

**APOYO TÉCNICO EN EL CONTROL FÍSICO DE OBRAS CIVILES Y
SEGUIMIENTO AMBIENTAL DE AGROCOAL S.A.S.**

JOSSIE ESTEBAN BELLO ESTUPIÑÁN

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TUNJA
2018**

**APOYO TÉCNICO EN EL CONTROL FÍSICO DE OBRAS CIVILES Y
SEGUIMIENTO AMBIENTAL DE AGROCOAL S.A.S.**

JOSSIE ESTEBAN BELLO ESTUPIÑÁN

**Informe Final en la Modalidad de Pasantía, para optar por el título de
Ingeniero Civil**

Director

HAROLD ALEXANDER ÁLVAREZ CASTAÑEDA

MSc. Ingeniero Civil, Docente

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

TUNJA

2018

FIRMAS DE TUTOR Y JURADOS

ING. HAROLD A. ÁLVAREZ
Tutor

Jurado 1

Jurado 2

Tunja, 16 de Abril del 2018

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto en primer lugar a Dios, a mis padres, a la Universidad Santo Tomás y finalmente a Agrocoal S.A.S. precursores del cumplimiento de mi objetivo profesional.

A Dios por brindarme la compañía incondicional y el valor necesario para seguir adelante en mis propósitos profesionales, por fortalecer mi corazón perseverante e iluminar mi mente con la sapiencia suficiente para superar cualquier adversidad.

A mis padres por su apoyo incondicional, la motivación constante y el consejo sabio y oportuno que constituyen el pilar fundamental, cimiento de lo que soy y lo que ofrezco; a ellos dedico cada día de esfuerzo.

A la Universidad Santo Tomás por aportar con su formación integral al desarrollo profesional eficiente de sus educandos y fomentar el amor y pasión por la profesión que represento.

A Agrocoal SAS y su departamento técnico por brindarme el apoyo fundamental en la ejecución práctica de mis conocimientos y concederme la oportunidad de aplicar mi formación profesional en pro de su desarrollo organizacional.

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar el desarrollo del arduo proceso de formación profesional, concluí que el aporte técnico generado en la práctica, tiene el mérito propio muy ganado, sin embargo, ese tan anhelado mérito no hubiese sido posible sin el apoyo y participación de personas e instituciones que forjaron lo que ahora concluye en feliz término. Por ello, me es pertinente y justo, el uso de este espacio para expresar mis fraternos agradecimientos.

A mi familia, infinita y sentida gratitud por el apoyo total y desinteresado desde sus esfuerzos, siempre direccionados a la realización de esta meta.

A la Universidad Santo Tomás, por el enfoque integral impartido en los 5 años de gestación académica, colmados de mucho conocimiento.

A Agrocoal SAS, por el firme acompañamiento en el proceso de práctica profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 OBJETIVO GENERAL	2
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
3. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE DESARROLLO DEL PROYECTO.....	3
3.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO	3
3.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS	6
4.1 OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y DRENAJE EN DESLIZAMIENTO	6
4.1.1 Planeación	7
4.1.2 Desarrollo de Parámetros Técnicos Preliminares	8
4.1.3 Ejecución de Obras de Estabilización y Drenaje.....	11
4.2 ESTABILIDAD FÍSICA DEL TALUD DE BOTADERO DE ESTÉRILES DEL M2	23
4.2.1 Generalidades.....	23
4.2.2 Estabilidad Física del Talud	24
4.3 ANÁLISIS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD FÍSICA DE DESLIZAMIENTO	34
4.3.1 Generalidades.....	35
4.3.2 Cobertura Geográfica y Áreas de Afectación del Deslizamiento.....	35

