantener controlado el nivel de agua dentro de la presa y reducir su altura gradualmente durante el proceso de deconstrucción. Esto permite evaluar el efecto hidrológico y tomar medidas correctivas en caso de subsidencias futuras.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

(ZANABRIA HUANASCA, 2021) ***“EVALUACION DE LA SUBSIDENCIA INDUCIDA POR LA EXTRACCIÓN DE MINERAL PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DEL PIQUE MASCOTA Y CENTRAL EN LA U.M. YAURICOCHA, 2021”***

Realizado en la Universidad Nacional del Centro del Perú.

El estudio de tesis tiene como objetivo evaluar las subsidencias presentes mediante un estudio geomecánico de la estabilidad del pique mascota para su no afectación a la ampliación de éste, la tesis es de naturaleza cuantitativa y concluye que el método de detección de subsidencias implementado en la mina Yauricocha cumple con los estándares de la industria y es efectivo para predecir condiciones futuras. Se utilizó un análisis geo mecánico para evaluar las labores subterráneas no identificadas y evitar así afectar la producción minera. El autor concluye que al encontrarse con 2 hundimientos en la zona de extracción del pique mascota, es de necesidad el replanteo de la ubicación del pique , o planificar una ruta distinta extractiva para evitar subsidencias no previstas en los próximos años.

2.2.BASES TEÓRICAS

2.2.1. SUBSIDENCIAS

La subsidencia terrestre es un fenómeno que implica el asentamiento de la superficie de la tierra en un área extensa debido a varios factores, que pueden ser naturales o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas (CORAPCIOGLU & BEAR, 2012).

2.2.1.1. FACTORES CAUSANTES DE LA SUBSIDENCIA

Según (PROKOPOVICH P, 1979) en un sentido puramente genético se puede clasificar la subsidencia según dos grupos de factores: exogénicos y endogénicos.

La subsidencia endogénica se refiere principalmente a los procesos internos del planeta, como pliegues, fallas, volcanismo o la deriva continental. Por otro lado, la subsidencia exogénica se refiere a aquellos fenómenos que ocurren cerca de la superficie terrestre y se presentan como una compactación superficial de depósitos profundos. Estos fenómenos pueden ser causados tanto por factores naturales como por actividades humanas. Es posible subdividir esta categoría en dos tipos: la subsidencia causada por el movimiento de sólidos y la generada por un aumento de la carga en los estratos debido a la extracción de fluidos. Además, dependiendo del tipo de carga, esta forma de subsidencia puede ser producto de un aumento de la presión total o efectiva.

Un caso representativo de este tipo de situaciones sería la disminución de flujos de agua no limitados en el suelo. Dentro del segundo conjunto se encuentra la extracción de agua, petróleo o gas desde acuíferos confinados. Uno de los aspectos más relevantes es la extracción de líquidos de reservas y fuentes subterráneas, que pueden incluir petróleo, agua subterránea, gas o vapor de agua.

2.2.1.2. TIPOS DE SUBSIDENCIAS

La subsidencia del terreno es únicamente la manifestación en superficie de una serie de mecanismos subsuperficiales de deformación. (PROKOPOVICH P, 1979) define desde un punto de vista genético dos tipos de subsidencia: endógena y exógena.

El primer concepto se refiere a los desplazamientos de la superficie terrestre causados por fenómenos geológicos internos como pliegues, fallas y vulcanismo. El segundo concepto se

refiere a los procesos de deformación en la superficie que están relacionados con la compresión natural o provocada por el ser humano del suelo.

La subsidencia también se puede clasificar en función de los mecanismos que lo desencadenan (CORAPCIOGLU & BEAR, 2012). Algunas de las causas de los procesos de subsidencia incluyen la extracción de minerales en galerías subterráneas, la construcción de túneles, la extracción de fluidos (agua, petróleo o gas) acumulados en reservorios subterráneos, la disminución de la capa freática debido a sequías prolongadas, la disolución natural del terreno y el lavado de materiales debido a los efectos del agua, los procesos morfotectónicos y de sedimentación, y los procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos (GONZALES DE VALLEJO et al., 2002).

Tabla 1. *Clasificación de las Subsidencias 1*

SUBSIDENCIAS SUBTERRÁNEAS	EXOGÉNICA	TRASLADO DE SÓLIDOS
		DISMINUCIÓN DE LA RESISTENCIA DEL SUELO
		AUMENTO DE PRESIÓN
		VARIACIONES DE HUMEDAD
	ENDOGENICA	PLIEGUES
		FALLAS
		VOLCANISMO
		TECTÓNICA DE PLACAS

Fuente: (GONZALES DE VALLEJO y otros, 2002)

Por otra parte, (TOMÁS y otros, 2009), presentan la siguiente clasificación para los distintos tipos de subsidencia según la causa que la origina.

Tabla 2. *Clasificación de las Subsidiencias 2*

POR DISOLUCIÓN SUBTERRÁNEA	EN SAL
	EN YESO
	EN ROCAS CARBONÁTICAS
POR CONSTRUCCIÓN DE OBRAS SUBTERRÁNEAS O GALERIAS MINERAS	
POR EROSIÓN SUBTERRÁNEA (TUBIFICACIÓN O PIPING)	
POR FLUJO LATERAL	ROCAS SALINAS
	ARCILLAS
POR COMPACTACIÓN	POR CARGA
	POR DRENAJE
	POR VIBRACIÓN
	POR EXTRACCIÓN DE FLUIDOS
	POR HIDROCOMPACTACIÓN
TECTÓNICA	

Fuente: (TOMÁS y otros, 2009)

2.2.2. SUBSIDENCIAS EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

El trabajo en una mina subterránea implica operar a grandes profundidades dentro de una masa rocosa. Para garantizar la seguridad, se requiere una infraestructura especial que incluye un pozo de acceso, plantas generales, galerías y pozos de comunicación. Estas operaciones permiten establecer un circuito de ventilación primaria y asegurar el tránsito de personal y maquinaria de manera segura. La geotecnia desempeña un papel fundamental en la seguridad de las operaciones mineras, ya que su objetivo principal es obtener un conocimiento profundo del macizo rocoso y garantizar la realización segura de todas las actividades relacionadas.

- Elaborar planes de excavación seguros para el personal.
- Anticipar el comportamiento previsto del macizo rocoso en respuesta a la actividad minera.
- Resolver de la manera más eficiente y rápida posible.

2.2.3. IMPORTANCIA DEL FENÓMENO DE LA SUBSIDENCIA

Como se mencionó previamente, el hundimiento del suelo es un proceso geológico en el que la superficie terrestre se asienta debido a factores naturales o causados por el ser humano. A lo largo de la historia del planeta, se han registrado movimientos verticales de la corteza terrestre en diversas regiones, a veces acompañados de movimientos horizontales. La velocidad de estos movimientos puede variar desde varios metros hasta unos pocos milímetros por año. En algunos casos, los asentamientos pueden ocurrir rápidamente, en cuestión de segundos, mientras que en otros casos el hundimiento ocurre lentamente a lo largo de miles o incluso cientos de miles de años debido a procesos de consolidación del suelo a largo plazo. La velocidad del movimiento tiene un impacto directo en la actividad humana. Además de la velocidad, otros factores a tener en cuenta son la magnitud de los asentamientos, que pueden variar desde unos pocos milímetros o centímetros hasta varios centímetros o incluso metros por año, y la extensión del área afectada, que puede abarcar desde unos pocos metros cuadrados hasta miles de kilómetros cuadrados.

Durante el siglo XX, la subsidencia se convirtió en un fenómeno geológico preocupante debido al aumento de la población y la industrialización. Esto provocó un aumento tanto en el número de centros de población como en el porcentaje de personas afectadas por subsidencia causada por factores naturales. Además, el crecimiento de la población y la industrialización aumentaron la demanda de agua y, como resultado, la explotación intensiva de los acuíferos, lo que condujo a un aumento del hundimiento antropogénico y sus consecuencias. En resumen, el hundimiento

puede considerarse como una consecuencia más de los cambios ambientales globales que han afectado a los ecosistemas desde el siglo XX debido al crecimiento de la población, la urbanización y el desarrollo industrial. A partir de la década de 1950, el hundimiento fue reconocido como un riesgo geológico relevante a nivel mundial debido al aumento significativo de los casos causados. Ejemplos de los efectos del hundimiento incluyen modificaciones significativas en los gradientes naturales de los arroyos, así como en los canales y desagües artificiales, incluida incluso la inversión del flujo de agua en zanjas y canales de riego, el colapso de estribos y muelles de puentes, asentamientos en carreteras, carreteras y ferrocarriles, roturas en el suministro de agua y tuberías de saneamiento, grietas y fugas en presas, (NUHFER y otros, 1997).

- Daños y destrucción causados por hundimientos y grietas en el suelo.

También es importante considerar otras implicaciones que ocurren bajo tierra y que no son visibles a simple vista. Estas implicaciones incluyen cambios en las características hidrogeológicas del subsuelo, como modificaciones en las presiones intersticiales y efectivas del suelo, lo que a su vez afecta los valores de presiones de preconsolidación. Esto tiene un impacto en los parámetros de almacenamiento específico de los acuíferos y, por lo tanto, altera las características y el comportamiento futuro del suelo. A diferencia de los movimientos sísmicos, el hundimiento no representa un riesgo inmediato para la vida humana. Sin embargo, puede causar daños materiales significativos y las pérdidas económicas correspondientes, particularmente en áreas urbanas donde "afecta especialmente a todo tipo de estructuras apoyadas en terrenos deformantes"(TOMAS y otros, 2005).

En los últimos años, los nuevos métodos de observación y vigilancia, como el radar de apertura sintética interferométrica (InSAR) y el sistema mundial de navegación por satélite

(GNSS), han sido particularmente útiles y pertinentes para identificar las zonas afectadas, determinar las causas y caracterizar los efectos. El objetivo es prevenir o minimizar los daños potenciales causados por el hundimiento, por lo que es crucial identificar y caracterizar las áreas afectadas y determinar las principales causas. Esta información se puede utilizar para implementar las medidas necesarias para prevenir o minimizar los riesgos asociados. Al evaluar los riesgos, se debe tener en cuenta tanto la probabilidad de ocurrencia como la gravedad de las consecuencias.

2.2.4. HUNDIMIENTOS Y SUBSIDENCIAS

2.2.4.1. HUNDIMIENTOS

Las cavidades subterráneas pueden ser de origen natural o causadas por la actividad humana. La aparición de hundimientos está determinada por varios factores (GONZALES DE VALLEJO y otros, 2002), tales como:

- El tamaño y forma de las cavidades

2.2.4.2. SUBSIDENCIA SEGÚN SU ORIGEN

Según (GONZALES DE VALLEJO y otros, 2002); Las subsidencias suelen ser procesos de lenta evolución, aunque a menudo se aceleran por la intervención humana. Pueden afectar a diferentes tipos de terrenos, especialmente a los suelos, y son causadas por cambios de tensión en el suelo debido a las siguientes razones:

- El descenso del nivel del agua subterránea
- La minería subterránea y la construcción de túneles
- La extracción o expulsión de petróleo o gas
- La explotación intensiva de acuíferos

- Los procesos lentos de disolución y lixiviación de materiales
- Los procesos morfotectónicos y de sedimentación.

2.2.4.2.1. *Origen de las subsidencias mineras*

Las subsidencias mineras ocurren como resultado de deformaciones inducidas en el suelo debido a las actividades mineras. La magnitud y el alcance del hundimiento están relacionados con el tipo de materiales, el volumen y método de extracción. El hundimiento más frecuente ocurre en asociación con la explotación de depósitos estratificados sub-horizontales y masivos (como carbón y evaporitas) y depósitos metálicos dispuestos vertical o inclinados (como diques y vetas). Predecir el hundimiento es difícil, y puede ocurrir años después de que las operaciones mineras hayan cesado. En el caso de las capas sub-horizontales, el hundimiento suele ser de menor magnitud, pero puede cubrir un área grande, lo que facilita la predicción. Los modelos basados en mediciones instrumentales y análisis numéricos se pueden utilizar para evaluar el hundimiento de la minería. También hay correlaciones empíricas entre el hundimiento máximo y el espesor de las capas, la profundidad y la extensión de la minería. La minería puede causar subsidencia, lo cual puede tener impactos en los suelos, las rocas y las pendientes.

Según (GONZALES DE VALLEJO y otros, 2002) Los fenómenos de subsidencia y hundimiento pueden aparecer simultáneamente.

La construcción de túneles también puede causar hundimientos, especialmente en áreas con poco espesor de recubrimiento y suelos poco resistentes. En terrenos kársticos, pueden ocurrir hundimientos debido a la disolución en dolinas llenas de arcilla o en áreas con suelos relativamente gruesos. (FERNANDEZ LOPEZ, 2013).

La subsidencia también puede estar vinculada a procesos tectónicos y de consolidación de sedimentos arcillosos, como ocurre en los deltas donde la acumulación de material ejerce una carga creciente sobre el sustrato, provocando movimientos verticales de ajuste. Las turberas, que son depósitos no consolidados de restos vegetales descompuestos, a menudo experimentan subsidencia debido a la reducción del contenido de agua o a cargas externas, debido a su alta compresibilidad.

2.2.5. MÉTODOS DE MEDICIÓN DE SUBSIDENCIAS

(TOMAS y otros, 2005) El texto nos indica que existen cuatro métodos para medir las deformaciones de la superficie terrestre: métodos topográficos tradicionales, métodos geodésicos, métodos fotogramétricos y métodos de teledetección.

2.2.5.1. MÉTODOS TOPOGRÁFICOS CONVENCIONALES

Estas técnicas, conocidas como cartografía clásica terrestre, engloban todos los métodos utilizados anteriormente para medir deformaciones en la superficie terrestre con precisión y sin errores significativos.

Tabla 3. Métodos para medir subsidencias

MÉTODO	USO	RESULTADOS	RANGO	PRECISIÓN
Nivelación trigonométrica o por pendientes.	Variación de la altitud	dZ	Variable	20 mm
Nivelación geométrica o por alturas.	Variación de la altitud.	dZ	Variable	+ - 1 mm/Km
Nivelación geométrica de precisión.	Variación de la altitud.	dZ	Variable	+ - 0.1 mm/Km
Triangulación topográfica	Desplazamiento de blancos móviles.	dX, dY, dZ	< 300 – 1000m	5 – 10 mm
Itinerario topográfico (Poligonal)	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	Variable	5 – 10 mm
Distanciómetro electroóptico (MED)	Desplazamiento de blancos móviles	dD	1 – 10 Km	7 mm+ - 1 – 5 ppm

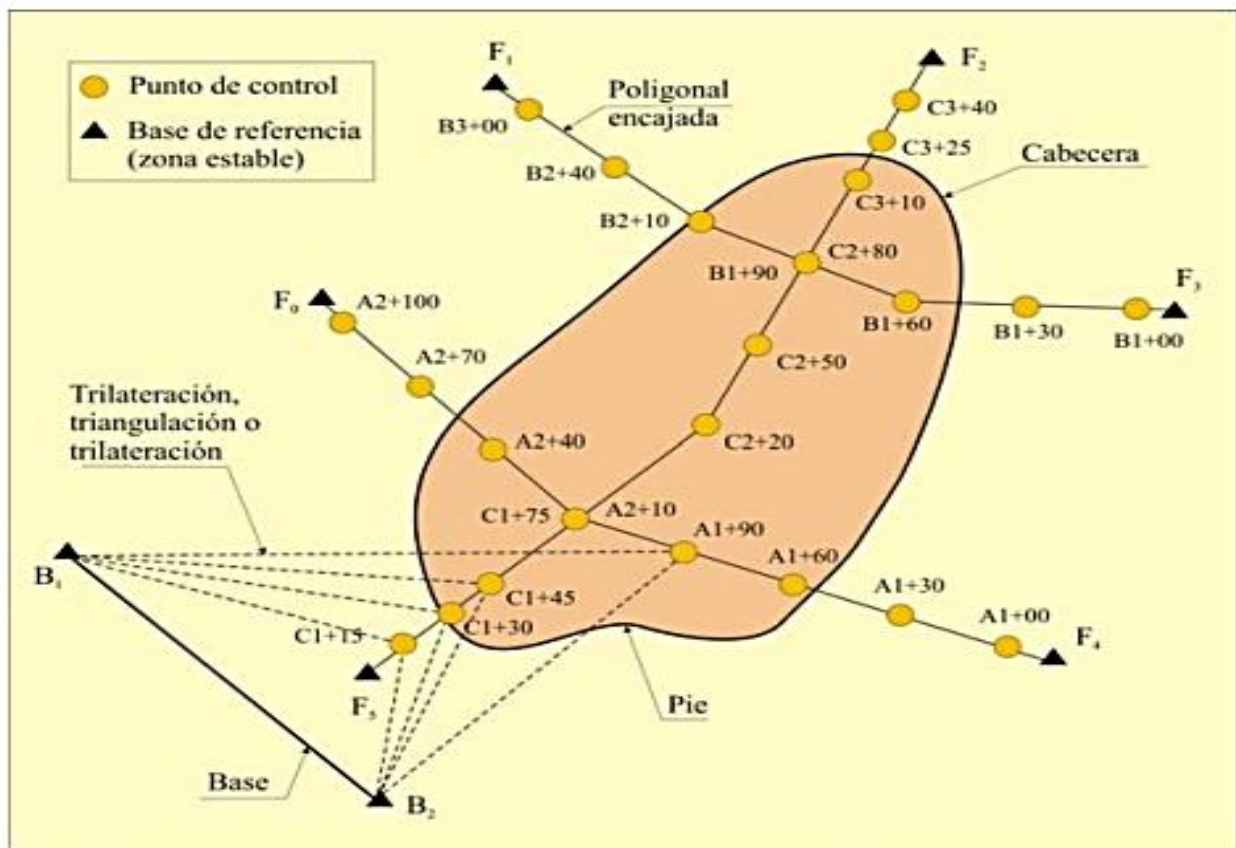
Fuente: (TOMÁS y otros, 2009)

El objetivo principal es medir los cambios en las coordenadas de una serie de puntos durante un periodo de tiempo determinado. Para lograrlo, se deben tomar medidas repetidas de las coordenadas (-X, -Y, -Z) de los puntos de control en diferentes momentos, con el fin de determinar si ha habido alguna variación en cualquiera de las tres direcciones del sistema de referencia. Estas mediciones se realizan generalmente a partir de puntos de coordenadas conocidos llamados bases topográficas, que deben permanecer fijas durante todo el periodo de medición. Los métodos topográficos se pueden clasificar en dos grupos principales: altimétricos y planimétricos. Otro método utilizado en el estudio de la inestabilidad de taludes es la medición de distancias reales, que busca determinar la variación en la distancia entre el punto de control y la base de referencia.

2.2.5.2. MÉTODOS GEODÉSICOS

La geodesia es el área de estudio que permite calcular las coordenadas y alturas de los puntos en la superficie terrestre. Esto se realiza con respecto al nivel del mar o a una superficie de referencia llamada elipsoide. Las técnicas geodésicas más utilizadas para estudiar las deformaciones superficiales son el GPS, el DORIS y el SLR.

Figura 1. *Puntos de Control Geodésicos*

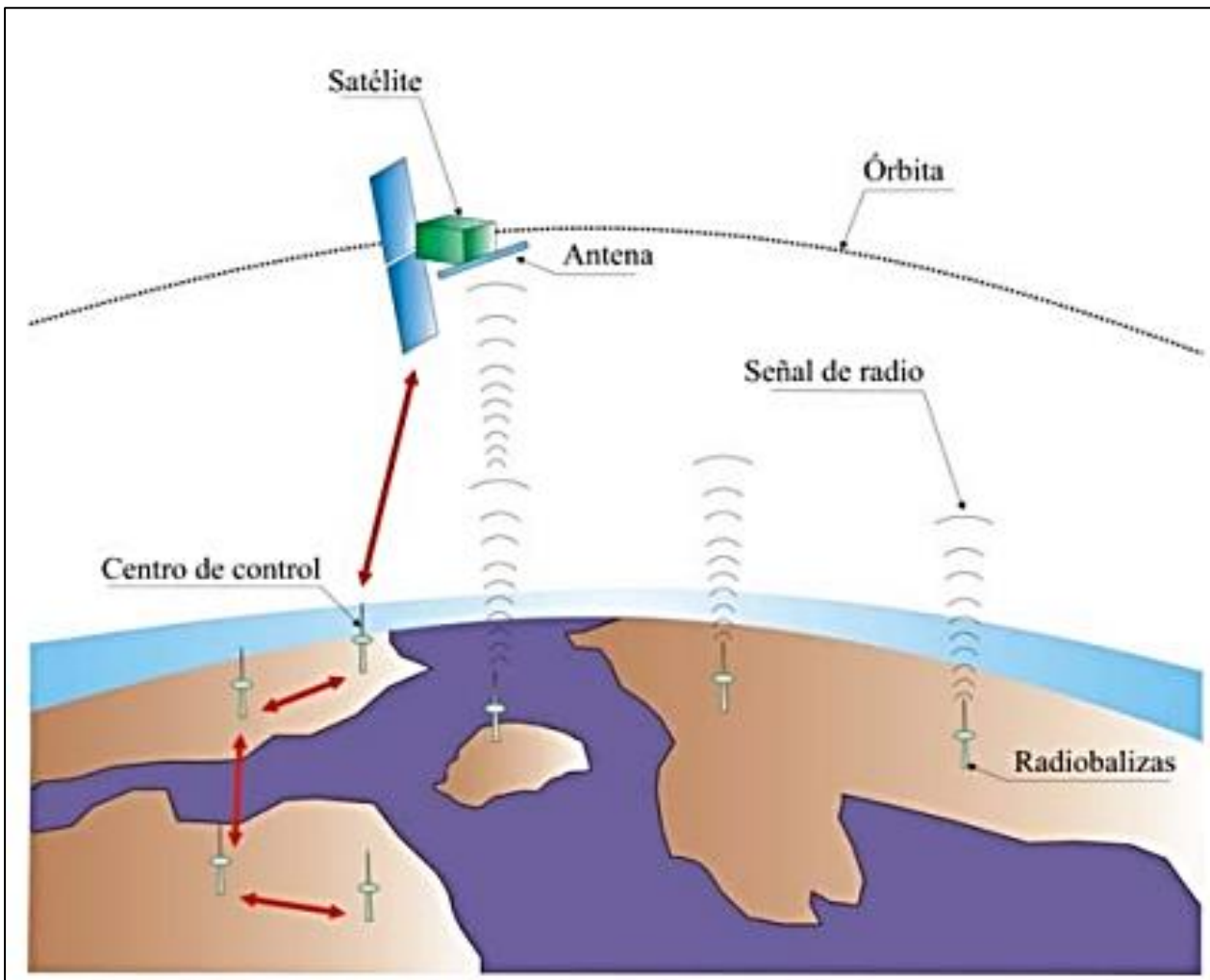


Nota: Imagen obtenida de (TOMÁS y otros, 2009)

El sistema DORIS (Determinación de Órbitas y Radio-Posicionamiento Integrado por Satélite) fue desarrollado por el Centro Nacional de Estudios Espaciales, el Instituto Geográfico Nacional y el Grupo de Investigación en Geodesia Espacial. Consiste en instrumentos ubicados en satélites, una red de radiobalizas terrestres (puntos de control geodésico) y un centro de

control y procesamiento de datos que puede determinar con precisión las órbitas de los satélites y las posiciones de las balizas terrestres. Este sistema se basa en la medición del efecto Doppler de las señales de radio emitidas por las balizas en el suelo. Las radiobalizas están distribuidas globalmente para satisfacer las necesidades de los distintos usuarios. El sistema permite una localización precisa de las balizas ubicadas en el punto donde se está evaluando la deformación. Se ha utilizado para medir la deformación de la corteza y evaluar las variaciones verticales estacionales del suelo.

Figura 2. Gráfico de funcionamiento de GPS



Nota: Imagen obtenida de Manual GPS

La telemetría del escáner láser (SLR) es una técnica geodésica que se utiliza para medir la distancia entre una estación láser en tierra y un satélite equipado con retrorreflectores en órbita. Gracias a la presencia de múltiples estaciones láser distribuidas en todo el mundo, es posible determinar con precisión la posición orbital del satélite. Al seguir satélites durante varios años, se pueden obtener mediciones de distancia entre estaciones láser con una precisión milimétrica. Esta técnica se ha utilizado exitosamente en el estudio de deformaciones de la corteza terrestre, así como en la detección y seguimiento de la recuperación y asentamiento de suelos post-glaciales, entre otras aplicaciones.

Tabla 4. *Métodos de teledetección*

MÉTODO	USO	RESULTADOS	RANGO	PRECISIÓN
Convencional Global Positioning System (CGPS)	Deplazamiento de blancos móviles.	dX,dY,dZ		1 – 2 mm
Differential Global Positioning System (DGPS)	Deplazamiento de blancos móviles.	dX,dY,dZ	Baseline < 20Km	1 mm
Determination d' orbits et Radio – Positionement Intégrés par Satellite(DORIS)	Deplazamiento de blancos móviles.	dX,dY,dZ	Variable	2 mm
Telemetría de Láser por Satélite(SRL)	Deplazamiento de blancos móviles.	dX,dY,dZ	Variable	<1 cm

Fuente: (TOMAS y otros, 2005)

2.2.6. MÉTODOS FOTOGRAMÉTRICOS

La fotogrametría es una técnica utilizada para obtener las dimensiones tridimensionales de una escena a partir de pares de fotografías tomadas desde diferentes ángulos. Existen tres métodos fotogramétricos. El primero es la fotogrametría terrestre, donde los pares de fotografías se

obtienen desde el suelo, a una distancia de menos de 200 metros del área a inspeccionar, con una precisión de hasta 40 mm. Este método es adecuado para estudiar fenómenos a pequeña escala que ocupan áreas pequeñas. El segundo método es la fotogrametría aérea, donde la cámara se coloca en una plataforma aérea (avión o helicóptero), a una altura de vuelo de menos de 500 metros. La precisión alcanzada con la fotogrametría aérea es de alrededor de 100 mm, y se puede cubrir grandes áreas. El procesamiento de las imágenes permite construir un modelo digital del terreno (MDT) del área de interés. La principal ventaja de la fotogrametría es que proporciona una visión completa del área deformada, no solo de unos pocos puntos, como ocurre con otros métodos de control de deformación. El tercer método es la fotogrametría satelital, que se basa en los mismos principios que la fotogrametría aérea, pero las imágenes estereoscópicas se adquieren desde una plataforma espacial. Hasta ahora, las precisiones obtenidas con la fotogrametría satelital han sido bajas. Sin embargo, la mejora de las imágenes de satélite introducida por una nueva generación de satélites en el mercado, como SPOT V y ASTER, que pueden adquirir dos imágenes en una sola órbita, ha hecho que la fotogrametría satelital pueda competir con la fotogrametría aérea, permitiendo la interpretación manual de las imágenes o la correlación automática de los pares.

