

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Trabajo de Suficiencia Profesional

Aplicación de técnicas de geotecnia e hidrología en operaciones mineras: experiencia en minera Chinalco Perú S. A.

Raul Arnold Cipriano Solis

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2025

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Miguel Angel Pinado Santos
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 21 de Octubre de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Aplicación de Técnicas de Geotecnia e Hidrología en Operaciones Mineras: Experiencia en Minera Chinalco Perú S. A.

Autor:

Raul Arnold Cipriano Solis – Carrera profesional Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 6 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 20 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimiento	iv
Dedicatoria	v
Índice de contenidos.....	vi
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas.....	xi
Resumen ejecutivo	xii
Introducción	xiii
Capítulo I.....	15
Aspectos generales de la empresa	15
1.1. Datos generales de la institución.....	15
1.2. Actividades principales de la empresa	15
1.3. Reseña histórica de la empresa.....	15
1.4. Organigrama de la empresa.....	17
1.5. Visión, misión, valores de la empresa	17
1.6. Bases legales o documentos administrativos	18
1.6.1. Documentos internos	18
1.6.2. Normativa Nacional.....	19
1.6.3. Normativa internacional.....	19
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales	20
1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa.....	20
Capítulo II	23
Aspectos generales de las actividades profesionales	23
2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional.....	23
2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional	24
2.3. Objetivos de la actividad profesional	25
2.4. Justificación de la actividad profesional	25
2.5. Resultados esperados	27
Capítulo III.....	29
Marco teórico	29
3.1. Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas	29
3.1.1. Geotecnia	29
3.1.1.1. Factor de seguridad en taludes	29
3.1.1.2. Tipos de taludes y modos de falla.....	30
3.1.1.3. Métodos de análisis de estabilidad	31
3.1.1.4. Influencia del agua y cargas sísmicas.....	31

3.1.1.5. Medidas de Estabilización de Taludes	32
3.1.1.6. Monitoreo con radar	32
3.1.1.7. Funcionamiento del radar geotécnico	32
3.1.1.8. Tipos de Radar Geotécnico	33
3.1.1.9. Errores y correcciones en radares geotécnicos	33
3.1.1.10. Interpretación de datos	34
3.1.2. Hidrología	35
3.1.2.1. Relación entre Precipitación y Escorrentía	35
3.1.2.2. Tránsito de avenidas	35
3.1.2.3. Simulación de caudales en computadoras	36
3.1.2.4. Probabilidad en hidrología: una base para el diseño	36
3.1.2.5. Sedimentación	37
3.1.2.6. Bombas hidráulicas	37
3.1.2.7. Curvas características de una bomba	38
3.1.3. Subsidiencias	39
3.1.3.1. Causas de la subsidencia en minería	39
3.1.3.2. Tipos de subsidencia	39
3.1.3.3. Métodos de evaluación y monitoreo de la subsidencia	40
3.1.3.4. Impactos de la subsidencia en minería	40
3.1.3.5. Estrategias de mitigación y control	41
3.1.4. Instrumentación geotécnica	41
3.1.4.1. Prismas de monitoreo	41
3.1.4.2. Inclínómetros	42
3.1.4.3. Sistema Time Domain Reflectometry (TDR)	42
3.1.4.4. Piezómetros	43
3.1.4.5. Interpretación de datos en instrumentación geotécnica	44
3.1.5. Proyectos en minería	44
Capítulo IV	46
Descripción de las actividades profesionales	46
4.1. Descripción de actividades profesionales	46
4.1.1. Enfoque de las actividades profesionales	46
4.1.2. Alcance de las actividades profesionales	49
4.1.3. Entregables de las actividades profesionales	59
4.2. Aspectos técnicos de la actividad profesional	64
4.2.1. Metodologías	64
4.2.2. Técnicas	69
4.2.3. Equipos e instrumentos utilizados en el desarrollo de las actividades	72

4.2.4. Softwares utilizados para el desarrollo de las actividades	74
4.3. Ejecución de las actividades profesionales	75
4.3.1. Cronograma de actividades realizadas.....	75
4.3.2. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales	80
4.3.3. Flujograma de actividades	84
Capítulo V	87
Resultados.....	87
5.1. Resultados finales de las actividades realizadas.....	87
5.2. Logros alcanzados.....	126
5.3. Dificultades encontradas	127
5.4. Planteamiento de mejoras	128
5.4.1. Metodologías propuestas	130
5.4.2. Descripción de la implementación.....	131
5.5. Análisis.....	134
5.6. Aporte del bachiller en la empresa o institución	136
Conclusiones	140
Recomendaciones	142
Referencias.....	143
Anexos	145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Línea de tiempo de desarrollo de empresa Chinalco Perú S. A.(1)	16
Figura 2. Organigrama de la Minera Chinalco Perú S. A. (6).....	17
Figura 3. Zona de delimitación espacial de trabajo	54
Figura 4. Tajo y Tuctu.....	55
Figura 5. Planta de tratamiento de agua Kingsmill.....	56
Figura 6. Delimitación jerárquica	57
Figura 7. Delimitación jerárquica	58
Figura 8. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales.....	83
Figura 9. Flujograma de actividades	86
Figura 10. Recuperación de prismas	87
Figura 11. Instalación de primas	88
Figura 12. Reporte de monitoreo de radar	88
Figura 13. Reporte de monitoreo de prismas	89
Figura 14. Mapa de riesgos geotécnicos	89
Figura 15. Mapa de riesgos de subsidencia.....	90
Figura 16. Reporte de inspección de vacíos.....	91
Figura 17. Gráficos de ROP de las perforaciones	91
Figura 18. Base de datos de estación meteorológica	92
Figura 19. Base de datos de piezómetros.....	93
Figura 20. Trabajos de campo de Geotecnia.....	94
Figura 21. Trabajos de campo de Hidrología.....	94
Figura 22. Estado de poza C	95
Figura 23. Registro de perforación	95
Figura 24. Formato de control crítico	96
Figura 25. Malla de proyecto exploratorio.....	97
Figura 26. Dibujo de conexión entre labores	97
Figura 27. Registro de niveles de pozas A, C, S1, S2 Y Contingencia	98
Figura 28. Reporte de marcado de puntos exploratorios	98
Figura 29. Mapa de drenaje de la operación	99
Figura 30. Evaluación de bomba Mody en Excel	100
Figura 31. Reporte de trabajo de bomba Mody	100
Figura 32. Reporte evaluación de bomba Tsurumi	101
Figura 33. Pique central escaneado con Cal-s.....	102
Figura 34. Fotogrametría generada pared este	102
Figura 35. Envío de equipos para su calibración	103