4.3.3 Valoración del Riesgo y Vulnerabilidad Física	36
4.3.4 Análisis de Resultados	41
4.4 APOYO A LABORES GEOTÉCNICAS DE PLANEAMIENTO MINERO	42
4.4.1 Generalidades	42
4.4.2 Localización y Vías de Acceso	42
4.4.3 Evaluación Preliminar de Geotecnia	43
4.5 VERIFICACIÓN TÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DEL SOSTENIMIENTO EN LABORES DE DESARROLLO DE TÚNEL MINERO	48
4.5.1 Presiones Mineras	49
4.6 SEGUIMIENTO TÉCNICO AL PASO DE DERRUMBE	54
4.6.1 Rendimiento de Maquinaria (Retroexcavadoras)	58
4.6.2 Tarifa Horaria de Operación	60
4.7 CARACTERIZACIÓN VIAL DE ACCESO AL CENTRO DE ACOPIO	62
4.7.1 Inspección Visual de Daños en Vía de Acceso a Centro de Acopio	62
4.8 SUPERVISIÓN A PROCESO CONSTRUCTIVO	69
4.8.1 Preliminares	70
4.8.2 Estructuras en Concreto Reforzado	72
4.8.3 Carpintería Metálica	75
4.9 REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN VIVIENDAS RURALES	77
4.9.1 Reconocimiento Estructural en Campo	78
4.9.2 Desarrollo del Reforzamiento Estructural	80
4.10 LABORES PRELIMINARES PARA PROYECTO DE VIVIENDA	87
4.10.1 Estudios Previos	88

4.11 APOYO AL DISEÑO DE PLACAS DE CONTRAPISO	89
4.11.1 Placa de Contrapiso en Punto de Material Sobrante	89
4.11.2 Placa de Contrapiso en Taller de Servicio	91
4.12 SOLICITUD DE REÚSO DEL AGUA RESIDUAL MINERA	92
4.12.1 Generalidades.....	92
4.12.2 Ubicación	92
4.12.3 Características del Proyecto	92
4.12.4 Características del Efluente Minero	93
4.12.5 Memorias Técnicas	94
4.12.6 Proyecto de Reúso del Agua Residual Minera.....	96
4.13 CONSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLA	105
4.13.1 Definición de Propiedades Geométricas de Alcantarilla.....	105
4.13.2 Supervisión de Preliminares	106
4.13.3 Supervisión de Construcción de Estructura en Concreto.....	106
4.14 CONSTRUCCIÓN DE EST. HIDRÁULICAS COMPLEMENTARIAS	107
4.14.1 Canales Perimetrales y de Coronación.....	107
4.14.2 Manejo de Combustibles y Canales Perimetrales Revestidos	108
4.15 OBRAS DE GESTIÓN AMBIENTAL	110
4.16 APOYO AL SG-SST	112
4.16.1 Seguimiento al Reglamento de Seguridad.....	112
4.16.2 Actualización de Formatos de Labores Seguras.....	113
4.16.3 Capacitaciones ARL.....	114
4.17 OTRAS ACTIVIDADES.....	114

4.17.1 Acompañamiento a Programa de Formalización Minera	114
4.17.2 Representación en Eventos Oficiales	115
5. APORTES DEL TRABAJO	116
5.1 APORTES COGNITIVOS	116
5.1.1 Componente Geotécnico	116
5.1.2 Componente Estructural	116
5.1.3 Componente Hidráulico.....	116
5.1.4 Componente Ambiental.....	116
5.2 APORTES A LA COMUNIDAD	117
5.2.1 Componente Geotécnico	117
5.2.2 Componente Estructural	117
5.2.3 Componente Hidráulico.....	117
5.2.4 Componente Ambiental.....	117
6. IMPACTOS DEL TRABAJO REALIZADO	118
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
8. GLOSARIO	120
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
10. ANEXOS	125

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultado de monitoreo preliminar	9
Tabla 2. Dimensiones y volumetría el sistema de terrazas de banco con talud	15
Tabla 3. Factores de seguridad básicos mínimos directos	24
Tabla 4. Matriz de selección de alternativas de estabilización	28
Tabla 5. Resumen de datos del análisis con Geoslope	33
Tabla 6. Delimitación del área de extensión del deslizamiento	36
Tabla 7. Designación de los valores de influencia	37
Tabla 8. Clasificación de los factores expuestos al deslizamiento	37
Tabla 9. Clasificación de los elementos expuestos al deslizamiento	38
Tabla 10. Categorización del nivel de amenaza	39
Tabla 11. Probabilidad de ocurrencia	40
Tabla 12. Clasificación del riesgo asociado a la vulnerabilidad física	41
Tabla 13. Delimitación del área del contrato	43
Tabla 14. Espaciamiento de discontinuidades	45
Tabla 15. Rugosidad de discontinuidades	45
Tabla 16. Apertura de discontinuidades	45
Tabla 17. Datos de discontinuidades analizadas en superficie	47
Tabla 18. Constantes de Terzaghi del área de cálculo de presión mineras para minas de carbón	50