Tabla 5. Métodos fotogramétricos

MÉTODO	USO	RESULTADOS	RANGO	PRECISIÓN
Fotogrametría terrestre	Desplazamiento de blancos móviles	dX,dY,dZ	<200 m	+/-40 mm
Fotogrametría aérea	Desplazamiento de blancos móviles	dX,dY,dZ	Hvuelo < 500m	+/-100 mm
Fotogrametría satélite.	Desplazamiento de blancos móviles	dX,dY,dZ		+/- 15 m

Fuente: Tabla obtenida de (TOMÁS y otros, 2009)

2.2.7. MÉTODOS DE TELEDETECCIÓN

La teledetección se refiere a los métodos de observación remota sin contacto físico entre el objeto y el sistema sensor. La fotogrametría se considera parte de la teledetección, pero se utiliza específicamente para determinar movimientos superficiales. Por otro lado, las técnicas no fotogramétricas que permiten el estudio sin contacto físico se incluyen en la teledetección. Estos métodos se dividen en láser y radar. El grupo láser incluye el escáner láser terrestre y aéreo (LIDAR, ALS o ALTM). El grupo de radar se divide en terrestre (radar de apertura sintética terrestre, GB-SAR), aerotransportado (radar aerotransportado) y satélite (radar espacial). Además, las técnicas de interferometría SAR se dividen en técnicas convencionales de interferometría SAR diferencial (DInSAR) y técnicas avanzadas (dispersores permanentes o píxeles coherentes estables). Los sistemas SAR registran la amplitud y la fase de los ecos radar para generar una imagen de magnitud compleja. La diferencia de fase entre dos imágenes SAR proporciona información sobre la morfología del terreno y los cambios ocurridos. Esta es la base de la interferometría diferencial convencional y la técnica de dispersión permanente, que se utilizan en el monitoreo del hundimiento minero, la disminución del nivel del agua subterránea y los movimientos de pendientes. Los dispersores permanentes son objetivos puntuales cuya amplitud permanece estable en el tiempo, y se localizan a través del análisis estadístico de las amplitudes del eco electromagnético de la imagen.

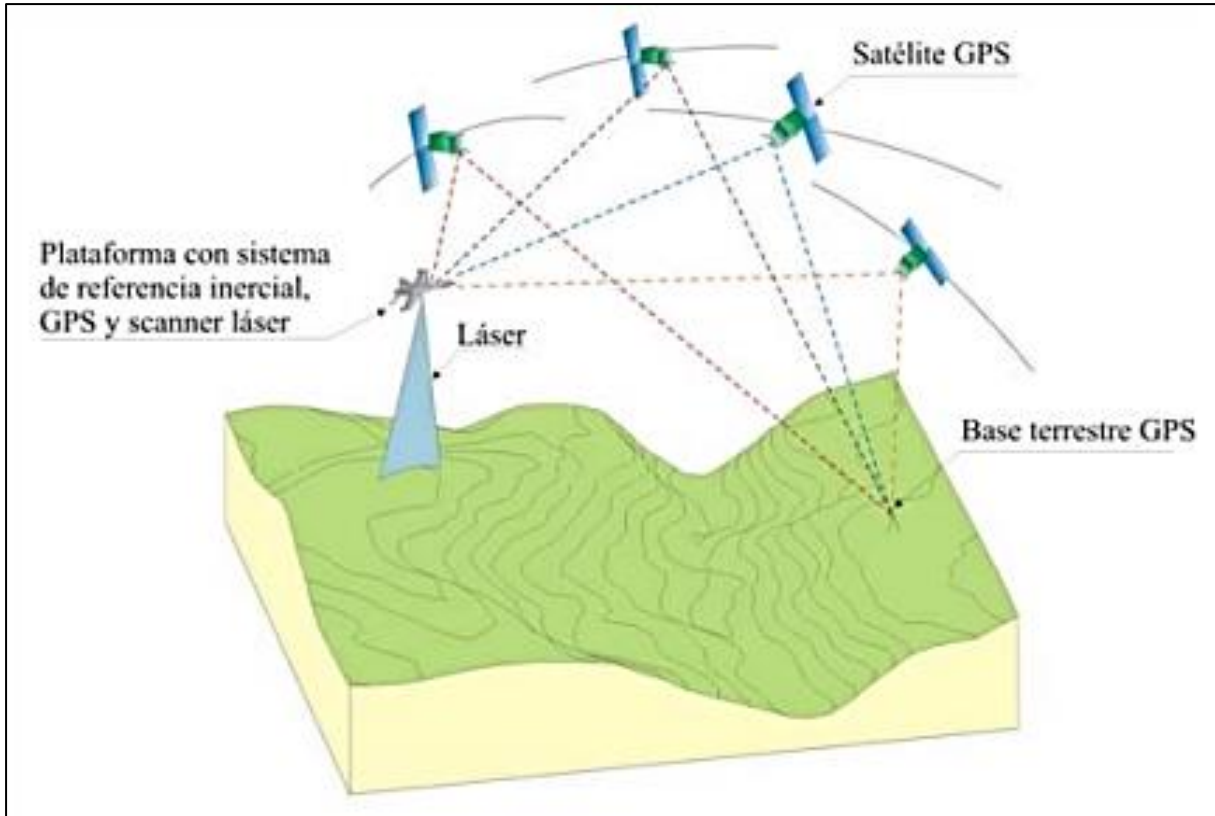
Tabla 6. Métodos de teledetección

MÉTODO	USO	RESULTADOS	RANGO	PRECISIÓN
Interferometría diferencial SAR convencional DInSAR)	Desplazamientos e la Línea de Vista (Line of sight)	dX,dY,dZ	Baseline<200 m Coherencia>0.3 en varios puntos adyacentes.	3 – 5 mm
Permanent Scatterers (PS)	Desplazamientos e la Línea de Vista (Line of sight)	dX,dY,dZ	Coherencia >0.7 en un solo punto N° de imágenes >30	1 mm
Stable Coherent Pixels (SCP)	Desplazamientos e la Línea de Vista (Line of sight)	dX,dY,dZ	Coherencia >0.4 en un solo punto	1 mm
Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR)	Desplazamientos e la Línea de Vista (Line of sight)	dX,dY,dZ	< 1.5 Km	<1 mm
Terrestrial Laser Scanner (TLS) o ground- based Laser Scanner (GB-LS)	Superposición de MDT	dX,dY,dZ	<400m	+/-1.5 mm (hasta 50 m, para distancias superiores menor precisión)
Airborne Laser Scanner (ALS), Light Detection and Ranging (LIDAR) o Airborne Laser Terrain Mapper (ALTM)	Superposición de MDT	dX,dY,dZ	200<Hvuelo<6000m Distancia base < 50 Km	150 – 200 mm

Fuente: Tabla obtenida de (TOMAS y otros, 2005)

Esta técnica se ha utilizado en el estudio de fenómenos de subsidencia y movimientos de ladera. El equipo del Escáner Láser está compuesto por una fuente de láser y dos espejos inclinados. La distancia entre el equipo y el escenario se determina midiendo el tiempo que tarda el pulso láser en llegar al escenario y regresar al equipo. La posición relativa del punto en el escenario se determina a través de la desviación de los espejos. La intensidad de la señal de retorno se guarda en el equipo como un atributo de cada punto medido, ya que indica la reflectividad del objeto y proporciona información sobre sus características espectrales. En una sola sesión, se pueden obtener fácilmente millones de puntos que posteriormente requieren un tratamiento de filtrado y modelado para obtener una representación tridimensional del escenario a través de un Modelo Digital de Terreno (MDT). Las diferencias entre varias reconstrucciones tridimensionales del escenario permiten identificar los cambios y deformaciones que se producen en el mismo. Este método se ha utilizado en el estudio de movimientos de ladera y fenómenos de subsidencia en diversas ocasiones. El Escáner Láser Aerotransportado (ALS), también conocido como Light Detection and Ranging (LIDAR) o Airborne Laser Terrain Mapper (ALTM), es un sistema activo que emite un pulso láser y lo recibe a bordo. El tiempo que tarda el pulso en regresar al receptor, junto con los datos de posición del avión, permiten referenciar el punto medido en el terreno.

Figura 3. Sistema de Teledetección



Nota: Obtenido de (TOMAS y otros, 2005)

2.2.8. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

En una campaña de instrumentación geotécnica o sistema de monitoreo, es importante definir claramente las magnitudes a medir, los dispositivos a utilizar y la frecuencia de registro. Estos aspectos son directamente derivados de una correcta definición del problema geotécnico planteado. Por ejemplo, no es lo mismo monitorear los movimientos generados por una tuneladora excavando un túnel en una ciudad, que medir los desplazamientos en una ladera natural sometida a un proceso de deslizamiento lento. En el primer caso, se deben registrar tanto los movimientos horizontales como los verticales, y controlar la aparición de grietas en los edificios cercanos. Debido a que estos movimientos son relativamente rápidos, la frecuencia de

registro debe ser alta (diaria o semanal). En el segundo caso, debido a que se trata de un fenómeno de movimiento lento, la frecuencia de registro debe ser baja (mensual o trimestral), y la magnitud a medir serán los movimientos horizontales.

Como conclusión, en toda campaña de instrumentación geotécnica o de auscultación debe quedar perfectamente definido (HERRERA RODRIGUEZ & LINARES RIVAS DE EGUIBAR, 2000):

- El problema geotécnico que provocó la necesidad de la campaña de monitoreo.
- El parámetro que se va a medir y su rango esperado.
- Los dispositivos de instrumentación o medición necesarios.
- La ubicación óptima para los dispositivos.
- La frecuencia de las mediciones.
- El personal técnico y de soporte necesario.

La instrumentación geotécnica tiene como uno de sus objetivos básicos medir la respuesta del terreno ante determinadas variaciones, que puedan ocurrir en las condiciones de su entorno, las cuales pueden ser debidas a la ejecución de obras de ingeniería y fenómenos naturales

2.2.9. MÉTODOS GEOFÍSICOS PARA LOCALIZAR Y DELIMITAR VACÍOS SUBTERRÁNEOS

Hay varios métodos geofísicos disponibles para detectar y mapear cavidades o vacíos asociados con la minería subterránea. La elección del método a utilizar depende de factores como las condiciones de la superficie, el tipo de roca, el tamaño y dimensiones de la cavidad, la profundidad y el relleno de la cavidad. En esta sección, se presentará una breve introducción a

cada uno de los posibles métodos geofísicos para detectar y delimitar las cavidades de minería subterránea en el sitio.

2.2.9.1. RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

El método de imágenes de resistividad eléctrica (ERI) es una técnica geofísica bien establecida que mide la resistividad eléctrica (recíproca de conductividad) del subsuelo para inferir tipos de roca / suelo, estratigrafía y condiciones del suelo. Los principios físicos para esta técnica son los mismos que los establecidos para la resistividad de corriente continua (CC), donde la resistividad aparente del subsuelo se calcula aumentando las separaciones de electrodos aplicando corriente al suelo utilizando dos electrodos y midiendo la diferencia de potencial (voltaje) entre dos electrodos diferentes. La resistividad aparente del subsuelo se calcula a partir de la relación potencial/corriente multiplicada por una constante. Esta constante es una función del espaciado de los electrodos y la geometría. La profundidad de la investigación también es una función de la separación de electrodos. Por lo tanto, con separaciones de electrodos más grandes, se puede obtener información de mayores profundidades, pero a costa de una resolución más baja.

El método mapea las diferencias en las propiedades eléctricas de los materiales subterráneos que pueden resultar de variaciones en los sedimentos o el tipo de roca, el contenido de agua, la química del agua y la presencia de desechos enterrados. Dado que la mayoría de los minerales que componen el suelo y las rocas tienen baja conductividad eléctrica, la mayor parte del flujo de corriente se produce a través del agua subterránea. Por lo tanto, la resistividad generalmente disminuye con el aumento de la porosidad y la saturación, y aumenta con la menor porosidad y saturación. Los minerales de arcilla y ciertos minerales metálicos tienden a ser conductores debido a la disponibilidad de iones libres. Del mismo modo, los iones disueltos en el

agua subterránea la hacen más conductora de la corriente eléctrica. Por lo tanto, la resistividad eléctrica disminuye con el aumento del contenido de arcilla y la fuerza iónica de los fluidos porosos.

ERI difiere de las técnicas tradicionales de CC en que una serie de electrodos (generalmente 56, 72 o más) se coloca a lo largo de una línea de reconocimiento y se conecta a un medidor de resistividad o medidor de resistividad a través de un cable equipado con múltiples salidas. El medidor de resistividad es un dispositivo controlado por computadora que consiste en una fuente de corriente capaz de producir una corriente constante conmutada de +/- y un voltímetro de alta impedancia. Se carga una rutina o secuencia en el medidor de resistividad, realizada de acuerdo con los alcances y el tipo de terreno, en el medidor de resistividad, y los electrodos se encienden y apagan según sea necesario durante todo el proceso de medición. Este equipo y procedimiento permiten la recopilación automatizada de datos de alta densidad a lo largo de toda la línea de encuesta. A medida que continúa la línea de cobertura de resistividad, los cables desde el inicio de la matriz de electrodos se mueven (enrollan) hasta el final, y las mediciones continúan.

Los equipos más utilizados para medir la resistividad eléctrica son:

- Multímetro Digital
- Potenciómetros

2.2.10. MÉTODOS SÍSMICOS

Las técnicas sísmicas miden la propagación de energía, que se introduce en el medio en un punto en o cerca de la superficie. Esto se logra utilizando una serie de receptores sísmicos (geófonos), cada uno de los cuales mide el movimiento vertical del suelo en un solo punto. A

medida que la energía se propaga a través del suelo, es reflejada y refractada por las interfaces en el suelo. Estas ondas sísmicas reflejadas y refractadas alcanzan la superficie y estos eventos son medidos por los geófonos. Hay varios tipos de ondas sísmicas, cada una con características únicas. Las ondas compresivas (V_p) son la onda sísmica de movimiento más rápido, sin embargo, contienen la menor cantidad de energía cuando se generan a partir de una fuente de energía sísmica típica. Las ondas de corte (V_s) viajan más lentamente que las ondas de compresión, pero contienen mucha más energía; y, por lo tanto, son más fáciles de resolver a mayores distancias de la fuente sísmica. Las ondas de compresión y de corte se propagan en todas las direcciones desde la fuente. Un tercer tipo de onda sísmica, que se llama onda de superficie, se propaga solo cerca de la superficie de un medio, es la onda sísmica de movimiento más lento; sin embargo, contiene una energía significativamente mayor que las ondas de compresión y de corte, y por lo tanto es la onda más fácil de detectar a cualquier distancia de una fuente sísmica.

Entre los aparatos más usados para medir la intensidad sísmica tenemos:

- Sismógrafos
- Acelerómetros

2.2.10.1. Reflexión de la Onda Corte (V_s)

Debido a la velocidad de las ondas de compresión, se espera que la profundidad de la investigación para los trabajos de la mina cerca de la superficie sea demasiado superficial para implementar métodos de reflexión de la onda de compresión, que pueden emplearse para detectar vacíos a una profundidad superior 20 metros. Esto se debe a la velocidad de muestreo de tiempo extremadamente rápida que se requeriría para identificar correctamente un evento de reflexión de onda de compresión. Dado que las ondas de corte viajan a velocidades inferiores a la mitad de las

ondas de compresión, su uso en un estudio de reflexión para la detección de vacíos tiene un gran potencial. Se utiliza una fuente sísmica, junto con una matriz lineal (propagación) de receptores sísmicos (geófonos) para realizar un estudio de reflexión de onda de corte. Luego se analizan los datos y se identifican las llegadas de ondas de corte. Una vez que se ha completado el análisis para varias ubicaciones de origen diferentes, se obtiene una sección sísmica del medio, el cual muestra la profundidad de los eventos de reflexión. El resultado sísmico se puede interpretar para ubicar y delinear los vacíos subterráneos.

2.2.10.2. Refracción Sísmica de Alta Resolución (3D)

Los métodos de refracción sísmica son muy similares a los métodos de reflexión, con la excepción de que las ondas no se reflejan directamente desde las interfaces del medio. En su lugar, están refractados críticamente por el medio, lo que significa que viajan al medio, se reflejan a lo largo de una interfaz del medio de tal manera que viajan a lo largo de la interfaz del medio, y luego se reflejan de nuevo a la superficie. Al ubicar los geófonos cerca uno del otro, en una matriz de alta densidad, los eventos de refracción de vacíos cercanos a la superficie serían evidentes. Una vez que se ha completado el análisis para varias ubicaciones de origen diferentes, la información de tiempo de viaje y las ubicaciones de fuente y receptor se ingresan en un modelo de software, que se invierte para la estructura de velocidad del subsuelo. El software de interpretación puede visualizar ambientes geológicos lateralmente complejos, como en áreas donde hay un vacío, y también para obtener información que permita la evaluación de la condición del pilar corona (pilar puente).

2.2.10.3. Radar de Penetración Terrestre (GPR)

El equipo GPR consiste en dos antenas (transmisor y receptor), una consola de control/computadora para visualización gráfica y grabación de datos en tiempo real, y un

odómetro de rueda para medir la distancia recorrida. En el modo de perfilado de reflexión, las antenas (separadas por una distancia fija) se mueven a lo largo de una línea y las lecturas se toman a intervalos discretos. En cada paso, se transmiten pulsos de energía electromagnética de radiofrecuencia (rango de megahercios) y se reciben reflexiones de horizontes subsuperficiales. Los horizontes reflectantes se producen cuando hay un cambio abrupto en la permitividad dieléctrica del material del subsuelo. La amplitud de la energía del radar recibida se registra como una función del tiempo, se procesa en tiempo real con fines de visualización, y los datos sin procesar se registran digitalmente para su posterior procesamiento y presentación. La calidad y la fuerza de la señal GPR dependen de los contrastes de las propiedades dieléctricas y de la cantidad de reflexiones en los datos. La penetración de la señal GPR depende principalmente del tipo de suelo y del contenido de agua. Una capa de limo o arcilla saturada de agua puede atenuar completamente la señal GPR, lo que resulta en una penetración de señal muy pobre. La señal dominante de respuesta del GPR ante un objeto enterrado es una hipérbola. Cualquier anomalía enterrada, característica similar a una tubería, tanque de almacenamiento subterráneo, roca, escombros o vacío tiene esta respuesta similar. Con la cobertura repetida línea por línea de un área, las características enterradas crearán patrones reconocibles que luego podrán ser interpretados. La calidad y la fortaleza de la respuesta del GPR determinará si se puede detectar una característica específica del subsuelo. La calidad y la fuerza de la señal dependen de los contrastes de las propiedades dieléctricas y la cantidad de reflexiones en los datos.

2.2.10.4. Microgravedad

El estudio de microgravedad investiga la geología del subsuelo al medir las variaciones en el campo gravitatorio de la Tierra, generado por las diferencias en la densidad entre las rocas del subsuelo. La densidad se mide utilizando un gravímetro, un dispositivo que consiste en un

resorte que lleva una masa constante conocida. El gravímetro es capaz de medir cambios muy pequeños en el peso de la masa constante, que son causados por un aumento en la gravedad debido a un medio de mayor densidad. Las variaciones en la densidad debidas a un vacío subterráneo se representan como una región anómala de baja densidad. La forma de la anomalía se analiza para determinar la profundidad y el tamaño del vacío subterráneo. Debido a que el gravímetro es capaz de medir cambios muy pequeños en la densidad, se ve afectado por los cambios en las mareas y la ubicación de la luna. Los cambios en la densidad causados por estos eventos deben corregirse, lo que se realiza tomando lecturas de microgravedad en la misma ubicación a intervalos durante todo el levantamiento, generando una curva de deriva de gravedad, la que se utiliza para corregir las mediciones de gravedad tomadas en otras ubicaciones para los efectos de las mareas, los cambios lunares y los sismos cercanos al área de investigación. El gravímetro es muy sensible, y la vibración del suelo junto a la extracción de material del rajo, común en una mina activa, hará que el resorte dentro del gravímetro oscile afectando la medición de la microgravedad

2.2.11. PLAN DE MANEJO DE SUBSIDENCIAS

El manejo de subsidencias en minería es un proceso complejo que requiere la implementación de diversas estrategias y medidas para mitigar los efectos de los hundimientos del terreno causados por la extracción de minerales. Algunas de las medidas que se pueden incluir en un plan de manejo de subsidencias en minería son:

2.2.11.1. Evaluación de riesgos y vulnerabilidades:

Es importante realizar una evaluación exhaustiva de los riesgos y vulnerabilidades asociados a las subsidencias en la zona minera. Esto implica identificar las áreas propensas a

subsidiencias, caracterizar los factores de riesgo y evaluar las medidas de control y prevención existentes. (TANAJURA XAVIER y otros, 2020)

2.2.11.2. Técnicas de extracción:

Se pueden implementar técnicas de extracción que minimicen la deformación del terreno y reduzcan el riesgo de subsidiencias. Estas técnicas pueden incluir la utilización de métodos de extracción selectiva, el uso de pilares de soporte y la implementación de sistemas de monitoreo continuo. (TANAJURA XAVIER y otros, 2020)

2.2.11.3. Monitoreo continuo:

Es fundamental realizar un monitoreo continuo de las áreas propensas a subsidiencias para detectar cualquier cambio en el terreno y tomar medidas preventivas de manera oportuna. Esto puede incluir el uso de tecnologías como el monitoreo por satélite, la instrumentación geotécnica y el monitoreo de la presión de agua subterránea (TANAJURA XAVIER y otros, 2020)

2.2.11.4. Sistemas de alerta temprana:

Se pueden implementar sistemas de alerta temprana que permitan detectar y prevenir subsidiencias inminentes. Estos sistemas pueden incluir la instalación de sensores de deformación del terreno, sistemas de monitoreo sísmico y sistemas de alerta basados en modelos geotécnicos. (TANAJURA XAVIER y otros, 2020)

2.2.12. MONITOREO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS EN SUBSIDENCIAS

2.2.12.1. MONITOREO TOPOGRÁFICO

Este tipo de monitoreo permitirá detectar movimientos superficiales anticipadamente para tomar las acciones de estabilidad correspondientes. (LANDEO y otros, 2015). El monitoreo topográfico implica el uso de extensómetros y sensores para observar el desplazamiento de los

techos y pisos. Se han detectado anomalías de movimiento en años anteriores debido al método de explotación de hundimiento por subniveles, de acuerdo con la inclinación de las estructuras. Se han establecido puntos de monitoreo para supervisar la estabilidad de la zona y sus alrededores.

2.2.12.2. MONITOREO DE CONVERGENCIA

El objetivo de las mediciones de convergencia es para determinar y verificar el comportamiento de la roca frente a los esfuerzos variables que están constituidos por esfuerzos de la presión lito estática y sus cambios provocados por las ondas de eventos sísmicos, asimismo existen esfuerzos inducidos por el método de minado de hundimiento por subniveles. (LANDEO y otros, 2015)

2.2.12.3. MONITOREO POR PIEZÓMETROS

Para verificar la presión de poros; también es un método directo para ver el comportamiento de los rellenos hidráulicos o la falta adecuada de estos para ver los vacíos o colapsos internos. (LANDEO y otros, 2015)

2.2.13. MECANICA DE ROCAS

(HOEK et al., 1995) Según el documento, la formalización de la mecánica de rocas como una disciplina en los programas de ingeniería comenzó en los años 60. Se reconoce como un campo interdisciplinario que tiene aplicaciones en geología, ingeniería de minas, petrología e ingeniería civil, y se relaciona con proyectos que involucran desarrollo de energía, transporte y defensa. La mecánica de rocas se enfoca en el estudio del comportamiento de las masas rocosas, especialmente las propiedades que son relevantes para la resistencia del material rocoso. Es importante diferenciar entre las propiedades obtenidas de una muestra de laboratorio y las obtenidas a través del estudio del macizo rocoso en su ubicación real.

2.2.13.1. CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Los sistemas de clasificación del macizo rocoso son utilizados para estimar las propiedades a gran escala del macizo rocoso. En la industria minera, el índice GSI y los sistemas RMR y Q se utilizan como parámetros para el diseño y modelado numérico. Estos sistemas intentan representar las propiedades de resistencia del macizo rocoso con un solo valor, a pesar de que el macizo rocoso es anisotrópico y puede ser representado por más de un sistema de clasificación. Desde los años 70, se ha utilizado cada vez más la calificación y clasificación geotécnica de macizos rocosos, que utiliza un índice de calidad geotécnica para calificar y clasificar el macizo rocoso según su calidad geotécnica. Estos sistemas de clasificación son parte integral del diseño empírico de una mina y se utilizan junto con herramientas analíticas y numéricas. La caracterización geomecánica de los macizos rocosos se ha vuelto cada vez más importante con el tiempo, ya que los valores obtenidos de estos sistemas se utilizan como parámetros de entrada en los modelos numéricos.

(BIENIAWSKI, 1989) en su libro “Engineering Rock Mass Classifications”, plantea los siguientes objetivos:

- El objetivo de la investigación es determinar los parámetros más relevantes que afectan el comportamiento del Macizo Rocos.
- El objetivo principal de este estudio es clasificar una formación específica del macizo rocoso en diferentes grupos basados en su comportamiento y calidad.
- El objetivo es establecer una base para comprender las características específicas de cada tipo de macizo rocoso.

- El objetivo de esta investigación es establecer la relación entre las condiciones de roca en un sitio específico, las condiciones y experiencias encontradas en otros lugares. Esto facilitará la planificación y el diseño de estructuras en la roca al proporcionar datos cuantitativos necesarios para resolver problemas de ingeniería.

El objetivo es establecer una forma efectiva de comunicación para todas las partes interesadas en un problema de geomecánica. Se lograría esto mediante la implementación de una clasificación:

“La investigación se centra en el estudio de la subsidencia y sus implicaciones en el proceso operativo de la mina a cielo abierto de Toromocho, operada por Minera Chinalco Perú”. El objetivo de la investigación es determinar los parámetros para detectar la subsidencia, la influencia de la perforación profunda en la detección de trabajos subterráneos y las acciones inmediatas a tomar en presencia de la subsidencia. El estudio utiliza datos históricos de 2019 y 2020 y aplica metodologías cuantitativas. Las implicaciones de la subsidencia en el proceso operativo incluyen deficiencias en la producción de camiones, disminución de la productividad y riesgos de seguridad. La investigación proporciona recomendaciones para un plan de contingencia para minimizar el tiempo de inactividad y garantizar el desarrollo adecuado de las actividades planificadas.

- La mejora de la calidad de las investigaciones de sitio implica la necesidad de contar con los parámetros de clasificación como datos de entrada mínimos.

- El objetivo de la investigación es obtener datos numéricos con fines de diseño.

- El objetivo es mejorar el proceso de toma de decisiones de ingeniería y promover una comunicación más efectiva en un proyecto.

En resumen, el objetivo de las clasificaciones geomecánicas es caracterizar un macizo rocoso específico mediante la asignación de valores a una serie de parámetros. A través de esta clasificación, se obtiene un índice que numéricamente describe la calidad de la roca para diversos fines, como la selección de soportes y sistemas de excavación. Si bien es una herramienta útil en el diseño y construcción de obras subterráneas, su aplicación debe realizarse con precaución y por personas con conocimiento y experiencia. Las clasificaciones geomecánicas no pretenden reemplazar los estudios analíticos, pero en muchos proyectos mineros han sido y siguen siendo el procedimiento de diseño utilizado. Estos sistemas de clasificación son útiles para determinar la extensión de los dominios geomecánicos en una mina. El ingeniero debe estimar el valor de clasificación más adecuado para los requisitos de diseño, teniendo en cuenta que cada sistema de clasificación tiene varias aplicaciones. A continuación, se describen los sistemas de clasificación más utilizados en el Perú.