Figura 36. Limpieza de container de materiales de geotecnia	104
Figura 37. Base de datos consolidada de parámetros de planta y mina	105
Figura 38. Reporte parte 1	105
Figura 39. Reporte parte 2	106
Figura 40. Reporte parte 3	107
Figura 41. Reporte parte 4	108
Figura 42. Reporte parte 5	109
Figura 43. Reporte parte 6	110
Figura 44. Reporte trimestral de monitoreo geotécnico.....	111
Figura 45. Medición de pH con papel tornasol.....	112
Figura 46. Propuesta de captación de agua en laguna Churruca.....	112
Figura 47. Propuesta de drenaje en zona del stock 17	113
Figura 48. Propuesta de optimización en proyecto de construcción de pozas 1, 3 y B	114
Figura 49. PETS en desarrollo de Inspección con dron.....	115
Figura 50. Fotografía tomada con dron.....	116
Figura 51. Reporte de trabajo de campo usando fotografía de dron	116
Figura 52. Zona a conciliar	117
Figura 53. Evaluación de Factor de condición.....	117
Figura 54. Evaluación de Factor de diseño.....	118
Figura 55. Conclusiones y recomendaciones de conciliación.....	118
Figura 56. Reposicionamiento de radar	119
Figura 57. PPT con mapeo geotécnico.....	120
Figura 58. Inspección al pique central	121
Figura 59. Fotografía interior de pique	121
Figura 60. Reporte de reconocimiento de pique central	122
Figura 61. Reporte alerta de evento geotécnico.....	123
Figura 62. Conciliación de labores	123
Figura 63. Conclusión de conciliación de labores	124
Figura 64. Código desarrollado en lenguaje de programación R.....	125
Figura 65. Interfaz del código	125

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Experiencia adicional luego de egreso	48
Tabla 2. Alcance de actividades	49
Tabla 3. Entregables de actividades	59
Tabla 4. Entregables de experiencia adicional luego de egreso	64
Tabla 5. Metodologías aplicadas en las actividades.....	65
Tabla 6. Técnicas de las actividades	69
Tabla 7. Equipos utilizados	72
Tabla 8. Softwares utilizados	74
Tabla 9. Cronograma de actividades	75

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de suficiencia profesional tuvo como objetivo la aplicación de técnicas de geotecnia e hidrología en el entorno operativo de Minera Chinalco Perú S. A., durante el periodo de desarrollo, se ejecutaron actividades en las áreas de geotecnia, hidrología y subsidencias, enfocadas en mejorar la estabilidad de taludes, manejo del recurso hídrico y monitorear condiciones críticas del terreno.

Se emplearon metodologías como el monitoreo geotécnico con radares interferométricos, análisis hidrológicos, mapeo geomecánico, uso de *software* especializado (*Slide*, *Minesight*, AutoCAD, Civil 3D, etc.), además de la recopilación de datos con equipos topográficos, meteorológicos e instrumentación geotécnica.

Se usaron equipos tecnológicos como la cámara de inspección de vacíos y escáner laser Cal-s, para la identificación de vacíos y su geometría dando parámetros de tamaño, forma y proyección, también se usó drones para fotogrametría e inspección de actividades de campo.

Dentro de los principales hallazgos están la identificación DE vacíos con ocurrencia del 90 % en Fase 5 del tajo, asociadas a labores antiguas como Minerva, Vulcano, Rectificadora y SF Gertrudis producto de la minería subterránea anterior, por otro lado, está el análisis realizado entre datos del drenaje de mina y planta de tratamiento *Kingsmill*.

Como logros relevantes están el desarrollo de un código desarrollado en R que permite el análisis semiautomatizado para la detección de vacíos, por otro lado, se realizó el dibujo de un mapa tridimensional de las conexiones de estructuras de minería antigua (piques) como alternativa de contingencia para el drenaje de la operación.

Palabras claves: geotecnia, hidrología, minería, monitoreo geotécnico, subsidencias