Tabla 19. Presiones mineras sobre las labores de desarrollo	52
Tabla 20. Factor de seguridad del travesaño en acero para labores de desarrollo	54
Tabla 21. Factores de rendimiento	59
Tabla 22. Factor de abundamiento	60
Tabla 23. Consumo de gasolina en galones por CF	61
Tabla 24. Inventario de verificación de daños en viviendas afectadas	78
Tabla 25. Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación	82
Tabla 26. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas	82
Tabla 27. Datos de referencia sobre adquisición de vivienda en Colombia	87
Tabla 28. Medición de caudales – Método Volumétrico	92
Tabla 29. Medición de caudales – Método Volumétrico	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases de estabilización del deslizamiento	7
Figura 2. Sistema de monitoreo	8
Figura 3. Efecto del terraceo sobre la localización del círculo crítico de falla	12
Figura 4. Criterios de diseño de terrazas	15
Figura 5. Detalle de zanjas de corona para el control de aguas superficiales	21
Figura 6. Localización en planta del talud de botadero M2	25
Figura 7. Configuración del talud de botadero M2	26
Figura 8. Diagrama de flujo base para la selección de método de estabilización	27
Figura 9. Sección transversal de composición del banqueteo de taludes	29
Figura 10. Comportamiento dinámico natural de deslizamiento	31
Figura 11. Diseño de estabilidad del talud con la ejecución del banqueteo	34
Figura 12. Áreas de carga según Terzaghi	50
Figura 13. Explicación de parámetros establecidos en el derrumbe	57
Figura 14. Detalles de placa huella	69
Figura 15. Eficiencia de los distintos sistemas de rigidización	86
Figura 16. Polígono de delimitación de área destinada para proyecto de vivienda	88
Figura 17. Estructura de placa de contrapiso	90
Figura 18. Características del sistema de riego	100
Figura 19. Implantación de red de distribución del sistema de riego agrícola	101

Figura 20. Distribución del sistema de riego para la humectación vial	103
Figura 21. Verificación en plano de labores de campo	104
Figura 22. Caracterización del área de recuperación ambiental	110
Figura 23. Lista de chequeo para la inspección de seguridad del malacate	113

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Desplazamiento de los puntos de control con respecto al punto inicial	10
Gráfico 2. Salida gráfica del resultado de análisis estático	32
Gráfico 3. Salida gráfica del resultado de análisis pseudo-estático	32

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Localización principal de las labores geotécnicas	3
Ilustración 2. Localización principal de las labores estructurales	4
Ilustración 3. Localización principal de las labores hidráulicas	5
Ilustración 4. Localización principal de las labores ambientales	5
Ilustración 5. Localización de deslizamiento y elementos vulnerables	6
Ilustración 6. Verificación del sistema de monitoreo	9
Ilustración 7. Propiedades geométricas de trincho colmatador de roca	11
Ilustración 8. Verificación de la puesta en marcha del terraceo	16
Ilustración 9. Consolidación final de la ejecución del terraceo	17
Ilustración 10. Conformación básica de revegetalización con hidrosiembra	17
Ilustración 11. Afectación de aguas lluvias al proceso de estabilización	19
Ilustración 12. Localización de afloramiento de aguas lluvias	19
Ilustración 13. Drenaje provisional de aguas superficiales	20
Ilustración 14. Alcantarilla para la disposición final del agua superficial	21
Ilustración 15. Sección transversal de zanja de coronación perimetral	22
Ilustración 16. Verificación de avance final de las obras de drenaje	23
Ilustración 17. Extensión del deslizamiento sobre elementos vulnerables	35
Ilustración 18. Toma de datos en superficie	44
Ilustración 19. Diaclasamiento típico del macizo rocoso en superficie	46