2.2.13.1.1. ROCK MASS RATING (RMR)

El sistema Rock Mass Rating (RMR) (BIENIAWSKI, 1989), clasifica los macizos rocosos de 0 a 100 puntos, siendo 0 para roca muy mala y 100 para roca muy buena, de acuerdo a la tabla, las versiones más usadas son el RMR76 y el RMR89. Ambas incorporan la valoración de parámetros como:

- Resistencia de la Roca Intacta.
- RQD.
- Espaciamiento de discontinuidades.
- Condición de discontinuidades.
- Agua subterránea

Tabla 7. Clasificación RMR

RMR	Descripción	Tiempo Medio Sostén	Ángulo de Fricción interna
0 - 20	Muy pobre	10 min/0,05 min	< 30°
21 - 40	Pobre	5 h/ 15 min	30°-35°
41 - 60	Regular	1 sem. / 3 meses	35°-40°
61 - 80	Bueno	6 a 4 meses	40°-45°
81 - 100	Muy bueno	> 5 meses	45°

Fuente: Obtenido de (VASQUEZ, 1993)

2.2.13.2. RQD (ROCK QUALITY DESIGNATION)

Para la estimación del RQD, se deben cumplir las siguientes recomendaciones.

- El diámetro mínimo del núcleo debe ser de 50 mm. Si el núcleo se rompe durante el manejo o las operaciones de perforación (fracturas frescas), los fragmentos rotos deben ser colocados nuevamente en su posición original y contados como una sola pieza. Los materiales que son claramente más débiles que la roca circundante, como los rellenos pre consolidados, deben ser excluidos del conteo, incluso si tienen longitudes mayores a 10 cm. La longitud de cada fragmento de núcleo debe medirse a lo largo de su eje central, de esta manera, las discontinuidades que son paralelas a la perforación no afectarán los valores de RQD. Se sugiere que el RQD se determine para longitudes variables en lugar de fijas. De esta manera, se pueden determinar en capas individuales, en dominios estructurales, zonas de debilidad, etc., lo que indicaría cualquier variabilidad inherente en el subsuelo y proporcionaría una visión más precisa de la ubicación y el ancho de las zonas con valores de RQD bajos o nulos.

El RQD fue introducido hace más de 30 años como un índice de calidad de roca, cuando la información de la calidad de la roca estaba usualmente disponible solo a partir de las descripciones geológicas y del porcentaje de núcleos de recuperación (VASQUEZ, 1993)

El RQD es una modificación del porcentaje de núcleos de recuperación, el cual solo incorpora las piezas sanas de los núcleos que tiene una longitud igual o mayor a 100 mm (4 pulgadas)

Este índice cuantitativo ha sido ampliamente utilizado como un indicativo para identificar zonas de mala calidad de la roca, las mismas que necesitan un gran escrutinio y aburridos estudios adicionales en los trabajos de exploración. La ISRM sugiere utilizar una perforadora de diamante de doble barril con un diámetro igual o superior a NX (54.7 mm) para obtener los núcleos necesarios para calcular el RQD.

Tabla 8. *Tabla RQD*

RQD (%)	Calidad de Roca
< 25	Muy pobre
25 a 50	Pobre
50 a 75	Regular
75 a 90	Buena
90 a 100	Excelente

Nota: Obtenido de (VASQUEZ, 1993)

2.2.13.3. INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA (GSI – GEOLOGICAL STRENGTH INDEX).

(HOEK y otros, 1995) , el GSI es un nuevo índice de calidad para macizos rocosos y se basa en la identificación y clasificación en campo de dos características fundamentales: la macro

estructura y la condición de las superficies de las discontinuidades, es estimado a partir de inspecciones visuales del macizo rocoso expuesto en las superficies de excavación, tales como afloramientos, taludes y túneles, proporciona un sistema para estimar la reducción de la resistencia del macizo rocoso para diferentes condiciones geológicas mostradas. La resistencia de un macizo rocoso fracturado está determinada por las características de las rocas intactas y su capacidad para moverse o girar bajo distintas condiciones de tensión.

. El macizo rocoso compuesto por fragmentos angulares de roca con superficies de discontinuidades limpias y rugosas es más resistente que aquel que está formado por piezas redondeadas limitadas por material meteorizado y alterado. La capacidad de desplazamiento está limitada por la geometría de las piezas de roca sin alterar y las condiciones de las superficies que las separan.

Tabla 9. Tabla de Caracterización GSI

Características del Macizo rocoso para estimar la resistencia a través del GSI Basándose en la apariencia de la roca escoja la categoría de considere que proporcione la mejor descripción de las condiciones medidas insitu no perturbadas	Superficie	Muy Buena (1)	Buena (2)	Regular (3)	Malita(4)	Muy Mala (5)
ESTRUCTURA Disminución de la Calidad de Superficie						
Masiva o intacta Especialmente de roca intacta o roca masiva insitu con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas	Disminución del entrelazamiento de las Piezas de Roca	90				
		80				
Fractura de Bloques Macizo rocoso no perturbado y muy bien entrelazado, consistiendo en bloques cúbicos formados por tres familias ortogonales de discontinuidades			70			
			60			
Muy Fracturada de Bloques Macizo rocoso entrelazado, parcialmente perturbado con bloques angulares polifacéticos formados por cuatro o más familias de discontinuidades				50		
				40		
Fracturada en bloques perturbada/agrietada Plegada y/o fallada con bloques angulares, formada por intersección de algunas familias de discontinuidades. Estratificación o esquistosidad persistente					30	
Desintegrada Pobremente entrelazada, considerablemente fragmentada con una combinación				20		
Cizalla/Laminada Carece de bucosidad, el espaciado es próximo debido a los débiles planos de esquistosidad o de cizalla.					10	
					5	

Fuente: Obtenida de (VASQUEZ, 1993)

2.2.14. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

El texto forma parte de las tecnologías modernas y tiene como principal objetivo supervisar el comportamiento del suelo a lo largo del tiempo. Estos sistemas permiten obtener información y medir variables que influyen en el mecanismo de falla en áreas inestables del terreno.

La instrumentación es necesaria en situaciones comunes como las siguientes:

- La investigación se centra en la determinación de la profundidad y configuración de la superficie de falla en un deslizamiento en actividad.
- El objetivo de la investigación es identificar los desplazamientos horizontales y verticales en la masa deslizada.
- El estudio se enfoca en la determinación de la velocidad de deslizamiento y la implementación de sistemas de alerta.
- El monitoreo de la actividad de excavaciones o rellenos y la identificación de los impactos de una construcción específica.
- El estudio se enfoca en el monitoreo de los niveles de agua subterránea o presiones de poros y su relación con la actividad de la subsidencia.

2.2.14.1. CLASIFICACIÓN

Hay una amplia variedad de equipos y versiones disponibles, pero se pueden clasificar según las variables que miden. Por ejemplo, para medir la inclinación se pueden utilizar inclinómetros verticales y horizontales. Para medir la inclinación puntual, se pueden utilizar sensores electro nivel, clinómetros, clinómetros sin cables, sistemas de convergencias Bassett y clinómetros portátiles digitales.

- Dispositivos para medir el nivel de agua: Piezómetro de cuerda vibrante, Piezómetro de cuerda vibrante resistente, Piezómetro abierto, Piezómetros hidráulicos, Piezómetros neumáticos, Sondas indicadoras de nivel de agua.
- El texto se refiere a diferentes tipos de células de presión utilizadas, como las células de presión de cuerda vibrante, las células de presión total push-in y las células de esfuerzos en hormigón de cuerda vibrante.
- Se utilizan diferentes tipos de extensómetros para medir la deformación: extensómetros magnéticos, cintas extensométricas digitales, extensómetros de cuerda vibrante y extensómetros de varillas.
- Medidor de juntas internas de cuerda vibrante, medidor de grietas y fisuras de cuerda vibrante, medidor de juntas tridimensionales de cuerda vibrante, medidor de juntas mecánico triaxial, medidor de grietas y fisuras potenciométrico.
- Carga: Células de carga de cuerda vibrante.
- El texto se refiere a diferentes tipos de dispositivos utilizados para el control de asientos, como las células de asiento hidráulicas, las células de asiento de cuerda vibrante y las sondas de control de asiento.
- Deformaciones: Extensímetro de cuerda vibrante soldable por puntos, Extensímetro de cuerda vibrante por soldadura de arco, Extensímetro de hormigón en superficie, Extensímetro de cuerda vibrante embebido, Extensímetro re-bar.
- Temperatura: Sensor de temperatura resistivo, Sensor de temperatura de cuerda vibrante, Sensor de temperatura Termopar.

2.2.15. KPI (Key Performance Indicators).

La presente investigación considerará información relevante sobre los conceptos de Indicadores Clave de Desempeño (KPIs). Los KPI miden el nivel de rendimiento de un proceso, centrándose en el "cómo" e indicando qué tan buenos son los procesos. La gestión de KPIs se basa en la conceptualización corporativa de la distribución del tiempo. La base de esta distribución temporal es la definición de cada ratio de tiempo, asegurando que el benchmarking entre operaciones se realiza con los mismos parámetros base.

2.2.15.1. Indicadores clave de desempeño.

Para evaluar los indicadores clave de rendimiento en el transporte de mineral o desmonte, fue necesario analizar la información histórica de los controles operativos y la capacidad de la flota utilizada en las operaciones mineras. En el resumen de la operación de transporte, se identificaron los siguientes indicadores de rendimiento, los cuales son preocupantes debido a los altos niveles que reflejaban las actividades dentro de la operación minera. Estos indicadores de rendimiento muestran la realidad y las razones detrás de las deficiencias en el proceso operativo. Además, al considerar los defectos de ruta, se puede observar que la deficiencia se debe a la evaluación de estos indicadores de rendimiento. Por lo tanto, se están tomando medidas adecuadas para reducir el indicador que afectaba la operación minera

Los indicadores clave de desempeño son métricas financieras o no financieras, utilizadas para cuantificar objetivos que reflejan el rendimiento de una organización, y que generalmente se recogen en su plan estratégico. (CCANTO, 2014)

La medición de indicadores es esencial para mejorar, ya que lo que no se mide no se puede controlar y lo que no se controla no se puede gestionar. Estos indicadores se definen como instrumentos que permiten medir la consecución o evolución de los objetivos de la empresa,

centrándose en los aspectos clave del negocio o en otros aspectos relevantes según la actividad de la empresa. También se pueden considerar como datos que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso o actividad. Los indicadores clave de desempeño miden el rendimiento de un proceso y sirven como apoyo en la toma de decisiones cuando las variables se salen de los límites establecidos o se busca establecer nuevas metas. Estos indicadores determinan la necesidad de realizar cambios o mejoras en un proceso o forma de actuación, y también promueven el compromiso de obtener mejores resultados. Algunos ejemplos comunes de indicadores son la productividad de los empleados, la calidad de los productos y servicios, la rentabilidad del negocio, el cumplimiento de plazos, la eficacia de los procesos, los tiempos de desarrollo de trabajos, el uso de los recursos, el crecimiento, el control de costos, el nivel de innovación y el desempeño de la infraestructura tecnológica.

2.2.15.2. Uso de los KPI

Definir, sin embargo, un conjunto correcto de KPI en cada organización tiene sus complejidades, ya que el desafío real no es seleccionar sólo indicadores que ayuden a cumplir con las metas presupuestarias, sino también, y más importante aún, que estén en perfecta sintonía con las metas estratégicas de la empresa. (CCANTO, 2014). Las métricas más comunes permiten a las empresas evaluar si están gestionando eficientemente sus recursos y costos, lo que brinda a la dirección una comprensión clara de la situación en un momento determinado para tomar acciones correctivas de manera oportuna.

2.2.15.3. Sistema de KPI.

El sistema de Indicadores está compuesto por el Indicador, el nivel base, el valor actual, la meta y el uso de semáforos para evaluar el rendimiento del Indicador. Los objetivos y tareas que una organización se propone alcanzar deben expresarse de manera medible, para poder

evaluar su grado de cumplimiento o avance. Aquí es donde los indicadores son especialmente útiles. Los indicadores pueden ser positivos o negativos, veamos:

2.2.15.3.1. Indicadores Positivos

Son referidos en los que su aumento en su valor o tendencia, indican un avance hacia la situación deseada.

2.2.15.3.2. Indicadores Negativos

Referido a una disminución de su valor o tendencia, estos indican un avance en la situación deseada.

2.2.15.3.3. El Tiempo Controlable

Es el tiempo durante el cual se requieren equipos o personal para realizar las actividades de operación o mantenimiento. Es también conocido en otras faenas como tiempo requerido.

2.2.15.3.4. El Tiempo No Controlable

El tiempo en "Standby" se refiere a aquel en el que la maquinaria no es necesaria o no está en condiciones de funcionar debido a circunstancias fuera del control del proceso. Esto incluye turnos de trabajo, disputas laborales, días festivos, fallas en el servicio de terceros, desastres naturales y otros eventos imprevistos. También se considera en esta categoría el tiempo programado de inactividad de los equipos. Por otro lado, el tiempo de funcionamiento se refiere al tiempo en el que el proceso está generando un producto medible de manera efectiva, incluyendo las actividades necesarias para mantener el ciclo de producción. Estas actividades incluyen, por ejemplo, el avance de una pala en la excavación o el desplazamiento de una perforadora entre perforaciones, pero no incluyen el traslado de una pala o perforadora a un nuevo lugar de trabajo.

2.2.15.3.5. *Tiempo de Demora (Downtime)*

El tiempo en el que un artículo no cumple con su función de producción se conoce como tiempo de detención. Esto incluye tanto los retrasos operativos como los períodos de mantenimiento. El tiempo de detención puede ser planificado o no planificado, debido a problemas de mantenimiento, operaciones o disponibilidad de recursos. El inicio del tiempo de detención se registra cuando el artículo ya no puede cumplir con su función requerida, ya sea por una falla, mantenimiento programado o actividades operativas. Si hay una falla, el tiempo de detención comienza en el momento en que se detecta la falla y también incluye el tiempo adicional necesario para volver a la programación de trabajo. El operador del equipo registra el inicio del tiempo de detención y, una vez que se completa el mantenimiento, el equipo se considera "Disponible" y la producción verifica que las reparaciones se hayan realizado satisfactoriamente. Si las reparaciones no se completan de manera satisfactoria, se registra una nueva falla y se inicia un nuevo período de tiempo de detención.

2.2.15.3.6. *Tiempo Disponible*

Es el lapso de tiempo mediante el cual un ítem está apto de realizar su función requerida y requiere operar dicha función. Es el tiempo que tiene el área operativa de la mina para realizar su gestión.

$$= (\text{Tiempo Programado} - (\text{Tiempo No Controlable} + \text{Demoras de mantenimiento}))$$

$$= (\text{Horas Efectivas} + \text{Demoras Operativas})$$

2.2.15.3.7. % Disponibilidad.

El objetivo es medir el tiempo de demoras de los equipos necesarios para el mantenimiento. Se trata de determinar el porcentaje de tiempo en el que el área de mantenimiento ha puesto a disposición el equipo para las operaciones y que se puede controlar.

$$(\text{Tiempo Controlable} - \text{Demoras de Mantto.}) = \text{Tiempo Disponible}$$

2.2.15.4. % de Utilización.

La utilización es aquella que mide la gestión de operaciones de una mina, indica el porcentaje de eficiencia que gestiona el equipo.

2.2.15.5. MTBF.

Llamado tiempo medio entre fallas, que es la medida promedio para flotas de Equipos. Este tiempo indica la frecuencia de ocurrencia de las fallas.

2.2.15.6. MTTR.

El tiempo medio de reparación es una medida que indica el tiempo promedio necesario para reparar una falla en un equipo. Este valor representa la demora promedio en el mantenimiento para solucionar el problema.

2.3.HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

- “Las subsidencias que se genera en el tajo Toromocho produjo disminución de los indicadores de gestión (Kpi’s) del proceso operativo”.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- La identificación de parámetros geotécnicos permitió mejorar la predicción de ocurrencia de subsidencias.

- Una gestión adecuada de perforaciones profundas permitió saber las dimensiones y localización de las labores subterráneas.
- La implementación de medidas correctivas permitió reducir riesgos ante la presencia eventual de subsidencias en el tajo Toromocho.

2.4.VARIABLES E INDICADORES

2.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

X: Subsidencias

2.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Y: Indicadores de Gestión del Proceso Operativo

2.5.OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 10. Operacionalización de las Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE		
Subsidencias	Informes	<ul style="list-style-type: none"> • Historial de ocurrencia de labores subterráneas. • Parámetros y procedimientos geotécnicos de las subsidencias
DEPENDIENTE		
Indicadores de gestión (KPI's) del proceso operativo	KPI's	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos Muertos (Hr) • Número de equipos paralizados • Reducción de la producción (Ton) • Demoras Operativas

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es del tipo básica y cuantitativa, ya que la investigación a realizar utiliza datos cuantitativos para el análisis de las subsidencias encontradas durante las operaciones del ciclo del minado. Según (ÑAUPAS PAITAN y otros, 2018) es del tipo básica ya que el propósito de esta investigación no es resolver problemas inmediatos, sino más bien proporcionar una base teórica para investigaciones de otros tipos.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a los niveles del alcance se puede determinar que la investigación es:

- Descriptivo
- Explicativo
- Correlacional

La investigación es descriptiva, porque el desarrollo de la investigación describe con precisión la ocurrencia de subsidencias y sus características técnicas, se puede explicar por qué mediante la presente investigación se puede analizar el déficit de la gestión de planes de contingencia ante la ocurrencia de éstas labores subterráneas, según (HERNANDEZ SAMPIERI & MENDOZA TORRES, 2018) el nivel de investigación es de alcance correlacional ya que tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular.

3.3.POBLACIÓN

La población total será las subsidencias encontradas en el tajo Toromocho durante los años 2019 y 2020.

3.4.MUESTRA

La muestra será del total de subsidencias encontradas en el año 2019-2020, que responde a 16 ocurrencias, ubicados en el tajo Toromocho.

3.5.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. TÉCNICAS DE RECOLECCION DE DATOS

Las principales técnicas que se utilizó son:

- Técnicas documentarias
- Observación directa

3.5.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Ficha documentaria del Reporte de Subsidencias
- Fotografías y videos de reporte

3.6.PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

La información recolectada fue evaluada y analizada con el objetivo de identificar los parámetros en la operación para lo cual se hará uso de:

- Microsoft Excel.
- AutoCAD Civil 3D.
- Microsoft Office
- Software Bi-blast
- Software Minitab

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LAS SUBSIDENCIAS EN EL PERIODO 2019 – 2020

4.1.MONITOREO DE SUBSIDENCIAS EN EL TAJO TOROMOCHO

El área de geotecnia es la encargada de brindar soporte técnico a la operación con respecto a los controles en el manejo de Subsidiencias en la operación por ello el monitoreo geotécnico enfocado a evidenciar potenciales zonas de riesgo son parte importante del control que lleva el área. En este documento se brinda información sobre el manejo de subsidencia dentro de la operación. Actualmente tenemos una gran cantidad de labores subterráneas registradas y se vienen trabajando en la digitalización e interpretación de planos con la finalidad de ubicar de manera precisa las subsidencias y/o vacíos. A efectos de la seguridad del personal, equipos y en aras de una práctica eficiente para el control de vacíos, todos los trabajos deben definirse con precisión. Dentro del área de Geotecnia se ha designado personal dedicado al manejo y control de vacíos, con el fin de ejecutar las actuales medidas de mitigación e implementar nuevas prácticas de identificación de subsidencias.

4.1.1. Labores Monitoreadas para la investigación

Para la investigación se utiliza el monitoreo de 16 subsidencias encontradas en las perforaciones profundas en distintos bancos del Tajo Toromocho.

Tabla 11. *Subsidencias de Análisis*

NIVEL DE BANCO	4860	4620	4545	4575	4845	4530	4590	4665	4470	4485	4680	4560	4590	4815	4605	4725
Mes	ene	feb	abr	jun	jun	jun	oct	mar	Jun	Jun	may	jun	jul	ago	set	mar
Año	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2019	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020

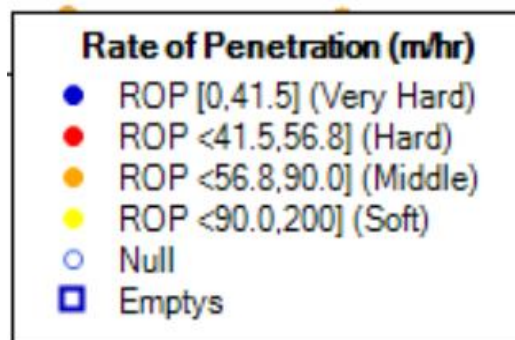
Nota: Elaboración propia

4.1.2. Detección de Subsidencias mediante perforaciones profundas

4.1.2.1. Perforaciones a alta velocidad con perforadoras PIT Viper 351

La velocidad de penetración (ROP), es el parámetro de la perforación que nos indica el avance de la perforación en m/h, en rocas con mayor resistencia la ROP es menor que en rocas de menor resistencias. Durante la operación de las perforadoras PIT VIPER 351, la ROP se va registrando en base de datos (TERRAIN) por cada 10 cm de avance en el taladro, teniendo información en todo el recorrido del taladro para su futuro análisis.

Figura 4. *Velocidades de Perforación*

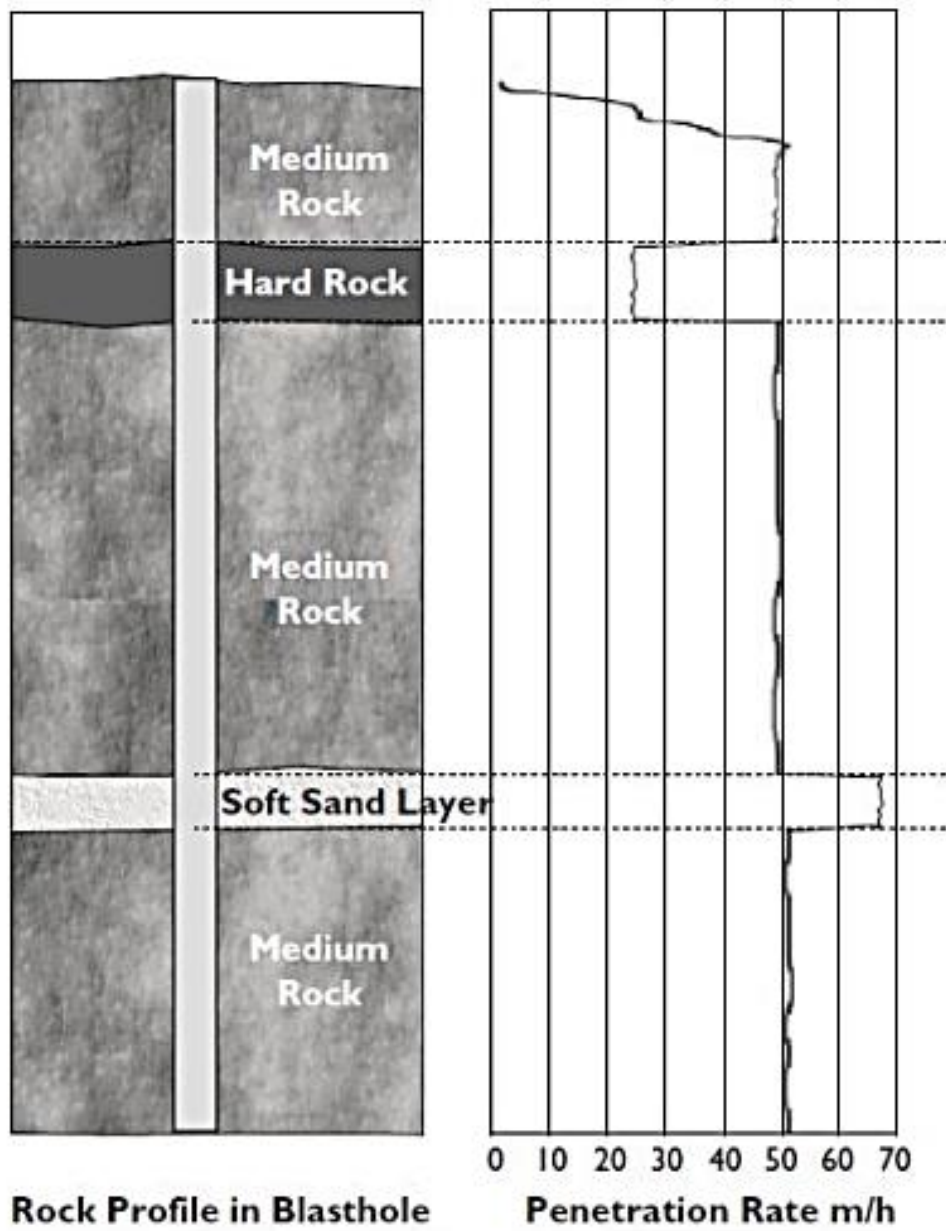


Fuente: Catálogo Pit Viper 351

4.1.2.2. Comportamiento de ROP en el taladro

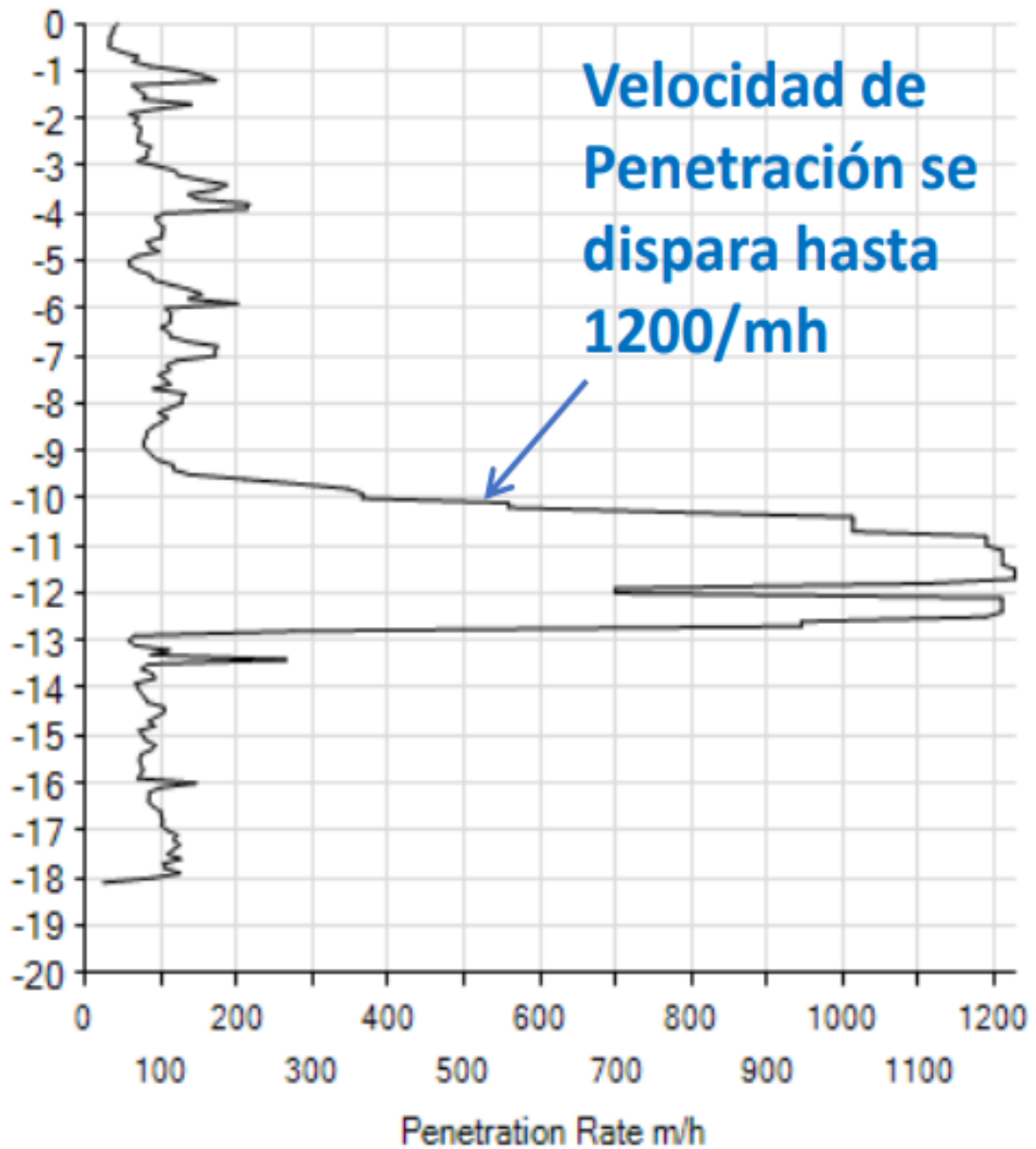
Al tener los registros de ROP podemos analizar este parámetro en todo el recorrido del taladro y correlacionarlo con la resistencia de la roca.