Ilustración 20. Verificación técnica de condiciones sostenimiento inestables	48
Ilustración 21. Zona crítica de derrumbe sobre avance de túnel minero	55
Ilustración 22. Levantamiento perimetral de área removida	55
Ilustración 23. Delimitación de zona de riesgo	56
Ilustración 24. Verificación de labores de excavación y retiro	57
Ilustración 25. Condiciones iniciales del estado de la vía	62
Ilustración 26. Deformaciones en vía de acceso a centro de acopio minero	63
Ilustración 27. Baches en vía de acceso a centro de acopio minero	64
Ilustración 28. Lodazal en vía de acceso a centro de acopio minero	64
Ilustración 29. Optimización de condiciones de drenaje requeridas	65
Ilustración 30. Verificación de señalización existente	66
Ilustración 31. Caracterización geométrica de la vía	67
Ilustración 32. Localización y replanteo	70
Ilustración 33. Excavación manual en material común	71
Ilustración 34. Excavación manual en material común	71
Ilustración 35. Relleno con material de afirmado compactado	72
Ilustración 36. Base en concreto pobre	73
Ilustración 37. Concreto de zapatas	73
Ilustración 37. Columnas en concreto	74
Ilustración 39. Concreto ciclópeo	74
Ilustración 40. Suministro figurada y amarre de acero	75
Ilustración 41. Estructura metálica en tubo 10-3/4" – Columna	76
Ilustración 42. Fabricación de estructura en taller	76

Ilustración 43. Conformación del comité técnico designado para la visita	77
Ilustración 44. Diagnóstico inicial del punto de disposición de material sobrante	89
Ilustración 45. Diagnóstico inicial del punto de reparación y equipo	91
Ilustración 46. Toma de muestra de agua en la entrada al STAM	93
Ilustración 47. Localización de área destinada al regadío de cultivos forestales	97
Ilustración 48. Localización de área destinada a la humectación vial	102
Ilustración 49. Condiciones de diagnóstico para la construcción de alcantarilla	105
Ilustración 50. Caracterización técnica del trazado de alcantarilla	106
Ilustración 51. Supervisión técnica de labores de construcción	107
Ilustración 52. Trazado y excavación de canales perimetrales y de coronación	108
Ilustración 53. Construcción de placa de soporte y sist. de drenaje del malacate	109
Ilustración 54. Construcción de canal revestido y trampa de grasas	109
Ilustración 55. Preparación de área de recuperación ambiental	111
Ilustración 56. Recuperación ambiental del área de botadero	111
Ilustración 57. Seguimiento al control operativo del reglamento de seguridad	112

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Área de corte y relleno	14
Ecuación 2. Volumen total de corte por terraza	14
Ecuación 3. Número de terrazas	14
Ecuación 4. Volumen total de corte para el sistema de terrazas	14
Ecuación 5. Coeficiente de influencia para la amenaza	38
Ecuación 6. Coeficiente de influencia para la vulnerabilidad	38
Ecuación 7. Indicador de amenaza	39
Ecuación 8. Riesgo asociado a la vulnerabilidad física	40
Ecuación 9. Área vertical	51
Ecuación 10. Área vertical sobre la pared lateral del túnel	52
Ecuación 11. Área lateral	52
Ecuación 12. Presión minera vertical puntual	52
Ecuación 13. Presión minera vertical sobre unidad de longitud	52
Ecuación 14. Presión minera vertical específica o sobre área	52
Ecuación 15. Presión minera lateral	52
Ecuación 16. Factor de abundamiento	59
Ecuación 17. Rendimiento de retroexcavadora	60
Ecuación 18. Factor de consumo	61
Ecuación 19. Espectro de diseño	83

RESUMEN

El presente documento es el resultado de la pasantía realizada en Agrocoal SAS, donde se desempeñaron labores operativas propias de la ingeniería civil, siendo éstas desarrolladas a partir de actividades como la supervisión de obra y procesos constructivos, el apoyo técnico a diseños estructurales requeridos, la determinación de rendimientos y costos de operación de maquinaria y equipo en trabajos de remoción de material, el aporte conceptual al Sistema Integrado de Gestión, la elaboración de cantidades de obra y presupuestos, la realización de informes como respuesta a requerimientos oficiales y otras funciones más que se detallarán en el desarrollo del informe.