Figura 5. Comportamiento del ROP en el taladro



Fuente: Reportes del área de Geotecnia de Minera Chinalco Perú

Gráfico 1. *Ratio de Perforación en Terreno Suave*

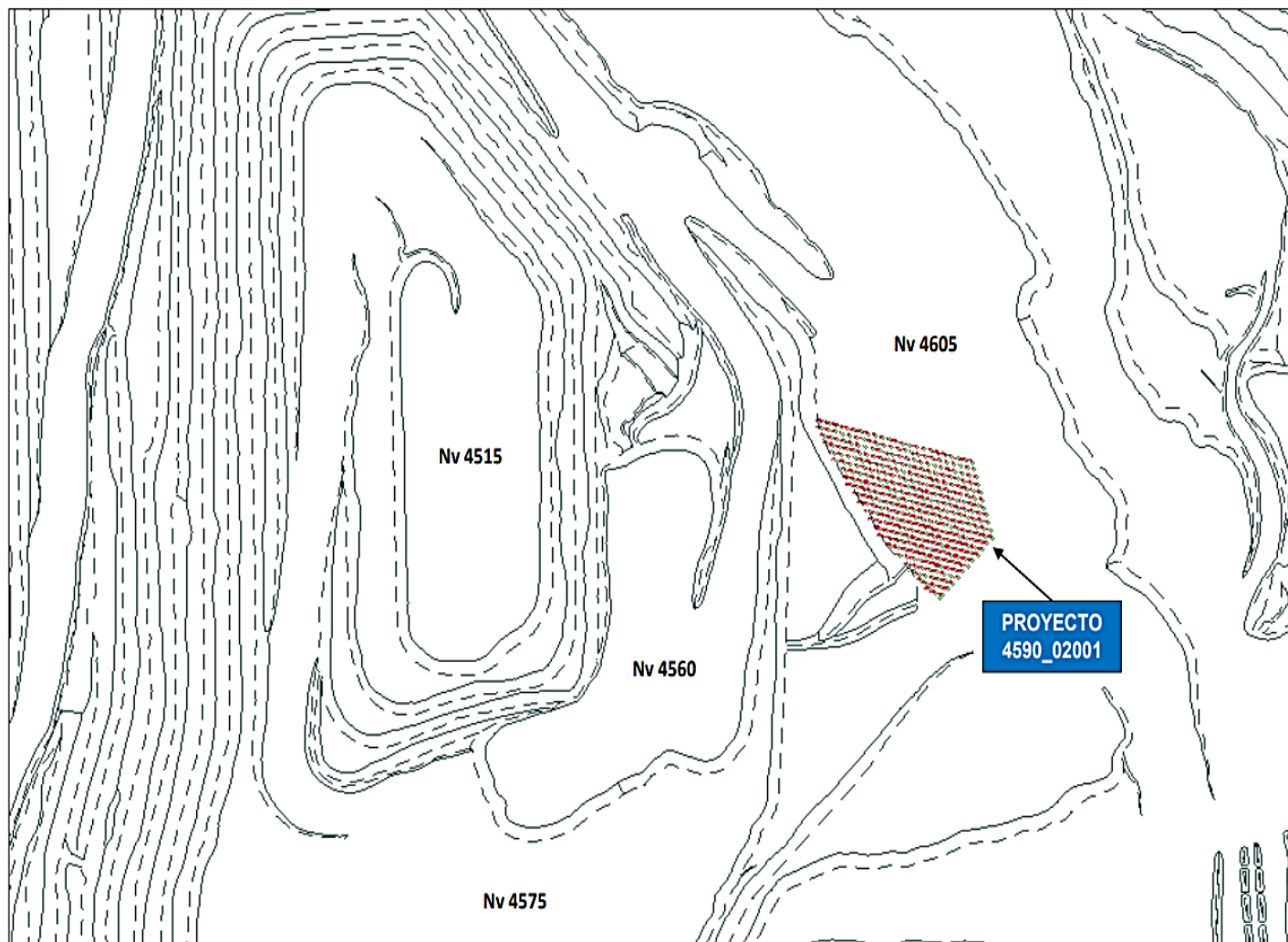


Nota: La perforación del gráfico se realizó en roca suelta

4.1.3. Campaña de perforación en el Nv 4590

Esta campaña de perforación se pone de ejemplo en la investigación por la particularidad de la presencia de subsidencias y vacíos.

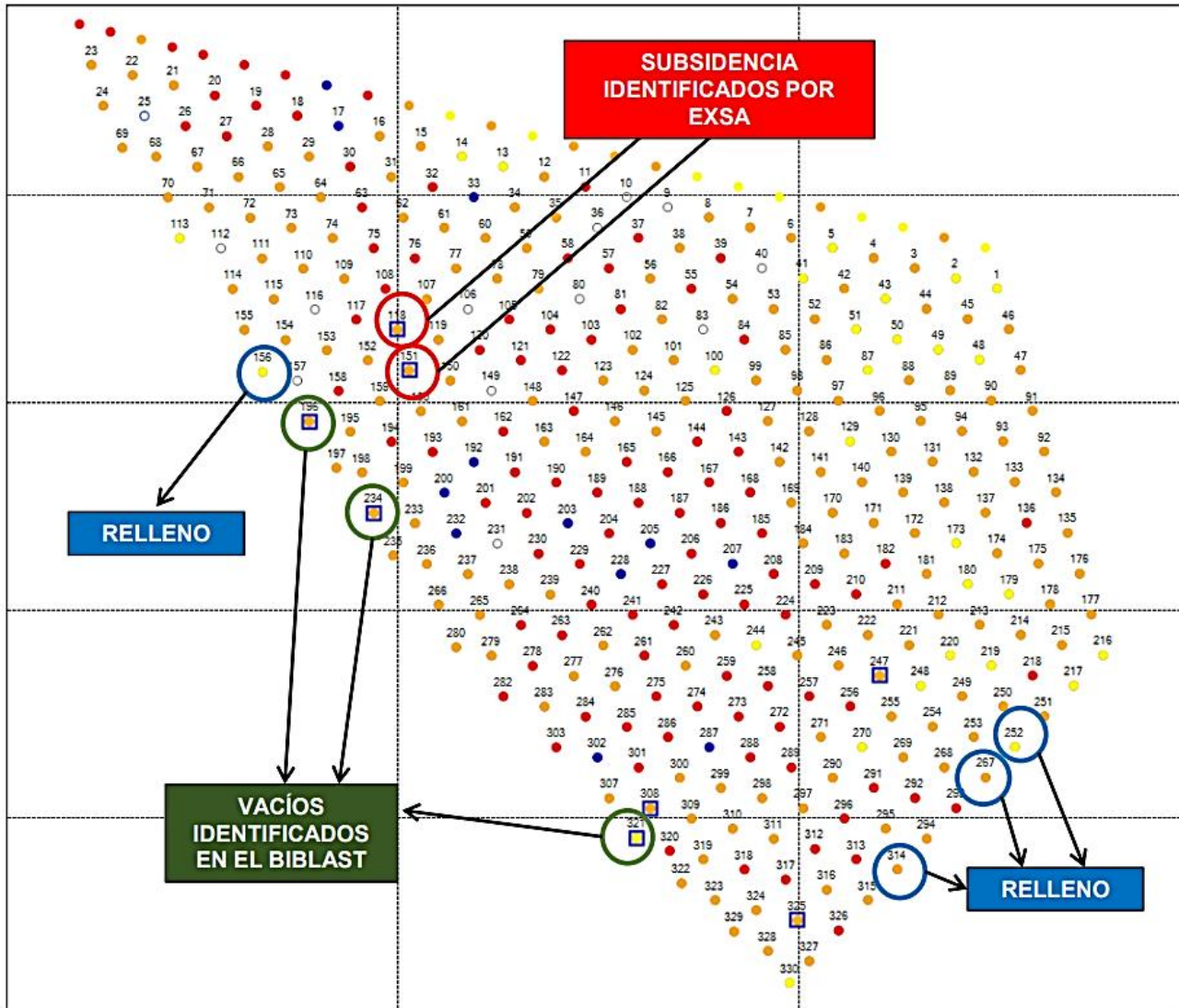
Figura 6. Campaña de Perforación en la Zona Este del Tajo



Fuente: Área de Geotecnia de Minera Chinalco Perú

Es así, que, en dicha campaña con la presencia de una malla de perforación con 330 taladros, destinados como taladros de producción, se logró identificar subsidencias no previstas, retardando el proceso normal de las operaciones.

Figura 7. Identificación de Vacíos en Malla



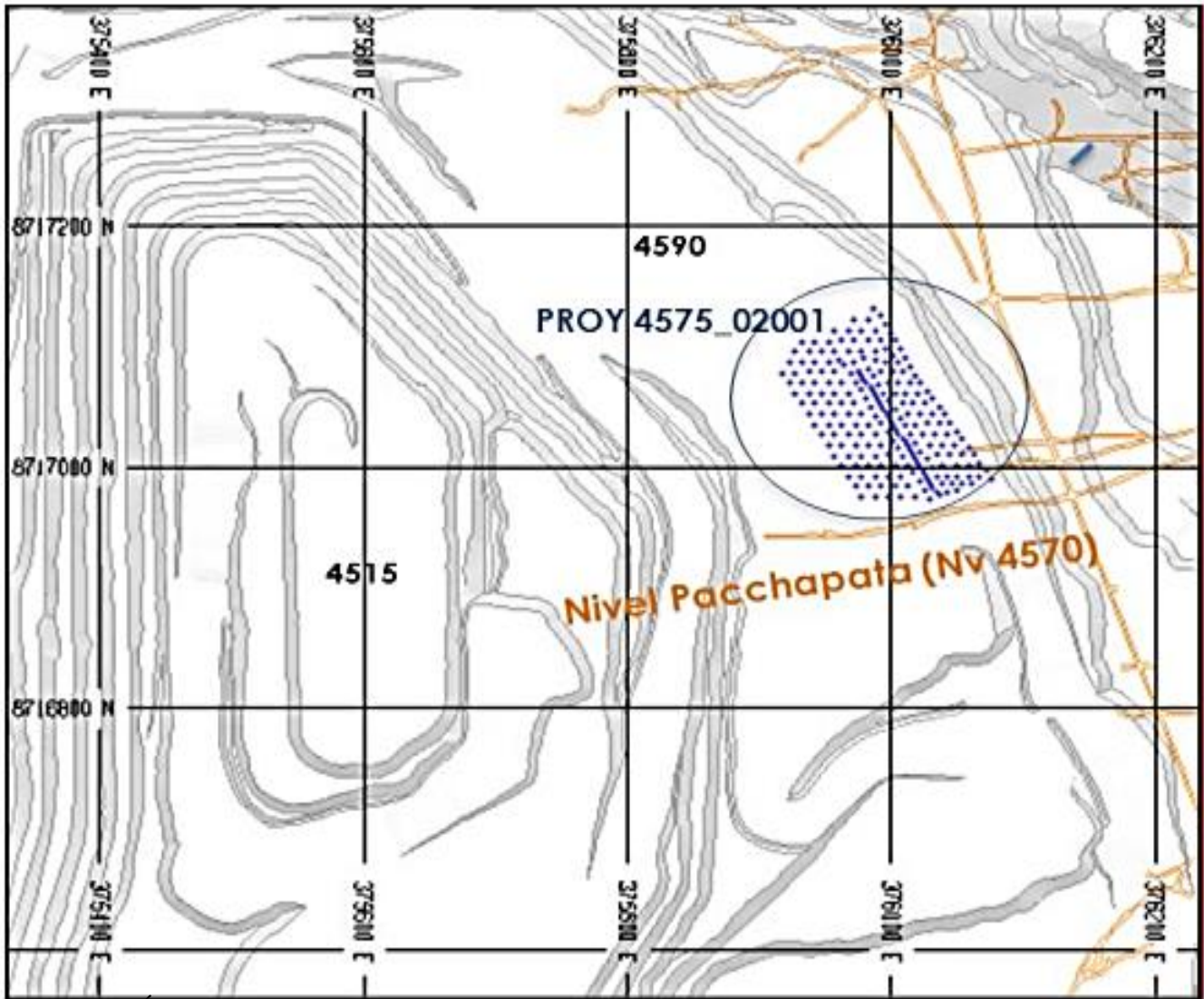
Fuente: Imagen del Software Biblast

De la imagen, se deduce que la Empresa Exsa, en sus labores diarias de carguío de taladros, detectó vacíos nos previstos, y algunos de ellos con muestra de detritus de relleno hidráulico.

4.1.4. Control y Prospección de Vacíos detectados

Posterior a la detección de subsidencias, el procedimiento sugiere la exploración de dicha cavidad mediante el uso de cámaras, esto para dimensionar la labor subterránea y tomar las medidas correctivas. En el caso de la labor encontrada, se identificó como la labor Pacchapata; en la campaña de perforación del nivel 4590, se identificó que la labor está a 17m de profundidad.

Figura 8. Zonación de la labor subterránea Pacchapata



Fuente: Área de geotecnia, informe de reparto de guardia.

Figura 9. *Imagen de la exploración con cámara de pozos*



Fuente: Área de Geotecnia de Minera Chinalco Perú

4.1.5. Método de la gestión de vacíos para dimensionar las labores subterráneas identificadas.

En la medida que avanza el desarrollo del tajo en profundidad es importante evaluar la estabilidad y potencial de subsidencia en rampas o desarrollos de fases por sobre labores subterráneas. Basado en la caracterización de las unidades geotécnicas presentes en el yacimiento, se ha evaluado el espesor mínimo requerido para asegurar la estabilidad del Pilar Puente o Pilar Corona sobre labores subterráneas, utilizando el método empírico de Ancho Escalado. Este método, propuesto inicialmente por Carter & Miller, ha sido actualizado en numerosas ocasiones en base a nueva evidencia, siendo ampliamente reconocido en la industria. El método compara el ancho escalado crítico (S_c), dado por la calidad de la roca, con el ancho escalado de la labor subterránea (C_s), el cual está asociado a su geometría y espesor del Pilar Corona. La razón entre el ancho crítico S_c y el ancho escalado C_s , puede considerarse como un

factor de seguridad, el cual, dependiendo del riesgo aceptable de la obra, puede variar desde 1 a mayor a 2.

El ancho escalado crítico C_s es función de la calidad de la roca, y dado un nivel de riesgo aceptable, se puede obtener el ancho máximo escalado C_s .

Tabla 12. Guía para evaluar el ancho máximo escalado

Class	Probability of Failure %	Minimum Factor of Safety	Maximum Scaled Span, $C_s (= S_c)$	ESR (Barton et al. 1974)	Design Guidelines for Pillar Acceptability/Serviceable Life of Crown Pillar				
					Expectancy	Years	Public Access	Regulatory position on closure	Operating Surveillance Required
A	50 – 100	<1	$11.31Q^{0.44}$	>5	Effectively zero	< 0.5	Forbidden	Totally unacceptable	Ineffective
B	20 – 50	1.0	$3.58Q^{0.44}$	3	Very, very short-term (temporary mining purposes only ; unacceptable risk of failure for temporary civil tunnel portals)	1.0	Forcibly Prevented	Not acceptable	Continuous sophisticated monitoring
C	10 – 20	1.2	$2.74Q^{0.44}$	1.6	Very short-term (quasi-temporary stope crowns ; undesirable risk of failure for temporary civil works)	2 – 5	Actively prevented	High level of concern	Continuous monitoring with instruments
D	5 – 10	1.5	$2.33Q^{0.44}$	1.4	Short-term (semi-temporary crowns, e.g. under non-sensitive mine infrastructure)	5 – 10	Prevented	Moderate level of concern	Continuous simple monitoring
E	1.5 – 5	1.8	$1.84Q^{0.44}$	1.3	Medium-term (semi-permanent crowns, possibly under structures)	15–20	Discouraged	Low to moderate level of concern	Conscious superficial monitoring
F	0.5 – 1.5	2	$1.12Q^{0.44}$	1	Long-term (quasi-permanent crowns, civil portals, near-surface sewer tunnels)	50–100	Allowed	Of limited concern	Incidental superficial monitoring
G	<0.5	>>2	$0.69 Q^{0.44}$	0.8	Very long-term (permanent crowns over civil tunnels)	>100	Free	Of no concern	None required

Fuente: Área de Geotecnia de Minera Chinalco Perú

Por otro lado, el Ancho Escalado C_s de una labor subterránea, estará dado por la siguiente expresión (Carter, 2014):

$$C_s = S \left(\frac{\gamma}{T(1 + S_R)(1 - 0.4 \sin \theta)} \right)^{0.5}$$

Donde:

- S = Crown pillar span (m);

- γ = specific gravity (which is dimensionless but has the same numerical value as rock mass unit weight, tonnes/m³).
- T = thickness of Crown pillar (m)
- θ = orebody/foiliation dip,
- Sr = span ratio = S/L (Crown pillar span/Crown pillar strike length)

Al analizar el Ancho Escalado C_s con Ancho escalado máximo C_s (o ancho crítico S_c), se puede evaluar bajo qué combinaciones de los distintos parámetros geométricos que definen C_s , una excavación sería o no estable.

Considerando el nivel de riesgo en la estabilidad de los pilares corona sobre labores subterráneas, se evaluarán para efectos del presente estudio dos casos de análisis:

- Excavaciones subterráneas ubicadas bajo las rampas de acceso: Se evaluará el Ancho Escalado máximo C_s dado por la Clase D (Carter et al. 2008), lo que equivale a un factor de seguridad de 1.5 y una probabilidad de falla entre 5 y 10%
- Excavaciones subterráneas ubicadas bajo el piso de la fase: Se evaluará el Ancho Escalado máximo C_s dado por la Clase C. Esto equivaldría a un factor de seguridad de 1.3 y una probabilidad de falla entre 10 y 20%.

Luego, el espesor mínimo del Pilar Corona (T_{\min}) puede ser estimado a partir de la equivalencia entre C_s y C_s máximo ($=S_c$), tal que cumpla el criterio de aceptabilidad considerado.

Para cada UGEOM, se evalúa el T_{\min} considerando dos escenarios en la calidad del macizo:

- Macizo con un valor de Q promedio
- Macizo con un valor de Q pesimistas, esto es; promedio menos 0.5 desviaciones estándar

Nótese que la caracterización de UGEO (Golder, 2016) entrega valores estadísticos del valor de RMR'76, por lo que ha sido necesario estimar valores de Q en base a la correlación propuesta por (BIENIAWSKI, 1989).

$$Q = e^{\frac{RMR-44}{9}}$$

El espesor del Pilar Corona es más sensible al ancho de la labor subterránea (S) que al largo de la labor (L) o a su inclinación (θ), por lo que se analizará para cada UGEO, el rango de T_min resultaría de variar L entre 20 y 200 m ; θ entre 70 y 90° (rangos esperados de ambos parámetros), para tres anchos distintos:

- S = 3 m
- S = 5 m
- S = 10 m

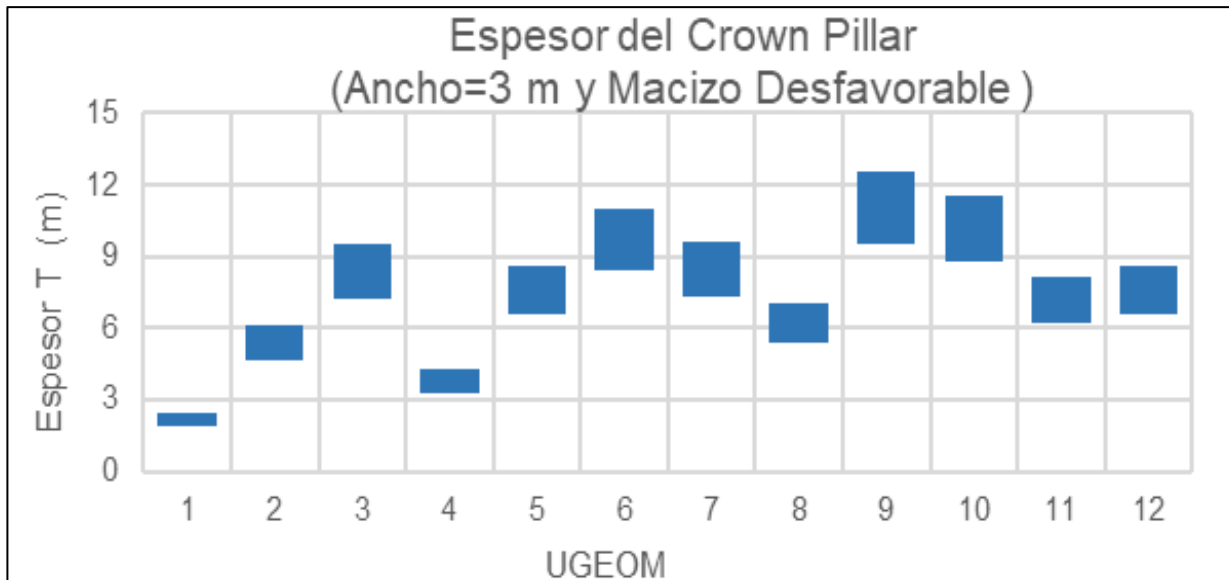
En resumen, se obtienen 6 casos de análisis (dos escenarios de propiedades y tres valores de ancho de la excavación).

4.1.6. EVALUACIÓN ESPESOR MÍNIMO PILAR CORONA CRITICO.

4.1.6.1. RESULTADOS ANCHO DE EXCAVACION DE 3 METROS.

En el caso de excavaciones bajo las rampas, se obtienen espesores de hasta 12 metros para las unidades de menor resistencia.

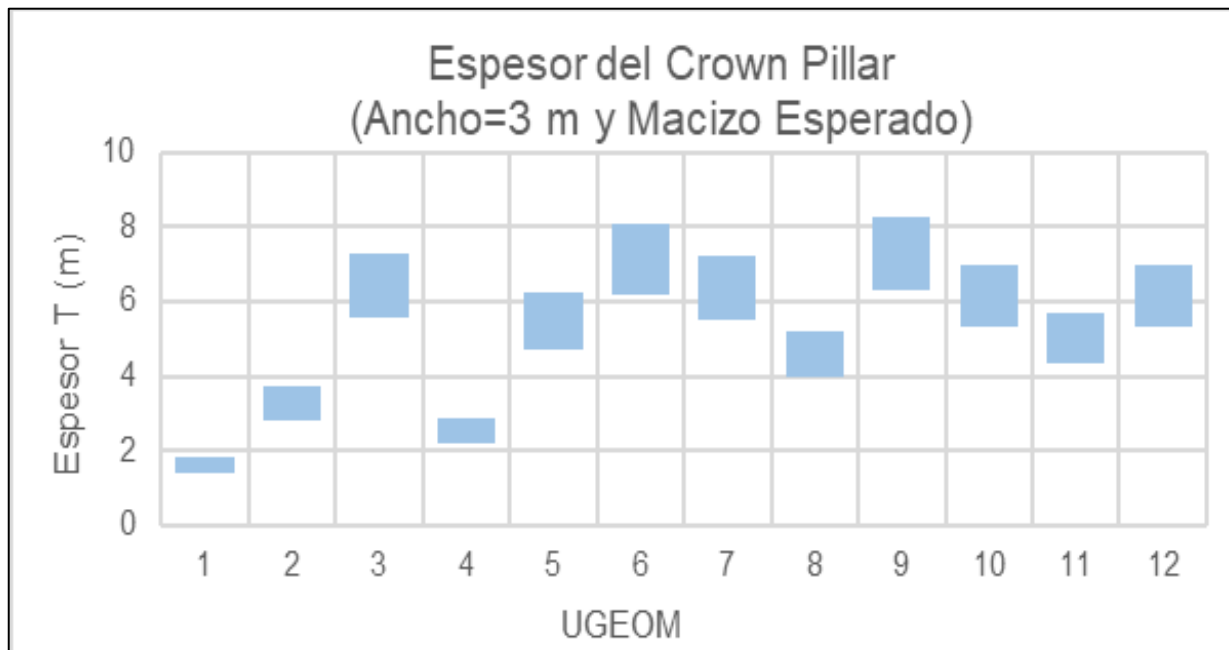
Gráfico 2. *Espesor de Crown Pilar con 3m bajo las rampas*



Nota: Las barras en los gráficos muestran la variación en el espesor mínimo del pilar corona para las condiciones consideradas. ($F_s=1.5$)

En el caso de excavaciones bajo el piso, los espesores mínimos alcanzan los 9 metros.

Gráfico 3. *Espesor del crown Pilar con ancho de 3m bajo el piso*



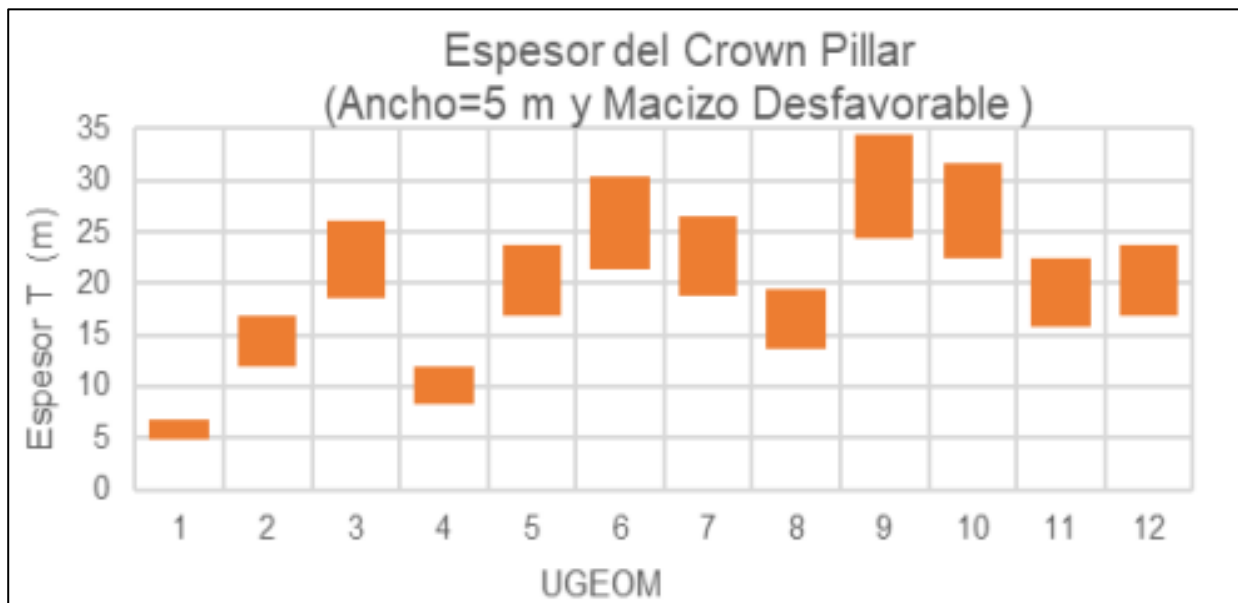
Fuente: Elaboración propia

La más favorable es el caso con largo 20 m y paredes verticales, mientras que el límite superior representa la condición más desfavorable, con un largo de 200 m y paredes con inclinación de 70°.

4.1.6.2. RESULTADOS EN ANCHOS DE EXCAVACION DE 5 METROS.

En el caso de excavaciones bajo las rampas, se obtienen espesores de hasta 35 metros para las unidades de menor resistencia.

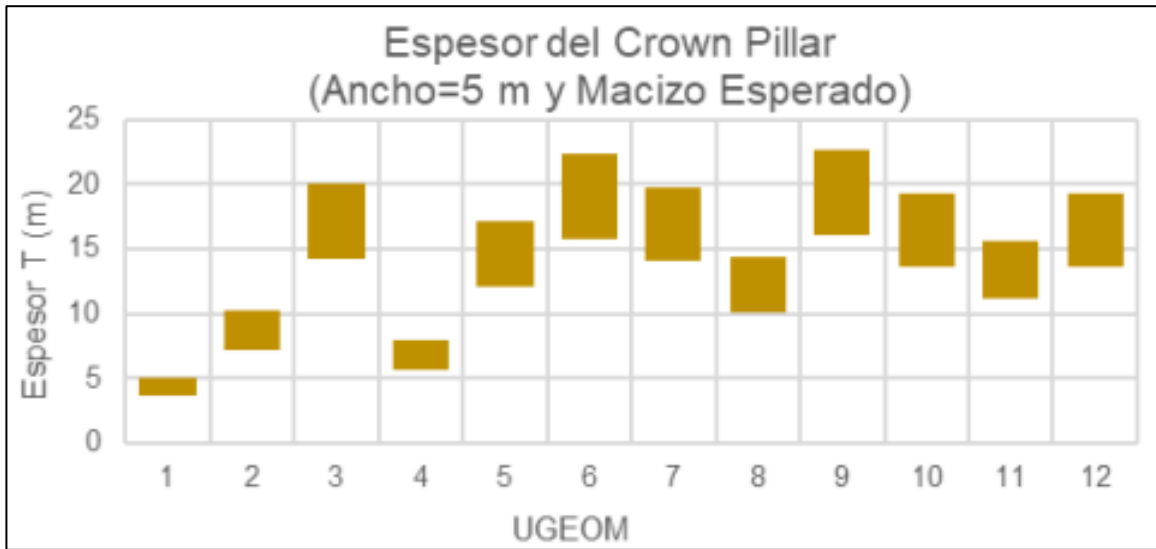
Gráfico 4. *Espesor de Crown Pilar con 5m bajo las rampas*



Fuente: Elaboración propia

En el caso de excavaciones bajo el piso, los espesores mínimos alcanzan los 25 metros.

Gráfico 5. *Espesor del Crown Pillar con 5m bajo piso*

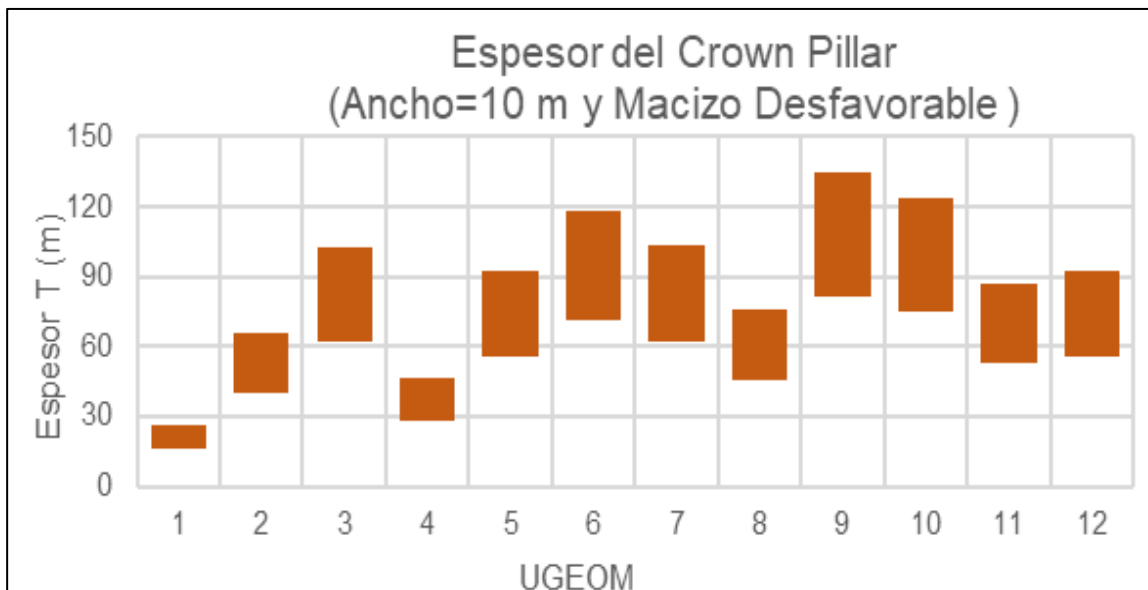


Fuente: Elaboración Propia

4.1.6.3. RESULTADOS EN ANCHOS DE EXCAVACION DE 10 METROS.

En el caso de excavaciones bajo las rampas, se obtienen espesores de hasta 130 metros para las unidades de menor resistencia.

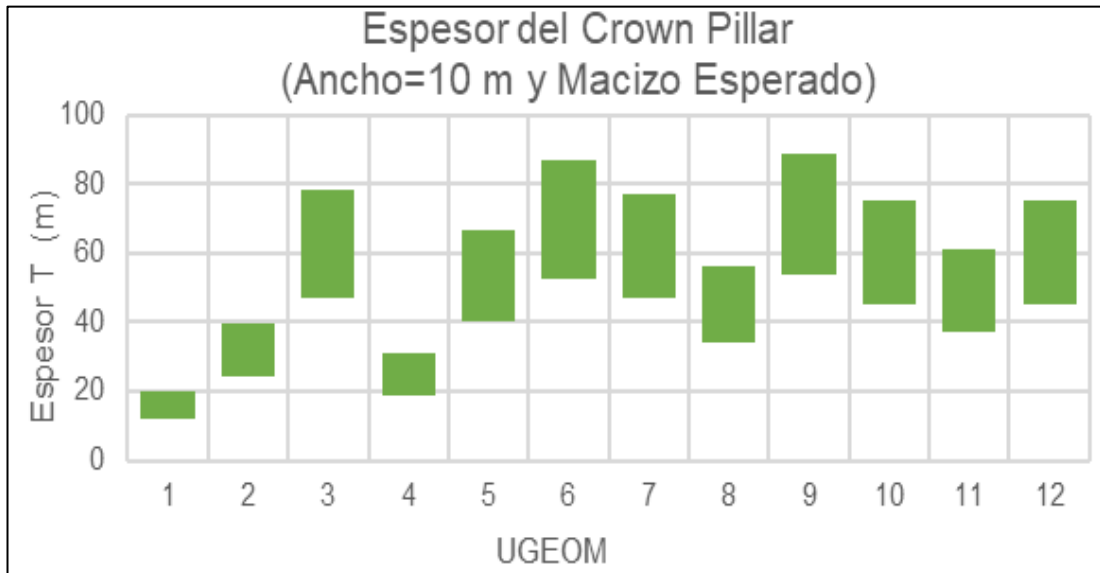
Gráfico 6. *Espesor Crown Pillar con 10m bajo rampa*



Fuente: Elaboración propia

En el caso de excavaciones bajo el piso, los espesores mínimos alcanzan los 100 metros.

Gráfico 7. *Espesor Crown Pillar con 10m bajo suelo*



Fuente: Elaboración propia

La más favorable en este caso es con largo 20 m y paredes verticales, mientras que el límite superior representa la condición más desfavorable, con un largo de 200 m y paredes con inclinación de 70.

4.1.7. EVALUACIÓN ESPESOR PILAR CORONA CRITICO.

Se observa de las gráficas de las láminas anteriores, que el espesor mínimo del Pilar Corona para evitar la subsidencia en el desarrollo de fases del tajo, puede variar significativamente dadas las condiciones geotécnicas del macizo (calidad de las UGEOM o condición del macizo considerada) y las características geométricas de las labores subterráneas (ancho, largo e inclinación).

Se torna especialmente importante entonces, evaluar en función de la profundización del tajo, qué labores subterráneas podrían afectar rampas o desarrollos de fases, las dimensiones de

la labor subterránea y la calidad del macizo en que quedaría el Pilar Corona (asociado a la UGEO), para poder evaluar en forma eficiente los planes de acción para el control de subsidencias y así asegurar la integridad de personas, equipos y de la operación.

4.1.8. IDENTIFICACIÓN LABORES CRÍTICAS.

Si bien los resultados de la revisión en la georreferenciación de las labores subterráneas, indica que la calidad de esta no permite por ahora hacer una evaluación confiable en base a los archivos disponibles, se han identificado en forma preliminar, un total de 32 labores subterráneas que podrían afectar la estabilidad de rampas o desarrollos de fases durante el quinquenio (5YP) y topografía actual, dada su proximidad o intersección con este.

En base a su ubicación relativa con respecto a las paredes de cada uno de las topografías analizadas, se han definido 2 categorías:

- Desarrollo del tajo a una distancia mayor a 100 m de las labores subterráneas, sin riesgo de subsidencia
- Desarrollo del tajo próximo a alcanzar labores subterráneas, por lo tanto, existe riesgo potencial de subsidencia (menos de 100 m)
- Labores subterráneas estarían ya expuestas en las paredes del tajo (interceptadas)

Tabla 13. Labores identificadas mediante Crown Pillar

ID	Año Excavación	Nombre Excavación	Año Plan de Minado					
			2018	2019	2020	2021	2022	2023
1	1936	1. 140 SPLIT OF NAT. VEIN II.dxf						
2	1959	12. GERTRUDIS 423 VEIN.dxf						
3	1936	16. CENTRAL 136 PIPE & VEIN.dxf						
4	1959	19. 1. LA PAZ 146 VEIN - UPPER LEVELS.dxf						
5	1947	19. SAN FRANCISCO 183 VEIN& ORE BODY.dxf						
6	1936	2. 164 SPLIT OF SAN FRANCISCO VEIN 6.dxf						
7	1994	20. VETA MARIA ELENA.dxf						
8	1936	23. FLORENCIA 180 VEIN.dxf						
9	1994	25. VETA MARY.dxf						
10	1994	30. VETA NITIVIDAD 2.dxf						
11	1959	34. NATIVIDAD 169 VEIN.dxf						

Nota: Elaboración Propia

Tabla 14. Colores de Identificación de Labores

	Labores subterráneas no afectarían zonas de trabajo (ya excavadas o muy profundas aún)
	Desarrollo del tajo próximo a alcanzar labores subterráneas (riesgo de subsidencia)
	Labores subterráneas deberían ya estar expuestas en las paredes del tajo

Nota: Elaboración Propia

Se han identificado 11 labores que serán intersecadas por el desarrollo del tajo en los próximos cinco años. Estas excavaciones han sido clasificadas en tres categorías según su distancia y/o intercepción con el tajo.

El nivel de riesgo que estas excavaciones presentan para la seguridad del personal que labora al interior del tajo, así como para la continuidad operacional, dependerá de una combinación de factores que incluye las dimensiones de la excavación, su ubicación con respecto

al tajo, la presencia de relleno en la excavación y las características geotécnicas del macizo rocoso.

Se considera que presentan un alto nivel de criticidad aquellas excavaciones que intersecan o pueden generar subsidencia en las rampas de acceso, así como aquellas que pueden generar inestabilidad por sobre las rampas.

4.2.INVESTIGACIÓN MEDIANTE LA DIGITALIZACIÓN DE LABORES QC

La calidad de la digitalización e interpretación de las labores subterráneas, será evaluada cualitativamente mediante 6 ítems, divididos en 2 aspectos

- Escalamiento y georreferenciación
 1. Revisión del escalamiento del modelo,
 2. Revisión de la elevación del modelo, y
 3. Revisión de la georreferenciación del modelo.
- Interpretación gráfica de planos
 4. Consistencia en planta: Representación en cada nivel de galerías, intersecciones y estocadas,
 5. Consistencia en corte: Representación de galerías, cavidades y piques, y
 6. Consistencia Modelo 3D: Consistencia de la interpretación y generación del modelo.

Cada uno de estos ítems será evaluado según 5 clases, en función de la consistencia y esfuerzos necesarios (en caso se requiera) para alcanzar un estándar mínimo que permita ser utilizado en los análisis correspondientes.

- Muy Bueno (VG): No existen comentarios o reparos al ítem evaluado. Se considera validado para ser utilizado en análisis.
- Bueno (G): Se considera suficiente para el nivel de estudio, sin embargo, existen pequeñas oportunidades de mejora identificadas, que no afectarían mayormente los resultados de los análisis que se hagan y no requieren de esfuerzos adicionales.
- Regular (F): Se identifican posibles inconsistencias que pueden resultar en análisis no representativos o poco realistas de las condiciones existentes en terreno. Estas inconsistencias se consideran salvables con un esfuerzo menor, pero necesario.
- Pobre (P): Las inconsistencias identificadas resultarán en análisis no representativos de las condiciones existentes en terreno. Se considera necesario reinterpretar el ítem correspondiente con los esfuerzos necesarios para ello.
- Muy Pobre (VP): No existe concordancia entre la fuente original de información y el modelo revisado. Necesariamente, se deberán considerar esfuerzos para la interpretación del ítem correspondiente.

Se considera que los esfuerzos deberán estar enfocados a validar las labores que se consideren críticas para la estabilidad de las paredes del tajo, durante su crecimiento. Sin embargo, para esto, se debe asumir a priori que la georreferenciación de los modelos es correcta. Por lo que se proponen 2 etapas de revisión:

- Primera etapa: consistirá en validar sólo el escalamiento y georreferenciación de los modelos (ítems 1 al 3 descritos anteriormente), mediante la revisión de 10 modelos (5% de los 191 modelos), escogidos aleatoriamente.
- Segunda etapa: consistirá evaluar los 6 ítems descritos anteriormente, en el 5% de los modelos de labores consideradas como críticas para la estabilidad de las paredes del tajo. Para esto, se identificarán, primeramente, las labores que intercepten paredes o rampas del tajo durante su crecimiento, y obras que estén a menos de 100 m en la vertical de la pared al año 5.

4.2.1.1. RESULTADOS DE LA DIGITALIZACIÓN

Se presentan en planta los modelos de las 10 labores subterráneas escogidas aleatoriamente para la revisión del escalamiento, elevación y georreferenciación.

Figura 10. Digitalización por Geo-referenciación



Fuente: Elaboración Propia

Se presentan a continuación la evaluación cualitativa de los ítems evaluados en los 10 modelos escogidos.

Los resultados muestran que, en 3 de los modelos seleccionados, la georreferenciación presentaría inconsistencias importantes, con diferencias de hasta 400 m.

Tabla 15. *Labores identificadas mediante la Digitalización QC*

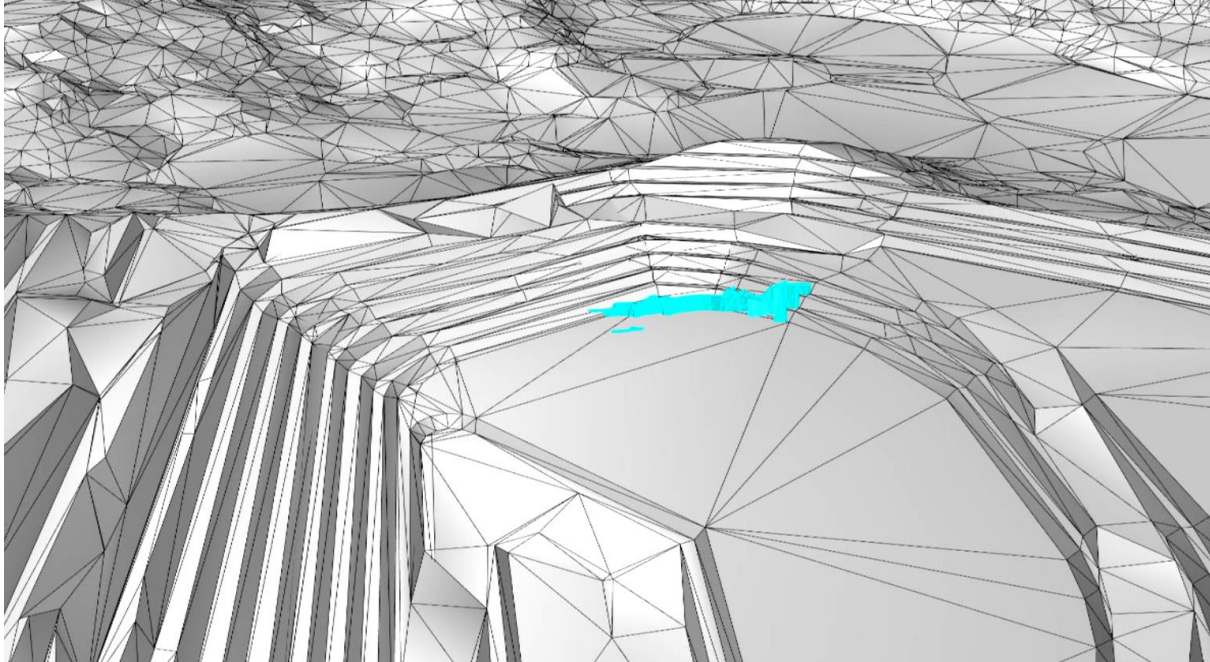
Año	Nombre	Escalamiento	Elevación	Georreferenciación	Comentarios
1936	15. BLANCA VEIN.dxf	G	G	G	Diferencias de 5 m aproximadamente hacia el SE
1936	40. LA PAZ 98 VEIN.dxf	G	G	P	Desplazamiento 180 m E-W aproximadamente
1947	2. AMISTAD VEIN 1.dxf	VG	G	VG	
1959	39. OMBLA 327 VEIN.dxf	G	G	G	
1959	62.1. VENECIA VEIN.dxf	G	G	G	
1959	63.1. YANKEE VEIN 2 & PIPE	VG	VG	VG	
1987	39. VETA SAN PABLO 2	G	G	P	Desplazamiento 500 m E-W aproximadamente
1994	23. VETA MARIA JOELLE.dxf	G	VG	G	
1994	41. VETA SAN FRANCISCO VII.dxf	G	G	VG	
1994	6. VETA CHIRIBIRIBIN.dxf	G	VG	P	Diferencias de 50 m aproximadamente hacia el sur

Fuente: Elaboración Propia

4.3.ANÁLISIS DE LOS KPIS POR OCURRENCIA DE SUBSIDENCIAS EN EQUIPOS DE PRODUCCIÓN

En el estudio del caso de la ocurrencia de subsidencia de la veta San Francisco, se dio el análisis de los Kpi's afectados en operación diaria de camiones, perforadoras y palas, como se muestra a continuación:

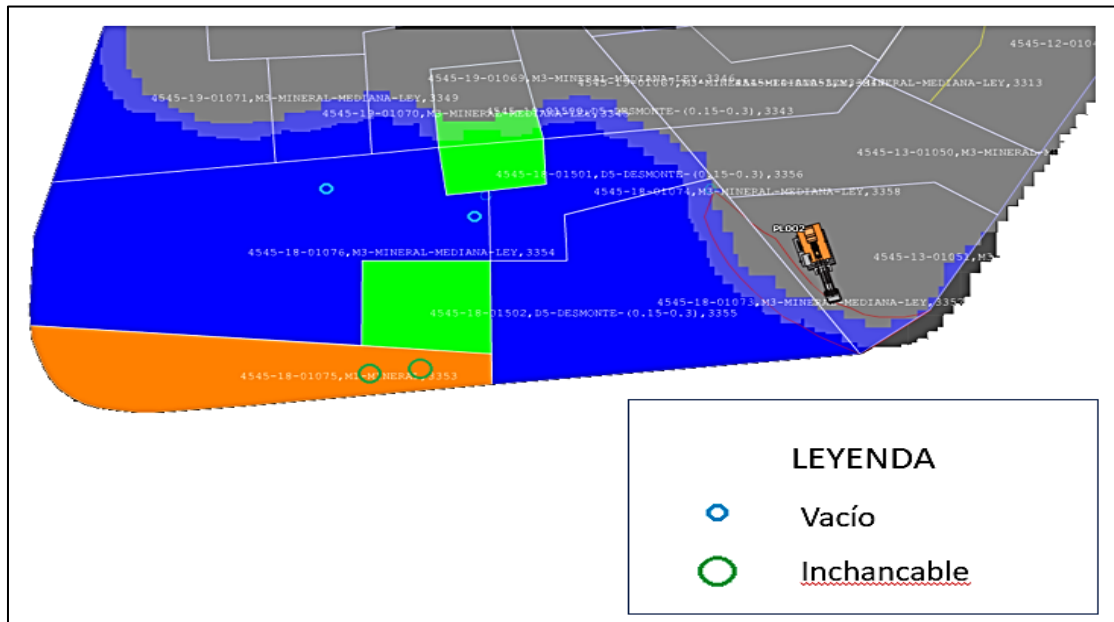
Figura 11. Vista digitalizada de la Veta San Francisco en la Zona Sur del Tajo



Fuente: Área de geotecnia de Minera Chinalco

Se visualiza la Intersección en el talud en bancos 4530 a 4500 en el año 2019. Por detrás de la zona de intersección, la excavación subterránea se ubica a 35 m por debajo del piso.

Figura 12. Digitalización en MineStar



Nota: Se visualiza en la zona sur del tajo, la presencia de una pala afectada.

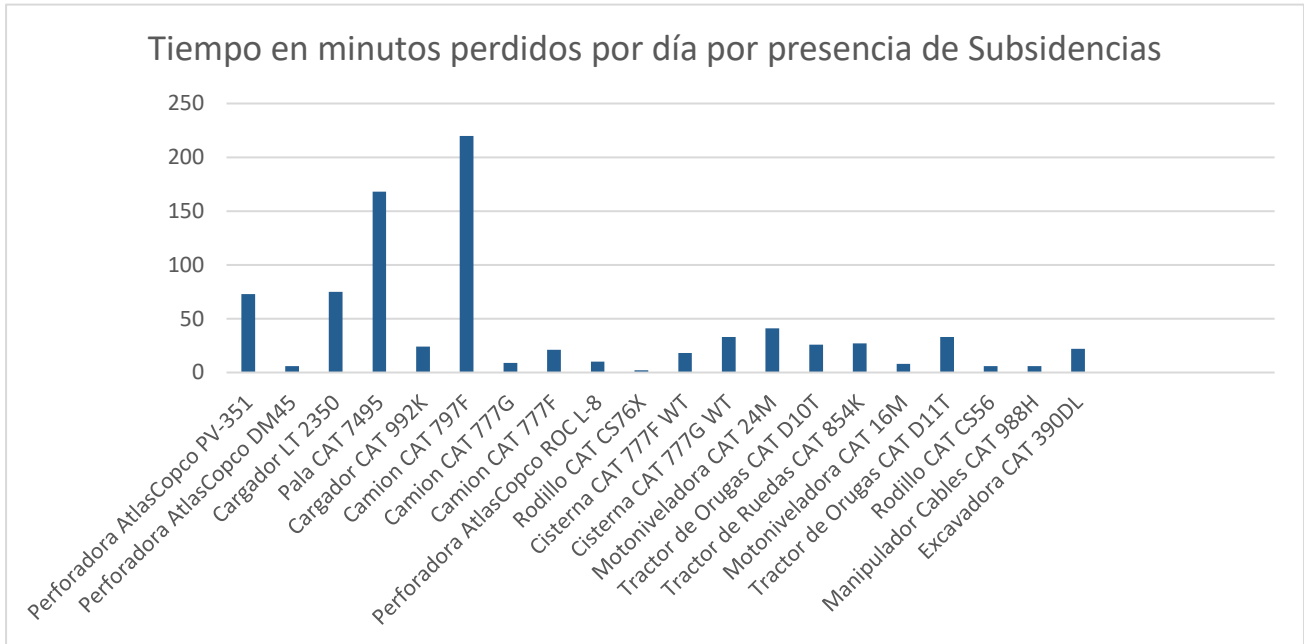
Figura 13. *Fotografía de accidente de Pala por presencia de Subsistencia*



Nota: Se visualiza en la zona sur del tajo, la inclinación de la pala por presencia de subsidencia. Entonces, como se visualiza en las imágenes, la presencia de subsidencias tiene un efecto inmediato en el retardo de las operaciones normales ya planificadas para la producción de mineral, viéndose afectadas directamente en los indicadores reportados por cada equipo afectado, como veremos a continuación:

4.3.1. Tiempos muertos de operación por presencia de subsidencias

Gráfico 8. *Tiempos muertos por subsidencias*



Nota: Elaboración propia

Se visualiza en el gráfico que los Camiones 797F, en promedio tienen tiempos muertos por subsidencias de más de 220 minutos, lo que equivale a un aproximado de 4 horas perdidas por día.

En el Caso de la Pala Cat 7495, presenta un promedio de 168 minutos perdidos por día por la ocurrencia de subsidencias, equivalente a 2.8 horas perdidas por día

Al igual que las perforadoras y el cargador frontal, podemos analizar que los principales equipos de producción se ven directamente afectados.

4.3.2. ANÁLISIS DE EQUIPOS CON MAS INCIDENCIA DE OCURRENCIA DE SUBSIDENCIAS

4.3.2.1. PERFORADORAS

Analizaremos las demoras operativas y no operativas de las actividades normales en una perforadora de producción , para ello definiremos la descripción de las demoras:

- Demoras operativas: colas, Chequeo de máquina, Equipo en stand by.
- Demoras no operativas: Incidentes no planificados, Presencia de Subsidiencias, Interferencia climatologica.
- Tiempo total de utilización de perforadora: tiempo de calentamiento de equipo+ tiempo total ciclo de perforación + tiempo de chequeo mecánico+ otras demoras
- Tiempo total de utilización de perforadora: 15min+ 3.53hr+20 min+ 1.00hr= **5 Horas 6 min**

Tabla 16. *Control de Tiempos de Perforación*

Tiempo calentamiento de equipo	Tiempo chequeo mecánico	Otras demoras
15min	20min	60min

Nota: Los datos fueron tomados en campo

Tabla 17. *Tiempos en la Zona Sur del Tajo Toromocho*

FRENTE ZONA SUR DEL TAJO TOROMOCHO					
	TIEMPO PERFORACION (min)	TIEMPO MOVIMIENTO (min)	TIEMPO LIMPIEZA (min)	TIEMPO/CICLO (min)	VEL(m/min)
PROMEDIO	4.65	0.49	0.49	6.10	0.89

Nota: Los datos fueron hallados en el día de ocurrencia de subsidencia

Como podemos visualizar, en un día de ocurrencia de subsidencia, la perforadora trabajó 5 horas con 6 minutos en el día.

$$\sum (\text{Long prom de perforación}) = 340 \text{ m /día}$$

$$\text{Rendimiento de la Perforadora} = \frac{\text{metros perforados totales}}{\text{Tiempo total de perforación}}$$

$$\text{Rendimiento de la Perforadora} = \frac{340\text{m}}{5.01 \text{ hr}} = 67.86\text{m/hr}$$

El análisis de perforación nos dice que el rendimiento de la perforadora es de 67.86 m/hr, en un día donde hubo ocurrencia de subsidencias, esto en un contraste con el rendimiento normal de una perforadora es un indicador con una diferencia abismal, ya que el rendimiento promedio de las perforadoras es de 260m /hr en un día normal.

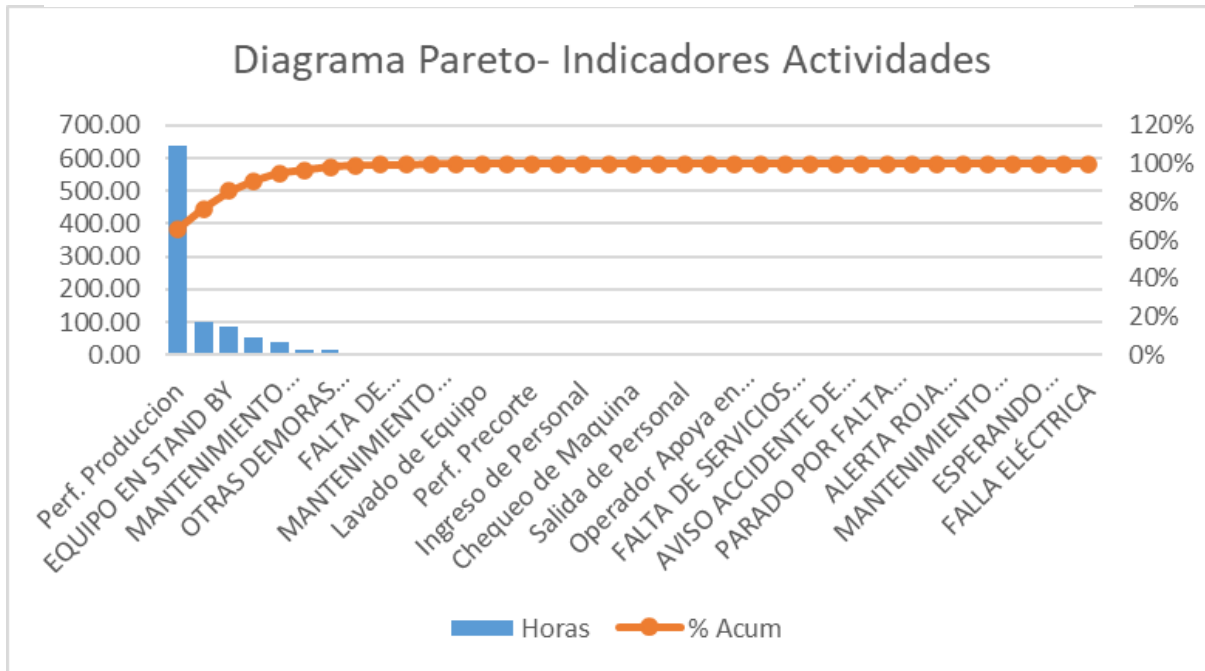
4.3.2.1.1. Análisis de las actividades en un mes de gran ocurrencia de subsidencias

Tabla 18. Actividades en horas de la perforadora

Desc. Act.	Horas	%	% Acum
Perf. Produccion	637.90	66%	66%
OTRAS DEMORAS NO OPERATIVAS	102.00	11%	76%
EQUIPO EN STAND BY	88.00	9%	86%
ESPERANDO ORDEN	51.00	5%	91%
MANTENIMIENTO CORRECTIVO X FALLA	41.08	4%	95%
Otros Trabajos	16.13	2%	97%
OTRAS DEMORAS OPERATIVAS	13.42	1%	98%
Traslado de Equipo	8.28	1%	99%
FALTA DE INSUMOS/ACCESORIOS	2.92	0%	99%
CAMBIO DE LABOR/ORDEN/EQUIPO	2.82	0%	100%
MANTENIMIENTO PROGRAMADO	2.25	0%	100%
ABASTECIMIENTO DE COMBUST.	1.33	0%	100%
Lavado de Equipo	0.37	0%	100%
Perf. Banqueo		0%	100%
Perf. Precorte		0%	100%
Perf. Buffer		0%	100%
Ingreso de Personal		0%	100%
Reparto de Guardia		0%	100%
Chequeo de Maquina		0%	100%
Refrigerio		0%	100%
Salida de Personal		0%	100%
Capacitacion		0%	100%
Operador Apoya en Otros Trabajos		0%	100%
FALTA DE SERVICIOS - AGUA		0%	100%
FALTA DE SERVICIOS - AIRE		0%	100%
FALTA DE OPERADOR		0%	100%
AVISO ACCIDENTE DE EQUIPO		0%	100%
PARADO POR TRAFICO EN VIA		0%	100%
PARADO POR FALTA COMBUSTIBLE		0%	100%
AVISO DE FALLA DEL EQUIPO		0%	100%
ALERTA ROJA (TORMENTA ELECTRICA)		0%	100%
MANTENIMIENTO PREVENTIVO		0%	100%
MANTENIMIENTO PREDICTIVO		0%	100%
MANTENIMIENTO CORRECTIVO PROG.		0%	100%
ESPERANDO INTERVENCION DE MECANICO		0%	100%
AVISO DE SOLUCION		0%	100%
FALLA ELÉCTRICA		0%	100%

Nota: El presente cuadro nos detalla las horas en un mes de las actividades desarrolladas.

Gráfico 9. Diagrama Pareto de actividades perforadora



Nota: Podemos ubicar a los eventos por subsidiencias en otras demoras

Del análisis de Pareto, podemos ver que, del total de actividades de la perforadora por mes, un aproximado del 11% corresponde a la paralización de actividades por la presencia de subsidiencias, siendo un indicador no ubicado por la base de Datos oficial de Minera Chinalco Perú.

4.3.2.2. PALAS

Analizaremos las demoras operativas y no operativas de las actividades normales en una pala , para ello definiremos la descripción de las demoras:

- Demoras Operativas: Colas, Chequeo de máquina, Equipo en stand by.
- Demoras no Operativas: Incidentes no planificados, Presencia de Subsidiencias, Interferencia climatologica.

Hallaremos los indicadores del ciclo de las palas, cuando ocurre subsidiencias.

- Tiempo por día de operación cuando existe subsidencia: 7.8hr
- Tiempo promedio de espera de camiones cuando existe subsidencias: 4.32hr/día

$$\text{Espera (min)} = \frac{\text{Tiempo Esperando a Camión}}{\text{Tiempo de Operación efectiva}}$$

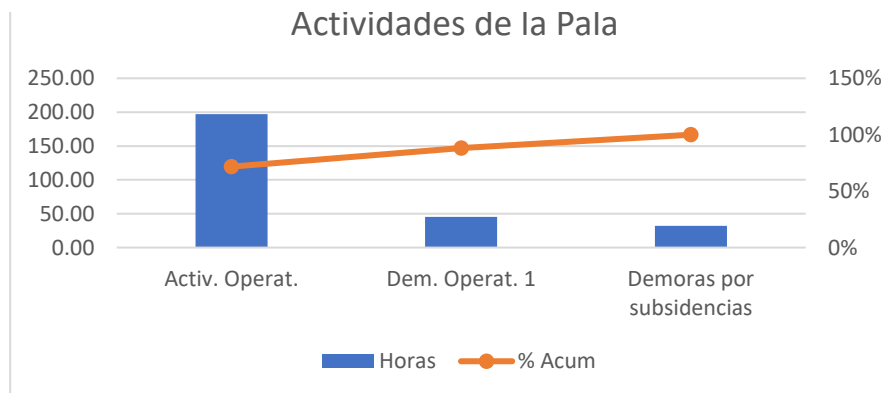
$$\text{Espera (\%)} = \frac{4.32\text{hr}}{7.8\text{hr}} = 55.38\%$$

$$\text{Productividad Operativa} = \frac{\text{Toneladas}}{\text{Tiempo de operación efectiva}}$$

$$\text{Productividad Operativa} = \frac{4000\text{Ton}}{7.8\text{hr}} = 512.82\text{Ton/hr}$$

La productividad operativa de la pala nos dice que carga 512.82 toneladas en una hora, lo cual es un valor muy deficiente con respecto al promedio de un día normal sin eventualidades como es de 1700ton /hr, además que el porcentaje de espera de camiones varados por la presencia de subsidencias es de 55.38%, lo que significa que hay un incremento en el tiempo de espera por camión de 1.1hr por día , a 4.32 hr cuando existe ocurrencia de subsidencias, y el tiempo de operación total disminuye a 7.8 horas de un promedio total de 12 horas efectivas.

Gráfico 10. Actividades de la pala en un mes con ocurrencia de subsidencias



Fuente: Elaboración Propia

El gráfico de Pareto nos indica que las demoras por subsidencias son de un aproximado de 32.25 horas por mes, significando un indicador importante de demora no planificada que afecta las operaciones normales.

4.3.2.3. CAMIONES

Analizaremos las demoras operativas y no operativas de las actividades normales en una pala , para ello definiremos la descripción de las demoras:

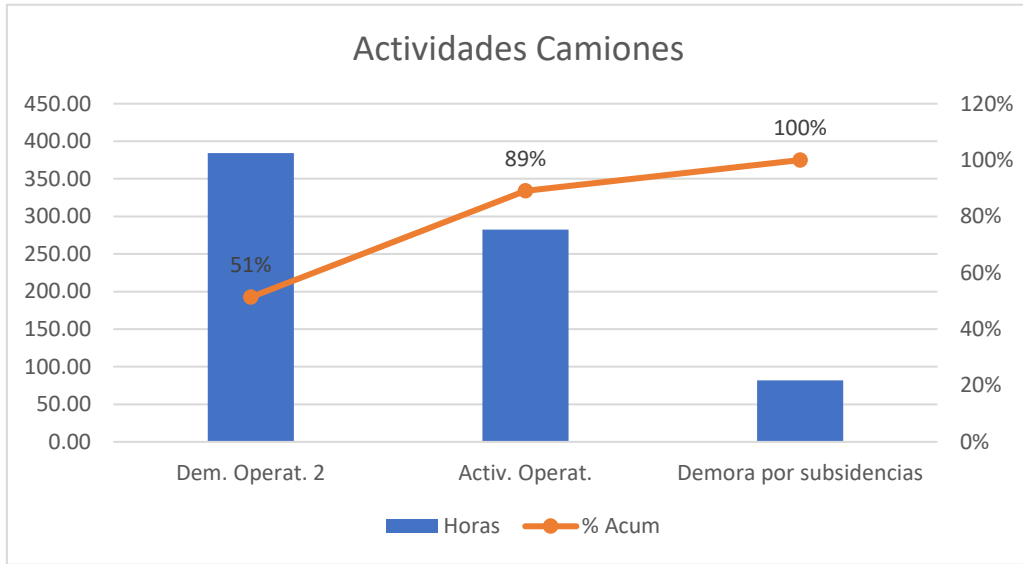
- Demoras Operativas: Colas, Chequeo de máquina, Equipo en stand by.
- Demoras no Operativas: Incidentes no planificados, Presencia de Subsidencias, Interferencia climatologica.
- El numero de camiones analizados son de 28
- El tiempo de utilización de camiones por día de ocurrencia de subsidencias es de 9hr
- El tiempo de operación efectivo según los datos de minera chinalco es de 18.4min por ciclo.

$$Productividad\left(\frac{Ton}{Hr}\right) = \frac{Toneladas}{Tiempo\ de\ operación\ efectivo}$$

$$Productividad\left(\frac{Ton}{Hr}\right) = \frac{\frac{400ton}{viaje} * \frac{3Viajes}{hr} * \frac{9hr}{día}}{18.4min} = 586.96Ton/hr$$

Entonces la productividad por camión es de 586.96 ton en una hora, esto por debajo de los estándares dados por Minera Chinalco que es de 1600Ton/hr, lo que implica una menor producción para planta, y por consiguiente una generación de pérdidas por producción.

Gráfico 11. Diagrama Pareto de Actividades de Camiones Mineros



Nota: Elaboración Propia

La demora por ocurrencia de subsidencias en camiones por mes es de 81 horas, lo que equivale a un poco más del 30 % del total de actividades realizadas, lo cual es una cifra significativa que la base de Datos de Kpi's de Minera Chinalco no contempla.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1.ANÁLISIS

Al observar el procedimiento de mejoría de predicción de ocurrencia de subsidencias, mediante el método de Crown pillar, podemos encontrar grandes ventajas con la digitalización de labores subterráneas para evitar la disminución de indicadores de producción en el desarrollo normal de las labores diarias en el tajo Toromocho.

Se evidencia la gran cantidad de tiempos muertos por presencia de subsidencias de manera inesperada, modificando el planeamiento normal de las labores de producción.

5.2.PRESENTACIÓN

La investigación presenta labores subterráneas no identificadas, que son un potencial riesgo de ocurrencia de subsidencias en los próximos años a medida que se amplíe el tajo Toromocho.

5.3.INTERPRETACIÓN

La identificación de labores digitalizadas con el cálculo de crown pillar, nos sugiere armar un plan de manejo de subsidencias ante la ocurrencia inesperada de éstas en plena operación, lo cuál

significa una propuesta de plan de contingencia para evitar el perjuicio y tomar medidas correctivas ante la ocurrencia de vacíos y hundimientos.

5.4.PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para el análisis de la prueba de hipótesis, se realiza con la herramienta del software minitab, así como lo sugiere (CCANTO, 2014).

5.4.1.1. Hipótesis Nula (Ho):

Las subsidencias que se genera en el tajo Toromocho producen disminución de los indicadores de gestión (Kpi's) del proceso operativo.

$$\mathbf{Ho: \mu = 1200Ton/hr}$$

Se toma el valor promedio de productividad operativa de los camiones, ya que éstos demuestran la variación en todo el ciclo de minado al presentarse tiempos muertos, por lo cual al tener un valor menor a las 1200Ton/hr , nos indicará la presencia de disminución de la producción.

5.4.1.2. Hipótesis Alterna (Ha):

Las subsidencias que se genera en el tajo Toromocho no producen disminución de los indicadores de gestión (Kpi's) del proceso operativo.

$$\mathbf{Ha: \mu \neq 1200Ton/hr}$$

5.4.2. NIVEL DE SIGNIFICANCIA Y NIVEL DE CONFIANZA

:Esto representa la probabilidad de aceptar una hipótesis nula falsa, y se puede considerar cualquier valor entre cero y uno. Sin embargo, para pruebas de hipótesis, se suele utilizar un

rango entre 0.05 y 0.1. En nuestro caso, vamos a utilizar un nivel de significancia de 0.05 ($\alpha = 0.05$). Para evaluar el nivel de riesgo, trabajaremos con un nivel de confianza del 95%.

$$NIVEL DE CONFIANZA = 1 - 0.05 = 0.95$$

Es así que el análisis de la prueba de la hipótesis se alimentará de los datos obtenidos por producción de camiones, cada vez que se presentan las subsidencias.

Subsidencia	Producción promedio de camiones (Ton/hr)
1. 140 SPLIT OF NAT. VEIN II.dxf	1700.5
12. GERTRUDIS 423 VEIN.dxf	1742.3
16. CENTRAL 136 PIPE & VEIN.dxf	954.8
19. 1. LA PAZ 146 VEIN - UPPER	1300.7
19. SAN FRANCISCO 183 VEIN& ORE	586.96
2. 164 SPLIT OF SAN FRANCISCO VEIN	1117.8
20. VETA MARIA ELENA.dxf	896.45
23. FLORENCIA 180 VEIN.dxf	1945.6
25. VETA MARY.dxf	788.4
30. VETA NITIVIDAD 2.dxf	1450.7
34. NATIVIDAD 169 VEIN.dxf	1338.64

Entonces con los datos obtenidos usaremos la prueba de T- Student , ya que nuestra muestra es menor a 30, y es el recomendado.

Prueba de Hipótesis en Minitab

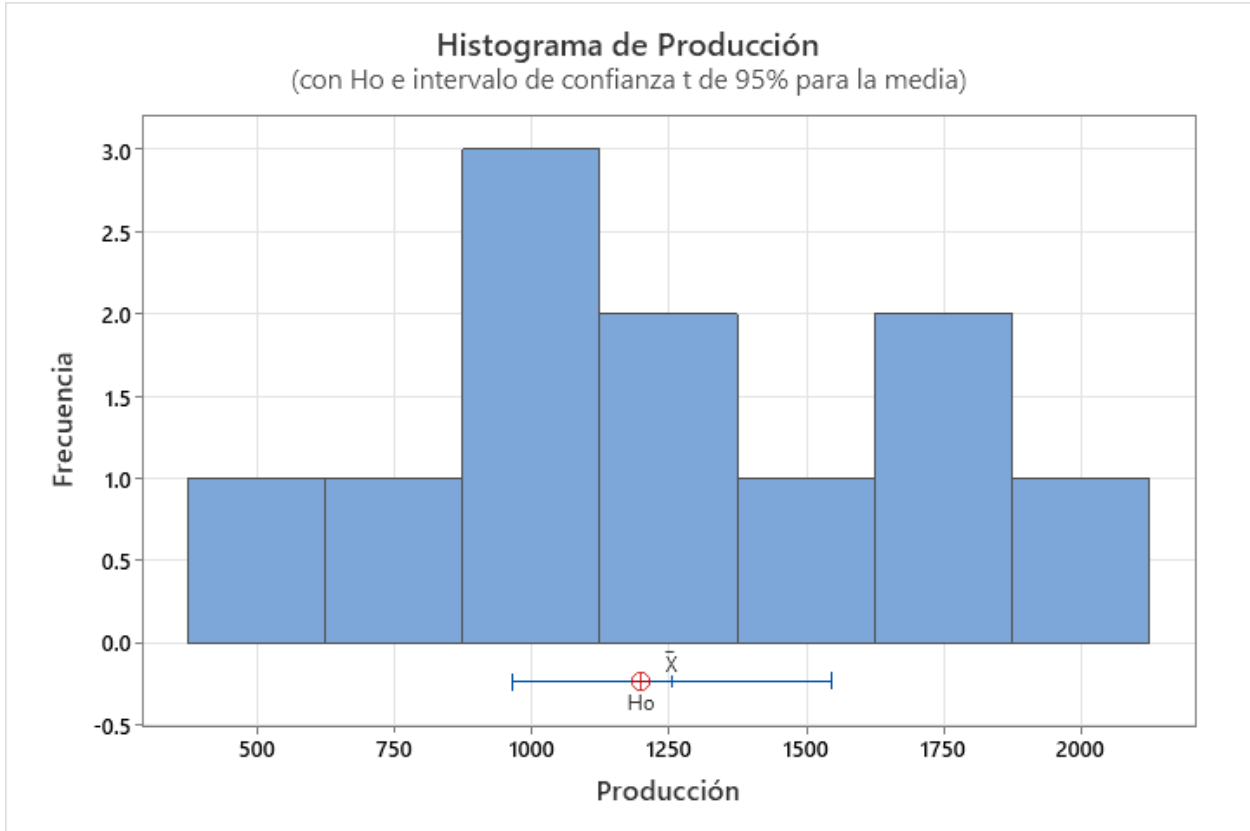
Hipótesis nula $H_0: \mu = 1200$

Hipótesis alterna $H_1: \mu \neq 1200$

Valor T	Valor p
0.44	0.657

El valor de p fue hallado en minitab, dando el valor de $p=0.657$

Gráfico 12. *Histograma de Producción de T student*



Nota: Elaborado en Minitab

Entonces la interpretación que le damos es la siguiente:

Al tener un valor de $p=0.657$, éste viene a ser mayor que el nivel de significancia, por lo cual nuestra hipótesis es aceptada “Las subsidencias que se genera en el tajo Toromocho produce disminución de los indicadores de gestión (Kpis) del proceso operativo”

CONCLUSIONES

- Las implicancias que generaron las subsidencias en el proceso operativo fueron la identificación de deficiencias en la producción de los camiones, que no llegan a su parámetro óptimo durante los eventos de la ocurrencia de subsidencias, ocasionando una disminución de más 1000 toneladas movidas por camión al día, afectando la planificación diaria.
- Los parámetros identificados en la detección de subsidencias no los da mediante Perforaciones a alta velocidad con perforadoras PIT Viper 351, donde se analiza el parámetro de Velocidades ROP, además, el análisis de Crown Pillar, mediante la evaluación de profundidades de 3,5 y 10m, nos infiere de las dimensiones y resistencias de las labores subterráneas no mapeadas completamente
- La influencia que se tuvieron las perforaciones profundas fue la identificación de 11 labores que serán intersecadas por el desarrollo del tajo en los próximos cinco años, y éstas a su vez digitalizadas mediante la campaña de Digitalización QC.
- Las acciones inmediatas a tomar nos sugieren un plan de manejo de subsidencias cuándo las labores de tajo se amplíen hasta estas labores subterráneas identificadas gracias al análisis de Crown Pillar donde se identifican 11 potenciales subsidencias en labores de desarrollo futuras, generando esto una interrupción mínima en el desarrollo normal del proceso operativo.

RECOMENDACIONES

- La investigación ha requerido de más información para saber las dimensiones reales de las labores subterráneas encontradas, para lo cual se sugiere un escaneo semanal de las labores ya encontrada mediante redes telemétricas, esto a implementarse en el área de geotecnia.
- Al no existir un plan de contingencia óptimo cuando ocurren accidentes por subsidencias, se sugiere que el área de seguridad, implemente un plan de manejo ante hundimientos no previstos que abarque medidas correctivas para no perjudicar las labores normales de producción en superficie.
- Mejorar la distribución de Equipos de Carguío y Acarreo a cargo del área de planeamiento de minado, y consiguiente mapeo predictivo de ocurrencia de subsidencias, para evitar grandes demoras y disminuir pérdidas.
- Para mejorar la predicción de subsidencias se sugiere que el área de geotecnia impulse la adquisición de sensores digitales para saber el porcentaje de hundimiento planificado.

BIBLIOGRAFÍA

- ALEMAN SANCHEZ, D. (2019). *Modelización de la subsidencia minera del polígono lo tación (la unión - murcia)*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA, CARTAGENA.
- BIENIAWSKI. (1989). *Engineering rock mass classifications*.
- CCANTO, P. M. (2014). *Optimización del carguio y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño*.
- CORAPCIOGLU, Y., & BEAR, J. (2012). *Fundamentals of transport phenomena in porous media*. Springer Dordrecht. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-94-009-6175-3](https://doi.org/10.1007/978-94-009-6175-3)
- EZQUERRO MARTÍN, P. (2021). *Estudio de la subsidencia del terreno producida por la explotación de acuíferos mediante datos de interferometría radar satélite*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, MADRID.
- FERNANDEZ LOPEZ, D. (2013). *Análisis, valoración y establecimiento de las medidas correctoras de los efectos hidrogeológicos de subsidencia y medioambientales producidas como consecuencia del cese y abandono de labores en una explotación minera en un entorno urbano*. UNIVERSIDAD DE LEON, LEON.
- GONZALES DE VALLEJO, L., FERRER, M., ORTUÑO, L., & OTEO, C. (2002). *Ingeniería geológica*. PEARSON.

- HERNANDEZ SAMPIERI, R., & MENDOZA TORRES, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. m g raw hill.
- HERRERA RODRIGUEZ, F., & LINARES RIVAS DE EGUIBAR, Á. (2000). *Auscultación e Instrumentación Geotécnica de Taludes*. COLEGIO DE GEÓLOGOS DE ESPAÑA.
- HOEK, H., KAISER, P., & BAWDEN, W. (1995). *Support of underground*.
- LANDEO, J., RIVERA, H., & BREÑA, C. (2015). Análisis de control de riesgos por efectos de subsidencia de rocas en la unidad minera yauricocha. *REVISTA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN (RIIGEO), FIGMMG - UNMSM*, 61-70.
- NUHFER, E. B., J.PROCTOR, R., & MOSER, P. (1997). *Guia ciudadana de los riesgos geologicos*.
- ÑAUPAS PAITAN, H., VALDIVIA DUEÑAS, M. R., PALACIOS VILELA, J. P., & ROMERO DELGADO, H. E. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa . cualitativa y redacción de la tesis*. ediciones de la u.
- PROKOPOVICH P, N. (1979). "Genetic classification on land subsidence ". "evaluation and prediction of subsidence".
- TANAJURA XAVIER, E. L., PACHECO DA PENHA, A., DOMINGUEZ LANDIM, J. M., & GUIMARAES KACENELENOGEN, J. (2020). *Red geodésica para monitoramento de processos de subsidencia na planicie deltaica do rio sao francisco*. revista geociencias.

- TOMAS, R., DELGADO, J., & LÓPEZ, J. (2005). *Técnicas de ingeniería cartográfica empleadas en el estudio de subsidencia y movimientos de ladera: principales características y análisis comparativo*. artículo científico, UNIVERSIDAD DE ALICANTE.
- TOMÁS, R., HERRERA, G., DELGADO, J., & PEÑA, F. (2009). Subsidencia del terreno. *enseñanza de las ciencias de la tierra*.
- VASQUEZ, H. A. (1993). *Estudio geologico- geotecnico del tunel principal de la mina graciela - santa cecilia - peru bar* [TESIS PARA TITULO PROFESIONAL, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA. REPOSITORIO INSTITUCIONAL.
- ZANABRIA HUANASCA, M. (2021). *Evaluacion de la subsidencia inducida por la extracción de mineral para determinar la estabilidad del pique mascota y central en la u.m. yauricocha*. TESIS, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, HUANCAYO.

ANEXOS

ANEXO 1

1.1.DESCRIPCIÓN DE MINERA CHINALCO PERÚ

1.2.Breve descripción de Minera Chinalco Perú

El Proyecto Toromocho de MCP, propiedad de Aluminum Corporation of China (MINERA CHINALCO PERU), es una mina a cielo abierto con reservas de cobre y molibdeno. Las exploraciones geológicas y la planificación minera han determinado que el depósito Toromocho contiene una reserva de 1,526 millones de toneladas de mineral. La ley promedio de cobre es de 0.48%, la ley promedio de molibdeno es de 0.019% y la ley promedio de plata es de 6.88 gramos por tonelada, con una ley de corte de aproximadamente 0.37% de cobre.

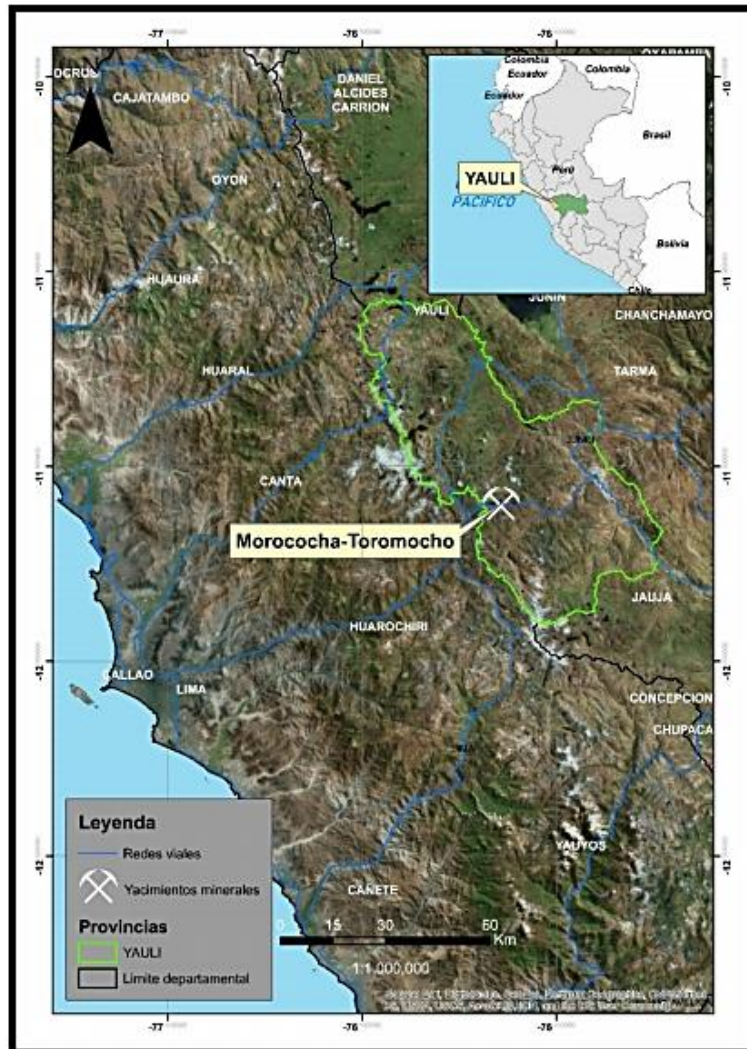
1.3.Actividades de la empresa

El Proyecto Toromocho de Chinalco tiene como objetivo la explotación a cielo abierto de un yacimiento de pórfido de cobre, con la presencia de molibdeno y plata, a una velocidad de extracción de 235,000 toneladas por día. Esto equivale a un total proyectado de 2,700 millones de toneladas durante un período de 32 años. La capacidad de procesamiento de mineral será de 117,200 toneladas por día. En términos de producción, se espera que el proyecto genere un millón de toneladas de concentrado de cobre al año, así como 10,000 toneladas de óxido de molibdeno y 4 millones de onzas de plata.

1.4.Ubicación Geográfica.

El Proyecto Toromocho se encuentra situado en los distritos de Morococha y Yauli, en la provincia de Yauli, en el departamento de Junín.

Figura 14. Ubicación del Tajo Toromocho



Nota: Obtenido de la base de Datos de Gerencia de Operaciones de Minera Chinalco

El área donde se ubican las concesiones se caracteriza por tener un terreno irregular, con altitudes que oscilan entre los 4,400 y 5,000 metros sobre el nivel del mar. El Proyecto está principalmente ubicado en la cuenca del río Rumichaca y la cuenca Huascacocho, las cuales fluyen hacia la cuenca del río Yauli y finalmente llegan al océano Atlántico a través de los ríos Mantaro y Amazonas.

Tabla 19. *Coordenadas del Tajo Toromocho*

Punto	Norte	Este	Total (Hectáreas)
MINERA CHINALCO			
PERU	8716800	376600	5180

Fuente: Página Web de Minera Chinalco Perú

1.5. Accesos a la Mina

El acceso al área del Proyecto se realiza desde la ciudad de Lima a través de la Carretera Central, que está asfaltada hasta Morococha (142 km). También se puede acceder mediante el Ferrocarril Central, que tiene una longitud de 173 km. Ambas vías también conectan el área del Proyecto con la ciudad de La Oroya, que está a unos 32 km en carretera y aproximadamente 35 km en ferrocarril.

1.6. Geomorfología y Relieve

El estudio se lleva a cabo en una región de la Cordillera de los Andes que se caracteriza por una serie de elevaciones alineadas en cadenas paralelas. Esta cordillera es un antiguo macizo que ha experimentado plegamientos en el pasado, seguido de erosión y formación de penillanuras en períodos posteriores. Durante el terciario, hubo elevaciones en bloques debido a la actividad orogénica de los Andes, y también se presentaron intrusiones de grandes cuerpos y eventos volcánicos, lo que resultó en un relieve complejo. En el área del proyecto, se pueden observar signos de glaciaciones recientes y cambios causados por procesos periglaciares actuales. Los procesos periglaciares, como el creeping o reptación, la soliflucción y los deslizamientos de derrubios, son los más importantes en toda la zona y han dado lugar a la formación de formas menores características de estos procesos.

.El trabajo de investigación se enfoca en determinar las implicaciones de la subsidencia en el proceso operativo de la mina a cielo abierto de Toromocho en Perú. El estudio tiene como objetivo identificar los parámetros para detectar la subsidencia, evaluar el impacto en la producción y proponer planes de contingencia. La investigación utiliza datos históricos de 2019 y 2020 y aplica metodologías cuantitativas. Los métodos utilizados incluyen levantamientos topográficos, mediciones geodésicas, fotogrametría y técnicas geofísicas como resistividad eléctrica y métodos sísmicos. Los resultados del estudio contribuirán a mejorar la predicción y gestión de la subsidencia en las operaciones mineras.

Figura 15. *Imagen del Relieve Característico de la Zona*



Fuente: Fotografía de la base de datos de Minera Chinalco Perú

1.7.Clima y Meteorología

El clima en el área de estudio es típicamente montañoso, debido a su ubicación a grandes alturas en la sierra del Perú. Es un clima frío y seco, con dos temporadas bien definidas: la época

de lluvias, que va de octubre a marzo, y la época seca, que abarca el resto del año. La altitud, que promedia alrededor de 4,500 metros, es el factor más influyente en el clima de la región. Otros factores considerados son la latitud (entre 11 y 12 grados de latitud sur) y la posición con respecto al océano. Estos factores determinan características climáticas importantes como la amplitud térmica diaria y anual, los patrones de viento, y los niveles de humedad, precipitación y evaporación. Durante el período de registro, la radiación solar promedio diaria anual es de 4,627 Wh/m². En cuanto a la radiación solar mensual promedio, el máximo se registra en agosto con 5,479 Wh/m² y el mínimo en marzo con 3,838 Wh/m².

El área experimenta vientos que se ajustan a los patrones típicos de los sistemas eólicos de montaña y valle. Estos vientos locales varían en intensidad según las diferencias de temperatura en el área, y un comportamiento fuertemente influenciado por la configuración topográfica.

Figura 16. *Imagen de clima característico de la zona*



Fuente: Propia

1.8.Recursos

1.8.1. Recurso de Suelo.

El área de estudio del Proyecto Toromocho se caracteriza por presentar dos ambientes bien marcados, el ambiente del valle de Yauli y la parte alta montañosa donde la vegetación natural primaria está conformada por pasturas altoandinas. El pastoreo y la actividad minera constituyen el principal aprovechamiento (uso) de los recursos naturales. Se identificaron 9 unidades de suelos que han sido agrupadas taxonómicamente y descritas como subgrupo (Soil Taxonomy - USDA), a las que por razones prácticas y de fácil identificación se les asignó un nombre local. Las unidades edáficas fueron agrupadas en cuatro consociaciones edáficas y una miscelánea - roca. Asimismo, se agruparon estas consociaciones en 21 asociaciones. Según su capacidad de uso mayor, los suelos se clasificaron en 14 tipos de suelos los cuales se distribuyen dentro de las siguientes categorías: tierras aptas para pastoreo, tierras para cultivo en limpio y tierras de protección. La mayor parte del área evaluada se encuentra cubierta por suelos de la categoría X (tierras de protección), denominados así porque no son aptos para el sostenimiento de actividades agrícolas o ganaderas bajo márgenes económicos aceptables. En segundo lugar se ubican los suelos aptos para pasturas, los cuales debido a condiciones desfavorables como la altitud, presentan aptitud principalmente para la crianza de camélidos sudamericanos. Los suelos aptos para cultivo en limpio son muy escasos en el área evaluada debido a las limitaciones del ambiente y en el área de emplazamiento directo del Proyecto son inexistentes.

En la figura siguiente podremos observar bofedales que son protegidos en el área de conservación “Sierra Nevada” de Minera Chinalco Perú.

Figura 17. *Bofedal Característico*



Fuente: Área de gestión ambiental de Minera Chinalco Perú

1.8.1.1. Recurso Hídrico.

El área del Proyecto incluye redes de drenaje que forman parte de la cuenca del río Yauli, que a su vez desemboca en el río Mantaro, que pertenece a la vertiente del Atlántico. Estas redes de drenaje comprenden la cuenca Huascacocha, la cuenca Pucará y la cuenca Rumichaca, que incluye la quebrada Tunshuruco. La cuenca Huascacocha tiene un área de 65,9 km², mientras que la cuenca Rumichaca tiene un área de 66,1 km². En cuanto a la calidad del agua, la cuenca Rumichaca muestra indicadores de aguas poco afectadas por actividades humanas, mientras que la cuenca Huascacocha, que incluye a Morococha y sus cuerpos de agua estancados, presenta perturbaciones causadas por actividades mineras y urbanas históricas y actuales. La calidad del agua del río Yauli se ve afectada por diversas operaciones mineras y de construcción.

Figura 18. *Fotografía de la cuenca Rumichaca*



Fuente: Área de Gestión Ambiental de Minera Chinalco Perú

Figura 19. Vista Satelital de la influencia hídrica en Tajo Toromocho



Fuente: Imagen obtenida de Google Earth

1.8.2. Flora y Fauna.

Se ha determinado la presencia de 191 especies de plantas en el área de estudio. Estas especies se dividen en 84 géneros y 29 familias botánicas, distribuidas en 8 formaciones vegetales diferentes. Se han identificado las siguientes formaciones vegetales en toda el área de estudio: Matorral, Totoral, Pradera muy húmeda, Roquedal, Pedregal, Pajonal, Césped de Puna y Bofedal, junto con las asociaciones correspondientes entre ellas. Todos estos tipos de cobertura vegetal, excepto el Totoral, se encuentran en el área directa del Proyecto. El pajonal ocupa el 23% del área, seguido por el roquedal/pedregal (16%) y la combinación de pajonal y roquedal (14%); además, la combinación de pajonal y césped de puna representa el 10% del total del Área de Emplazamiento del Proyecto

En el área de estudio de vertebrados terrestres se han registrado 75 especies, de las cuales 65 pertenecen al grupo de aves y se distribuyen en 13 órdenes y 24 familias. El orden

Passeriformes cuenta con el mayor número de especies, siendo la familia Furnariidae la más numerosa. En cuanto a los mamíferos, se han registrado un total de 8 especies pertenecientes a tres órdenes y seis familias. En cuanto a los anfibios y reptiles, se ha registrado una especie para cada grupo.

En el área de estudio de especies acuáticas, se han registrado solo dos especies de peces, ambas adaptadas a aguas frías. Se han encontrado individuos de *Orestias empyareus* "chalhua" en mayor abundancia en las estaciones ubicadas en ambientes lénticos como la laguna San Antonio y la laguna Tunshuruca. Además, se ha registrado la presencia de trucha *Oncorhynchus mykiss* en la laguna Tunshuruca y el embalse Huarmicocha.

Figura 10. *Imagen de Matorral Andino*



Fuente: Área de Gestión Ambiental de Minera Chinalco Perú

Figura 11. *Auquénidos oriundos de la Zona*



Fuente: Área de Gestión Ambiental de Minera Chinalco Perú

1.9. Geología

1.9.1. Geología Económica

El estudio de investigación se centra en determinar las implicaciones de la subsidencia en el proceso operativo de la mina a cielo abierto de Toromocho en Minera Chinalco Peru durante el período 2019-2020. El estudio utiliza una metodología cuantitativa básica e incluye la detección de subsidencia a través de perforaciones profundas, control y prospección de vacíos detectados, y evaluación del grosor crítico de los pilares. La investigación tiene como objetivo identificar parámetros para predecir la subsidencia, mejorar la detección de trabajos subterráneos y determinar acciones inmediatas a tomar en presencia de subsidencia. El estudio concluye que la presencia de subsidencia afectó la producción de camiones, lo que resultó en una disminución en la cantidad de toneladas movidas diariamente e impactó la planificación diaria. La investigación recomienda la implementación de un plan de contingencia para reducir y controlar los contratiempos para el desarrollo adecuado del trabajo planificado

1.9.1.1.Pórfido de Cobre.

Los pórfidos de cobre son depósitos minerales que contienen una cantidad baja de cobre pero en grandes cantidades. Se les llama pórfidos porque a menudo están asociados con rocas ígneas intrusivas que tienen cristales grandes de feldespato en una masa cristalina fina. La textura porfídica indica que los magmas se introdujeron y se cristalizaron cerca de la superficie debido a su naturaleza relativamente poco profunda. Estos pórfidos de cobre están relacionados con intrusivos calco-alcalinos de composición rica en magnetita (como diorita y granodiorita). Los sistemas de pórfido de cobre se forman a través de procesos magmáticos e hidrotermales, relacionados con la intrusión de rocas intermedias en varias etapas. En muchos casos, la ubicación de las rocas ígneas y la circulación de fluidos hidrotermales y mineralización pueden estar controladas por estructuras geológicas.

1.9.1.2.Skarn

El yacimiento de Toromocho presenta diferentes tipos de skarn, como el skarn tremolita/actinolita, el skarn de magnetita masiva, el skarn alterado conocido como "serpentina" y el endoskarn en contacto con los intrusivos.

1.9.1.3.Skarn de Tremolita – Actinolita

Los minerales principales en el skarn temprano incluyen la tremolita, actinolita y granate. La ubicación del granate se determina generalmente por su color, que varía de marrón rojizo cerca de la intrusión de roca ígnea, a verde más lejos. Las venas de cuarzo-pirita-calcopirita y calcopirita, con o sin pirita en baja concentración, junto con halos de actinolita, son comunes y parecen ser contemporáneas con la alteración de biotita potásica y feldespato potásico en los intrusivos.

1.9.1.4. Skarn de Magnetita

En skarns serpentinizados provenientes del estrato dolomítico original, se encuentran skarns ricos en magnetita. El skarn serpentizado contiene una variedad de minerales con alto contenido de magnesio, como talco, antigorita, flogopita, lizardita y clorita, en proporciones variables. También se han identificado olivino y forsterita en algunas áreas. En comparación con el skarn de tremolita/actinolita, el skarn de magnesio serpentizado tiene un contenido más alto de magnetita y menos sulfuros (<6%), y una baja proporción de pirita y calcopirita (<1:2%). El alto contenido de magnetita podría ser resultado de la presencia de silicatos de magnesio como la forsterita, talco y serpentina, que no tienen una amplia solución sólida en sus miembros ferrosos y reflejan la naturaleza de oxidación y precipitación del ambiente que altera el skarn.

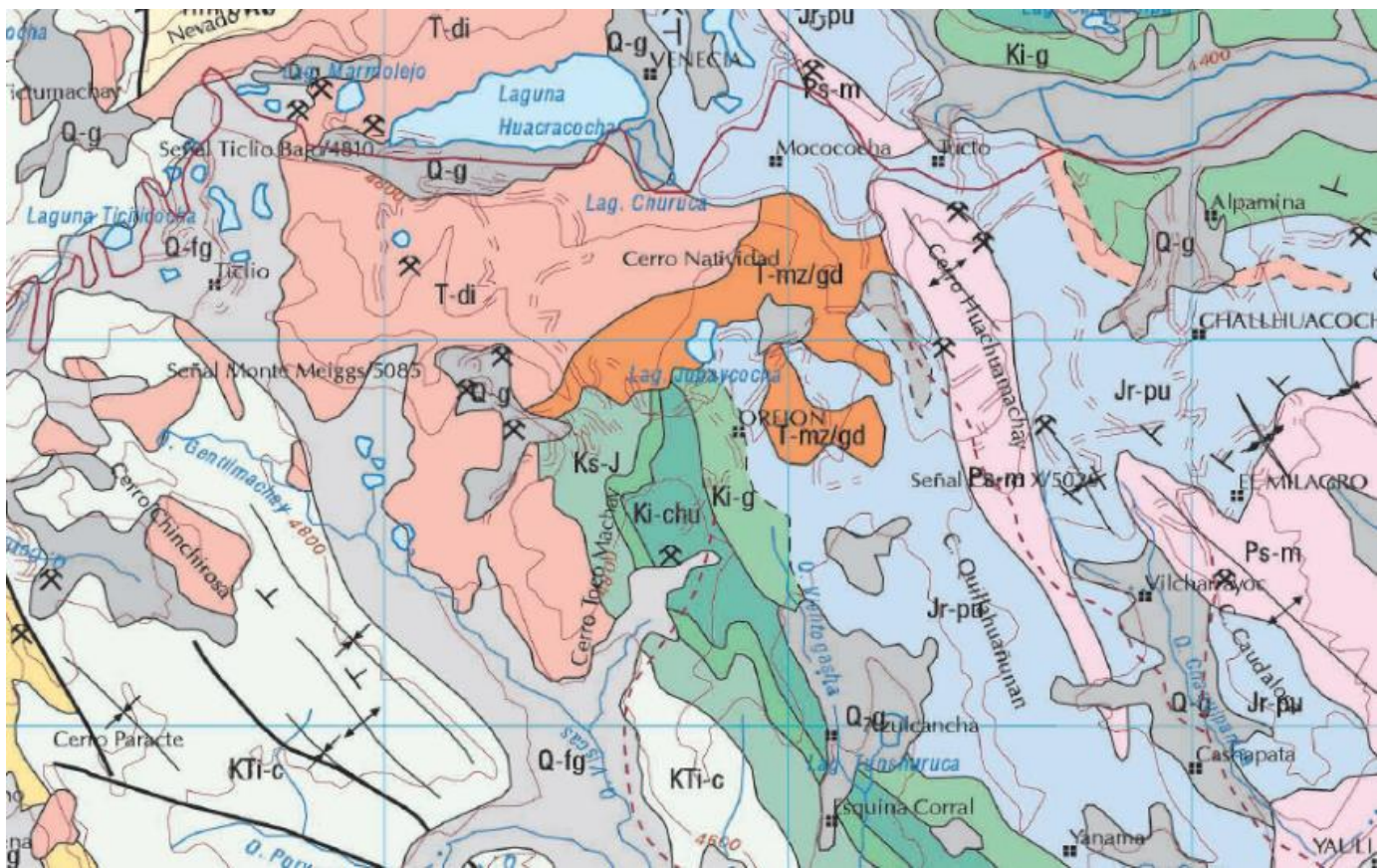
1.9.1.5. Endoskarn

Algunos de los skarns que se forman en o cerca de los contactos de los intrusivos se denominan endoskarn. Estos se desarrollan preferentemente en la granodiorita y se caracterizan por la presencia de granates, piroxenos y tremolita y actinolita, que reemplazan a la plagioclasa y destruyen por completo la textura ígnea de los intrusivos. La cantidad total de sulfuros está en el rango del 1% al 5%, con leyes de cobre a menudo superiores al 1%.

1.9.2. Geología Regional

El Distrito Metalogénico de Morococha contiene varias formaciones sedimentarias, incluyendo Excelsior, Mitu, Pucará, Goyllarisquizga y Chulec, que tienen intrusiones de composición ácida e intermedia. Dentro del distrito, se encuentra un anticlinal conocido como Anticlinal de Morococha, que se extiende en dirección noroeste-sureste y tiene un ángulo de inclinación de 10°-15°.

Figura 12. Formaciones Sedimentarias Regionales



Fuente: Área de Geología de Minera Chinalco

1.9.2.1. Grupo Pucará

El grupo Pucará está compuesto por diferentes tipos de rocas, como calizas blancas, calizas dolomíticas, pizarras, sílex y piedras areniscas. En la zona de Morococha también se encuentra el basalto montero dentro de este grupo.

1.9.2.2. Grupo Goyllarisquizga

En el distrito de Morococha, se encuentra una secuencia de rocas que consiste en conglomerado rojo basal que se superpone aparentemente a la caliza Pucará. Esta secuencia incluye un conglomerado basal, areniscas, lutitas rojas y calizas.

1.9.2.3.Grupo Mitu

La formación Mitu está compuesta por arenisca, conglomerados y brecha volcánica, conocidos como volcánicos de Catalina. También se encuentran derrames lávicos de dacita y andesita de tonalidades grises y verdes.

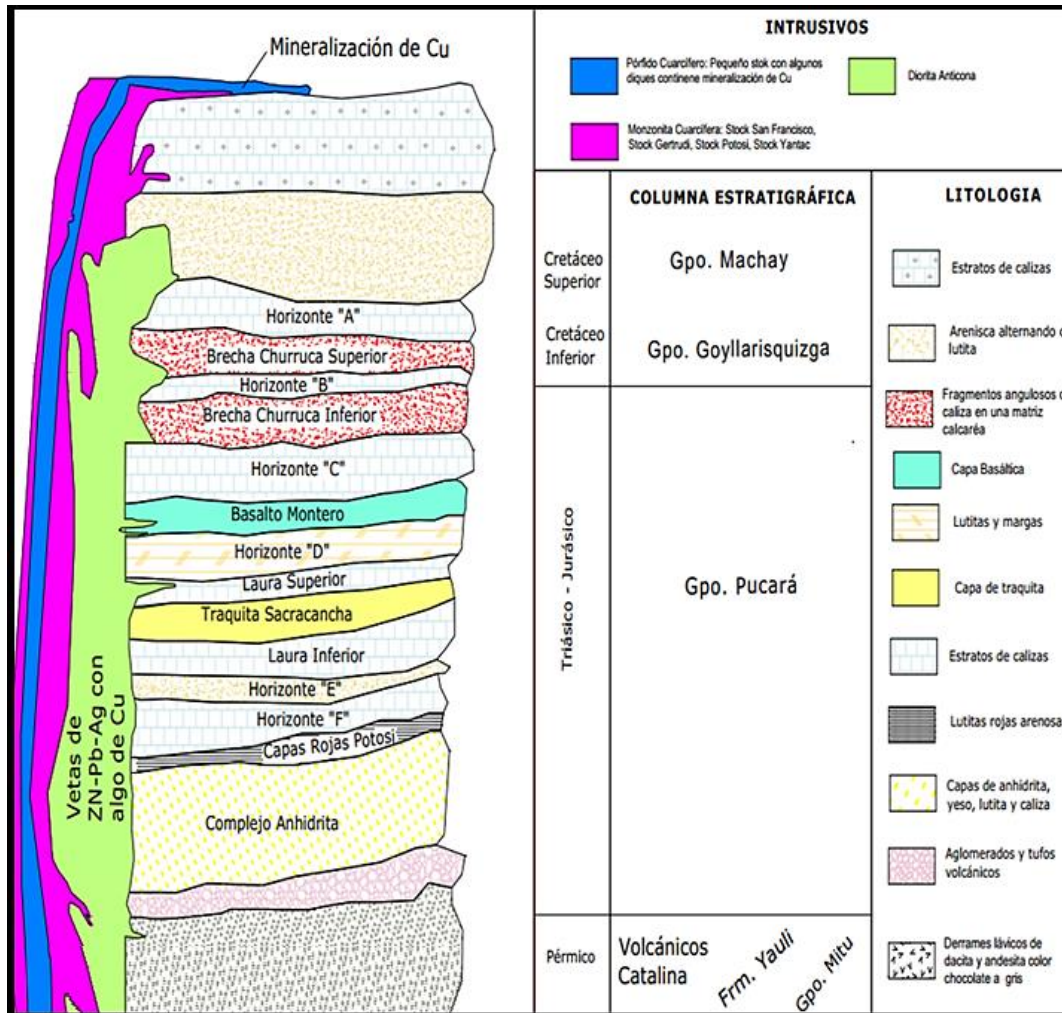
1.9.2.4.Formación Chulec

Esta formación está representada básicamente por las calizas Machay.

1.9.3. Geología Local de Toromocho

En el área, las rocas más antiguas son de la formación Volcánica Catalina del Grupo Mitu (Pérmico). Estas rocas consisten en corrientes de lava con composición que va desde andesita hasta riolita. Por otro lado, las calizas del Grupo Pucará (Jurásico) están presentes y se componen de 13 horizontes con un grosor total de 431 metros. Estas calizas han experimentado alteración en skarn y hornfels. El grupo Pucará está compuesto por calizas blancas y calizas dolomíticas, con estratificaciones intermedias de pizarras, silex y piedras areniscas. También se encuentran dos flujos de lava intercalados con la caliza, y el basalto Montero se encuentra cerca de la parte superior del grupo Pucará. Además, se ha identificado un complejo anhidrita en la parte superior de la caliza Pucará. Este complejo consiste en capas de anhidrita, yeso, pizarra y cal, que se encuentran sobre las rocas volcánicas de la formación Catalina. En cuanto a las fallas, se han identificado dos fallas inversas longitudinales en el Distrito Morococha. La primera es la falla Gertrudis, que se encuentra en el flanco occidental del anticlinal y atraviesa el proyecto. La segunda es la falla Potosí, que se encuentra en el flanco oriental del anticlinal.

Figura 13. Columna Estratigráfica del Distrito de Morococha



Fuente: Área de Geología de Minera Chinalco

1.9.4. Tipo de Yacimiento

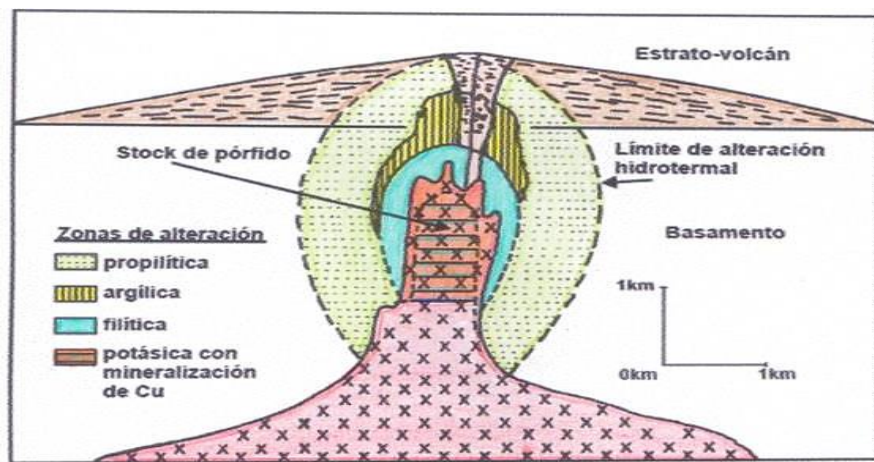
Es un yacimiento de Pórfido de Cobre y Molibdeno, y asimismo presenta Skarn de Cobre, Zn, Plomo, y Plata.

1.9.4.1. Genesis del Yacimiento

El proyecto Morococha se caracteriza por tener las características comunes de los yacimientos porfíricos de cobre, con disseminaciones de baja ley. El yacimiento Toromocho,

ubicado en el distrito de Morococha, es un pórfido de cobre que forma un centro de rocas de tipo skarn y brechas asociadas con una historia de mineralización, alteración e intrusiones porfiríticas y de granodiorita de aproximadamente 7 millones de años. Todos los yacimientos en este distrito son epigenéticos, formados en rocas preexistentes. El distrito de Morococha está compuesto por una serie de sedimentos plegados del Paleozoico y Mesozoico que han sido invadidos por múltiples rocas intrusivas. Estas rocas intrusivas prepararon el área para la mineralización y sirvieron como fuente para la mineralización hidrotermal. Los sedimentos en las áreas cercanas al depósito son principalmente calcáreos, y aquellos en proximidad de las rocas intrusivas han experimentado alteración local formando skarns y hornfels. Por lo tanto, la mineralización se ha producido en rocas de tipo skarn, las afectadas por metamorfismo de contacto (hornfels) y en las unidades intrusivas.

Figura 14. Génesis del Yacimiento



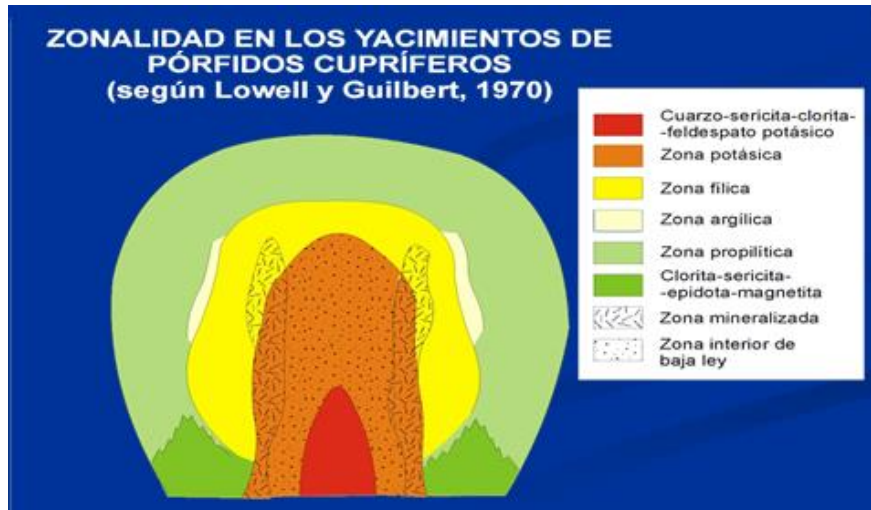
Fuente: Área de Geología de Minera Chinalco

El proceso de alteración se lleva a cabo de la siguiente forma:

.La distribución de las alteraciones hidrotermales es concéntrica, con la alteración potásica en el centro (compuesta por cuarzo, feldespato potásico, biotita y pirita), seguida de

la alteración filica (compuesta por cuarzo y sericita) y finalmente una zona de alteración propilítica (compuesta por epidota, clorita, calcita y pirita). Además, se forman cuerpos de skarn (compuestos por anfíboles, cloritas y granate, y hornfels de diópsido, granate y brucita) que se asemejan a techos colgantes.

Figura 13. Zonalidades del Yacimiento



Fuente: Área de Geología de Minera Chinalco

El conjunto de rocas intrusivas (diorita, granodiorita, monzonita cuarcífera y pórfido cuarcífero) del Terciario, así como las calizas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico), forman la roca huésped del pórfido de cobre.

- El skarn de cobre se encuentra asociado a magmas calcoalcalinos, en particular a stocks y pórfidos de granodiorita/dacita y cuarzos monzoníticos.
- Los skarns de cobre se encuentran cerca o en contacto con el cuerpo intrusivo. También se observa una alta concentración de magnetita-hematita, lo que sugiere un entorno oxidante.

- Los minerales sulfurosos comunes incluyen la pirita, la calcopirita y en menor medida la bornita y la esfalerita, lo que sugiere un nivel moderado de contenido de azufre.

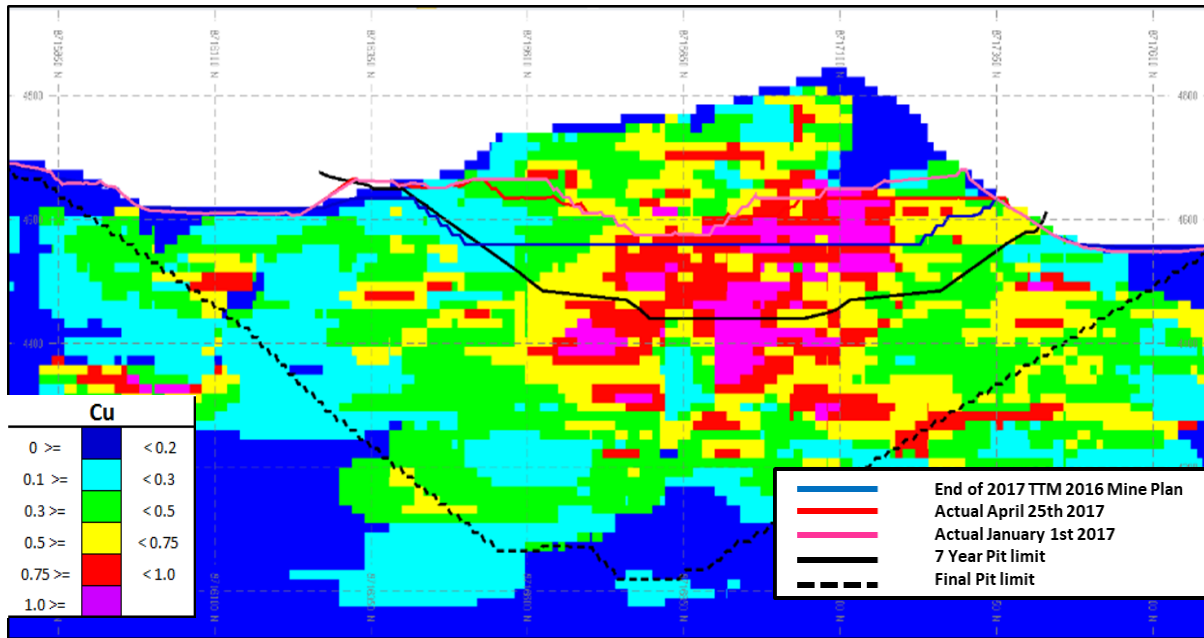
El depósito de este yacimiento está relacionado con el pórfido cuprífero de Toromocho, lo que resulta en grandes volúmenes de mineral. Estos depósitos se formaron a temperaturas que oscilaron entre 500° y 300° C. En el caso del skarn de cobre asociado a un sistema de pórfido cuprífero, existe una relación entre los eventos de alteración metasomática del skarn y la evolución de la alteración del pórfido. La alteración progresiva del skarn está relacionada con la alteración potásica y presenta una zonificación con respecto al núcleo potásico. A medida que el sistema de pórfido cuprífero evoluciona, se produce el colapso del sistema hidrotermal, lo que resulta en la alteración fílica en el pórfido y la alteración retrograda en el skarn. Esta alteración retrograda se superpone a la alteración progresiva y es altamente destructiva. Se caracteriza por la presencia de tremolita-actinolita, smectita, siderita, calcita, talco, epidota, clorita, junto con óxidos y/o sulfuros de hierro.

1.9.4.2.Mineralización.

La mineralización relacionada con el pórfido consiste en: calcopirita, pirita, bornita, molibdenita; skarn, calcopirita, pirita, esfalerita, galena, enargita; en vetas: galena, esfalerita, tetraedrita. Como minerales secundarios y en zona de oxidación: covellita, calcosita, cobre natural, crisocol, malaquita. Esta mineralización se depositó en las calizas del Jurásico de la Formación Pucará con intrusiones del Terciario que incluyen dioritas, granodioritas, cuarzos, monsonitas y pórfidos de cuarzo. Gran parte del metamorfismo está relacionado con la actividad corporal intrusiva, y hay extensos cuerpos de skarn, incluidos tactitas y cuerpos de hornblenda. Las brechas hidrotermales e intrusivas son las rocas que albergan gran parte de la mineralización de cobre. La zona de metalicidad está bien desarrollada, con una zona central de cobre-

molibdeno diseminado rodeado por un anillo de plomo-zinc casi completo, en su mayoría como depósitos de vetas, pero que contienen posibles bloques de cuerpos de zinc diseminados. Esta zona está rodeada por un depósito de plomo y plata.

Figura 154. Mapeo de zonas de concentración de Metal cuprífero



Fuente: Área de Geología de Minera Chinalco

1.10. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES MINA

La cuenca denominada Morococha cuenta con mina a cielo abierto, yacimiento de mineral de baja ley y yacimiento de mineral de baja ley - sobrecarga en el suroeste, oeste y sureste, trituradora primaria, taller mecánico e infraestructura de mantenimiento, depósito de combustible, edificio de administración, captación de terrenos. zona, vías de transporte y vías de acceso. Además, la cuenca de Marococha incluye instalaciones mineras actuales y restos asociados a las operaciones de Compañía Minera Argentum y Minera Austria Duvaz (entre otras operaciones mineras históricas) y el pueblo de Morococha.

1.10.1. Equipos utilizados en Tajo

1.10.1.1. Perforadoras

- ***Atlas Copco Pit Viper 351 - Drill***

Profundidad de perforación: 19.8 m (en un pase)

Diámetro de perforación: 12 ¼”

Potencia: 1400 HP

Peso: 204 ton.

Figura 16. *Pit Viper 351*



Fuente: Propia

- ***Caterpillar MD6640 - Drill***

Profundidad de perforación: De 18,3 m a 21,3 m (de 60' a 70')

Diámetro de perforación: De 244 mm a 406 mm (de 9,6" a 16")

Potencia: 600 HP

Peso: 154 ton

Figura 17. *Perforadora MD6640*



Fuente: Propia

1.10.1.2. Camiones Mineros

- ***CAT 797F - Trucks***

Capacidad: 363 Ton

Potencia: 4000 HP

Peso: 624 ton (cargado)

Figura 18. *Camion Minero 797F*



Fuente: Propia

1.10.1.3. Cargadores frontales, palas eléctricas y equipos auxiliares:

Letourneau.- La cargadora de ruedas más grande del mundo, con una potencia de 2300 HP (1715 KW), la L-2350 ofrece una capacidad operativa estándar de 160 000 lb (72 574 kg) y capacidades de cucharón equivalentes de 53 yd³ a 40,52 m³. Su gran altura de carga asegura un centro de carga para camiones con capacidades de 320 a 400 toneladas

- ***Letourneau 2350 - Loader***

Capacidad de cuchara: 53 yd³

Potencia: 2300 HP

Peso: 267 ton.

Figura 19. *Cargador Letourneau*



Fuente: Propia

- ***Caterpillar 992K - Loader***

Capacidad de cuchara: 16 yd³

Potencia: 900 HP

Peso: 99 ton.

Figura 20. *Cargador Frontal 992K*



Fuente: Propia

- ***CAT 7495 – Pala Eléctrica***

Capacidad de cuchara: (1)62 yd³ y (2)73 yd³ (100 ton), Altura: 20.72 m, Peso: 1,365 ton

Las palas de eléctricas han desempeñado con éxito trabajos de movimiento de material en minas de todo el mundo, al ser estas palas, eléctricas, tienen un costo por tonelada movida aceptable a comparación de otros tipos de carguío. En Toromocho se cuenta con 3 hasta la fecha, pensando comprar más para la expansión. En relación a la cantidad de equipos de acarreo se tiene una eficiencia óptima para no generar colas y tener el mayor tiempo posible a estas máquinas trabajando.

Figura 21. *Fotografía del tesista junto a la Pala 7495*



Fuente: Propia

1.11. PROCESOS UNITARIOS OPERACIONES MINA

1.11.1. Perforación:

En MCP se realiza la perforación con máquinas eléctricas Pit Viper y Caterpillar para realizar taladros de producción, con diámetro de Broca de 12 ¼”, así como maquinas Roc – L8 y DM – 45 para realizar taladros de Buffer y pre-corte, con diámetros de Broca de 5”, con alturas de taladros de 15 metros adicionando 3 metros de sobre-perforación.

Figura 22. *Fotografía de la Perforadora Pit Viper en la Zona Norte del Tajo Toromocho*



Fuente: Propia

Figura 23. *Taladro de Precorte*



Fuente: Propia

1.11.2. Voladura:

Una vez culminado el proceso de perforación se empieza a cargar los taladros perforados con material explosivo. En Minera Chinalco Perú se hace el carguío de los taladros de producción con Quantex (una mezcla explosiva que consta de emulsión al 70 %, 28% de Nitrato de Amonio y 2% de Diesel con Nitrito de Sodio), y los taladros de pre-corte se cargan con cartuchos exaline. Para la iniciación se amarran los cordones eléctricos o pirotécnicos a los booster y fulminante respectivamente los cuales se amarran con conectores electrónicos. Las voladuras que se realizan

son electrónicas con el backup pirotécnico que se puede realizar si el tiro se corta. La iniciación se realiza de manera remota mediante el Bench Box. Todo el proceso de voladura lo realiza la contratista EXSA.

Figura 24. *Camión de Carguío de Explosivo Quantex*



Fuente: Propia

1.11.3. Carguío:

El carguío del material del tajo se efectuará mediante el uso de tres palas de cable eléctricas, (1 de 62 yd³ y 2 de 73 yd³), también se cuenta con 2 Leatornou (53 yd³) y 1 Cargador 992K (16 yd³) que realizan el carguío de mineral en mina o en los stocks de mineral.

La distribución de los mismos está evaluada por el área de planeamiento mina para llegar a la producción diaria requerida que sería a 315,000 ton entre mineral y desmonte.

Figura 25. *Carguío a Camión 797F*



Fuente: Propia

2.1.1. Acarreo:

El acarreo de material a la chancadora primaria, a los botaderos o a los stocks se realizan con 29 camiones 797F de 371 ton de capacidad y 6 camiones 777F/G de 100 ton de capacidad; el transporte de estos equipos se hace por las distintas rampas de acceso que se tiene, por lo que se debe tener un buen mantenimiento de vías con las motoniveladoras (para no generar cortes en los neumáticos) y con las cisternas de agua (para no generar polvo).

Figura 26. *Desplazamiento de Camiones Mineros en Rampa Noreste*



Fuente: Propia

ANEXO 2

SUBSIDENCIAS ANTES DEL PRESENTE ESTUDIO

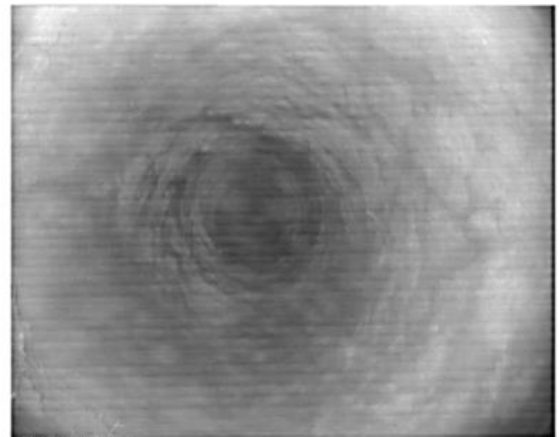
RIESGO GEOTECNICO:

SUBSIDENCIAS DE TERRENO OCURRIDO EN MCP 2018

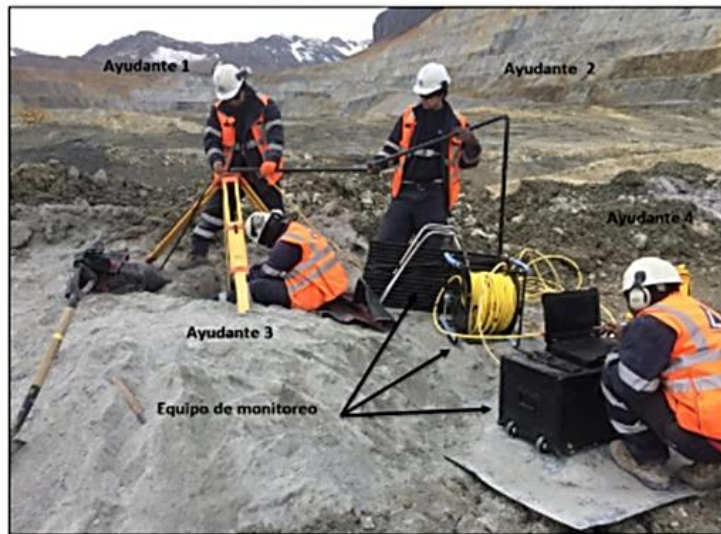


ANEXO 3

PROCEDIMIENTO EN CAMPO DE DETECCIÓN DE SUBSIDENCIAS

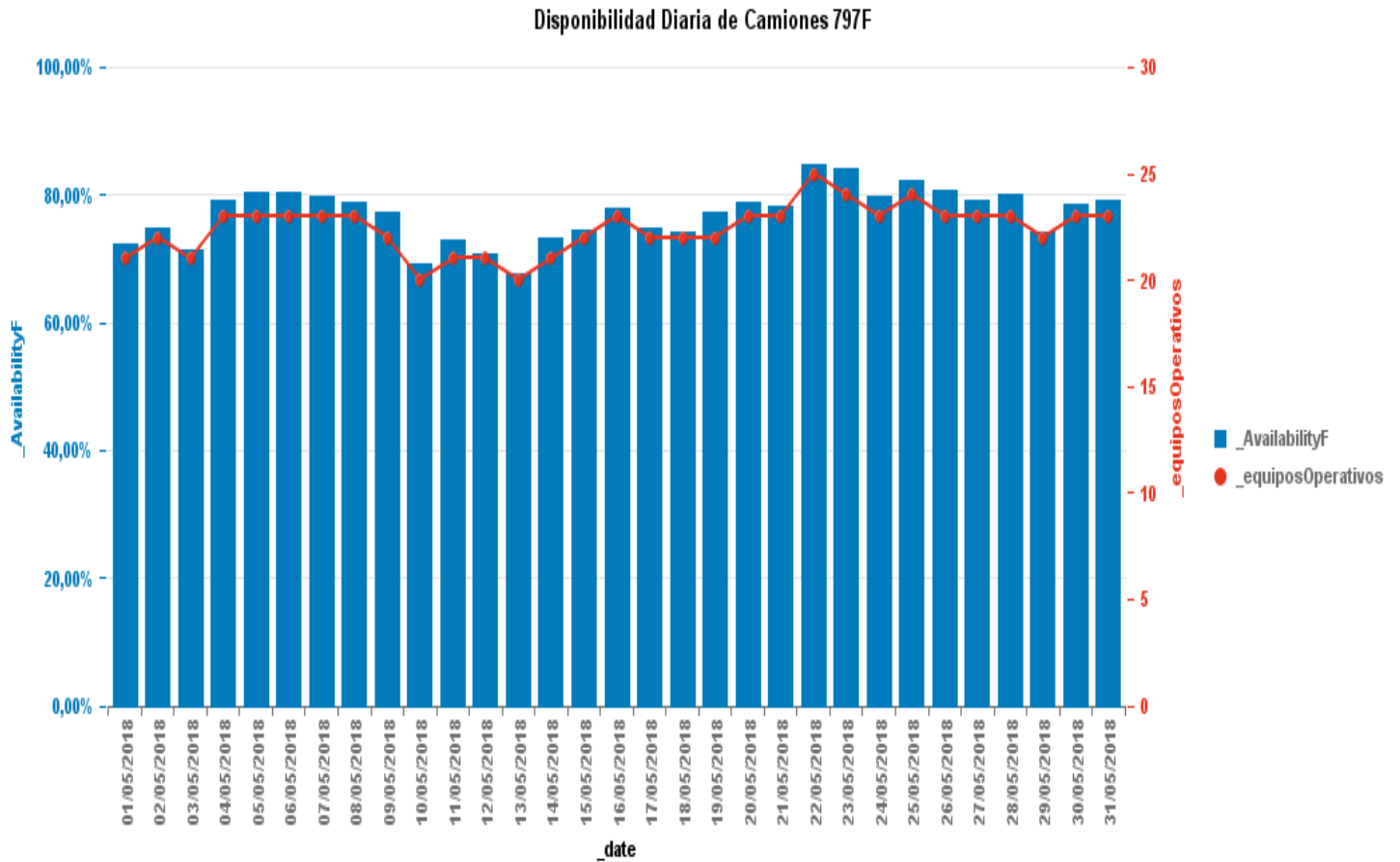


C-ALS Cavity Scanner
BC 4650 TAL 125 - Deployed Depth: 3m - Time: 01/30/2017 12:23:20



ANEXO 4

GRÁFICO DE DISPONIBILIDAD DIARIA DE CAMIONES



ANEXO 5

TABLA DE TIEMPOS DE EQUIPOS

Mina		Total Time	Operating Time	Effective Time	Ocurrencia de Subsidiencias	Total Down Time	Stand By	Delays	Failure Events	Down Events	Hang Time	Queue Time	Cycle Time	Loading Count	Payload	Loading Duration
Perforadora AtlasCopco PV-351	3	2232.0156	1820.368056	1462.397222	159.526111	167.094722	244.552778	357.97083	51	73			133920.9333			
Cargador LT 2350	2	1488	1031.110278	896.703333	227.520556	227.719167	229.170556	134.40694	44	75	24258.033		89280	5289	1968748.9	445.4305556
Pala CAT 7495	3	2232	1907.805278	1631.391389	293.436944	294.295556	29.8991667	276.41389	93	168	37476.083		133920	23482	8668510.4	864.5058333
Camion CAT 797F	29	21576	15664.04778	13578.80333	4788.377222	4963.2925	948.659722	2085.2444	475	661		18098.483	1294560	29066	10868246.8	1305.795833
Perforadora AtlasCopco ROC L-8	1	744	452.424444	450.104444	60.2625	60.2625	231.313056	2.32	10	10			44640			
Rodillo CAT CS76X	1	744	78.08305556	78.08305556	176.661111	176.661111	489.255833	0	0	2			44640			
Cisterna CAT 777F WT	1	744	426.458333	389.398611	80.6627778	80.662778	236.878889	37.059722	18	18			44640			
Cisterna CAT 777G WT	2	1488	909.697778	867.131667	225.965	225.965	352.337222	42.566111	29	32			89280			
Motoniveladora CAT 24M	4	2976	1184.698889	1032.446111	1679.235833	1679.33083	111.970278	152.25278	23	41			178560			
Tractor de Orugas CAT D10T	3	2232	1364.556389	1166.490556	285.256944	285.256944	582.186667	198.06583	14	26			133920			
Tractor de Ruedas CAT 854K	4	2976	1265.814722	1164.551667	986.9	1671.84972	38.3355556	101.26306	15	27			178560			
Tractor de Orugas CAT D11T	3	2232	1511.478611	1263.005	266.1991667	266.375833	454.145556	248.47361	13	33			133920			
Rodillo CAT CS56	1	744	186.3713889	180.1263889	288.111944	288.111944	269.516667	6.245	0	6			44640			

ANEXO 6

MATRIZ DE CONSISTENCIA

SUBSIDENCIAS Y SU IMPLICANCIA EN EL PROCESO OPERATIVO EN EL TAJO TOROMOCHO. MINERA CHINALCO PERÚ – REGIÓN JUNIN -EN EL PERIODO 2019-2020.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	VARIABLES	INDICADORES
A.-PROBLEMA GENERAL	A.- OBJETIVO GENERAL	A.- HIPOTESIS GENERAL	INDEPENDIENTE:	
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son las implicancias de las subsidencias que se genera en el proceso operativo en el tajo toromocho durante el periodo 2019-2020? 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar las implicancias que se genera ante la presencia de subsidencias en el proceso operativo del tajo toromocho en el periodo 2019-2020. 	<ul style="list-style-type: none"> “Las subsidencias que se genera en el tajo toromocho produjo disminución de los indicadores de gestión (Kpis) del proceso operativo”. 	<ul style="list-style-type: none"> Subsidencias 	<ul style="list-style-type: none"> Historial de ocurrencia de labores subterráneas. Parámetros y procedimientos geotécnicos de las subsidencias
B.- PROBLEMAS ESPECÍFICOS	B.- OBJETIVOS ESPECIFICOS	B. HIPOTESIS ESPECÍFICAS	DEPENDIENTE:	
¿Cómo mejorar la predicción de detección de subsidencias durante las operaciones mineras en el tajo Toromocho de minera Chinalco?	Identificar los parámetros de detección de subsidencias para su adecuada predicción durante las operaciones mineras en el tajo toromocho.	La identificación de parámetros geotécnicos permitió mejorar la predicción de ocurrencia de subsidencias	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores de Gestión (KPIs) del Proceso Operativo 	<ul style="list-style-type: none"> Tiempos Muertos (Hr) Número de equipos paralizados Reducción de la producción (Ton) Demoras Operativas
¿ De qué manera influye la gestión de perforaciones profundas para detectar labores subterráneas?	Determinar la influencia de las perforaciones profundas para detectar labores subterráneas	Una gestión adecuada de perforaciones profundas permitió saber las dimensiones y localización de las labores subterráneas.		
¿ Que acciones inmediatas se debe tomar ante la presencia de subsidencias?	Determinar las acciones inmediatas a tomar ante la presencia de subsidencias	La implementación de medidas correctivas permitió reducir riesgos ante la presencia eventual de subsidencias en el tajo Toromocho.		