El contenido esencial del informe, incluye una descripción detallada de todos los procesos que involucraron la implementación práctica de conocimientos profesionales en el inicio, puesta en marcha y fin de la pasantía, indicando así, la contribución realizada en pro del desarrollo constructivo de la empresa en condición de pasante.

PALABRAS CLAVE: Supervisión, Obra, Estructuras, Maquinaria, Presupuestos.

ABSTRACT

This document is the result of the internship carried out in Agrocoal SAS, where they performed operational tasks of civil engineering, being developed from activities such as supervision of work and constructive processes, support Technical to required structural designs, the determination of performance and operating costs of machinery and equipment in material removal work, the conceptual contribution to the integrated management system, the elaboration of work quantities and budgets, the Carrying out reports in response to official requirements and other functions that will be detailed in the development of the report.

The essential content of the report includes a detailed description of all the processes involved in the practical implementation of professional knowledge at the beginning, start-up and end of the internship, thus indicating the contribution made in pro of the constructive development of the company in the condition of intern.

KEY WORDS: Supervision, Work, Structures, Machinery, Budgets.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto de grado en modalidad de pasantía, constituye esencialmente el espacio propicio para finalizar el proceso de formación profesional de forma óptima, permitiendo la aplicación práctica, integrada y selectiva de los fundamentos técnicos adquiridos en el pregrado, soportados principalmente en los lineamientos doctrinales de la Universidad Santo Tomás que sugieren la extensión académica a la comunidad; estos principios están entonces orientados a consolidar la integralidad del estudiante desde el conocimiento teórico, hasta la interacción en el contexto laboral con actividades de carácter práctico. Es así como se genera una proyección integral de considerable importancia, a partir de los aportes realizados.

En este orden de ideas, Agrocoal SAS y las obras civiles que la infraestructura de la empresa requiere, representan una valiosa oportunidad para desarrollar el proyecto de grado, justificado en los requerimientos del departamento técnico, en donde se logra un aporte profesional a los campos de acción de las diversas ramas de la ingeniería civil, con la supervisión técnica-operativa fundamental para la materialización de los procesos de estabilización, construcción, valoración y cumplimiento ambiental necesarios.

Es así como se es designado a ser auxiliar de ingeniería para el desempeño de funciones operativas principalmente en campo. La atribución de estas labores, precede la solución de algunas de las necesidades más sentidas de la organización, en pro de la eficiencia laboral del recurso humano.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Brindar apoyo técnico como auxiliar de ingeniería para el desarrollo de los procesos de construcción civil, la supervisión técnica-operativa y el seguimiento ambiental, en calidad de pasante institucional de Agrocoal SAS.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Adelantar labores de supervisión técnica y control de avance a las obras civiles en desarrollo, que adicionalmente involucran la planeación y la formulación de recomendaciones profesionales al seguimiento realizado.
- ✚ Apoyar el desarrollo de las necesidades constructivas que requiere la operación minera de la empresa, a partir del cálculo de cantidades de obra, presupuestos, control de tiempos de ejecución y calidad de materiales.
- ✚ Realizar la optimización de los diseños estructurales existentes y apoyar la elaboración de los nuevos diseños requeridos, como previo cumplimiento a los requerimientos oficiales, regidos por la NSR-10.
- ✚ Prestar apoyo a la ejecución a implementación del Sistema Integrado de Gestión de la empresa, enfáticamente en el seguimiento al marco normativo ambiental y al reglamento interno de seguridad.

3. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

La ejecución práctica del desarrollo profesional como auxiliar ingenieril en el seguimiento, control y apoyo técnico de obras civiles, tuvo lugar en las áreas de jurisdicción legal de la empresa, ubicadas en los municipios de Socotá (Boy), Socha (Boy) y Recetor (Casanare). Es así como, los lineamientos establecidos en la dirección organizacional, preceden la necesidad de implementación de las labores técnicas, enmarcadas en el ámbito geotécnico, estructural, hidráulico y ambiental; según la prioridad de efectuación determinada por los procesos de estructuración minera.

3.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Los lugares dispuestos para la extensión académica, responden a las zonas de influencia y proyección minera que, en conjunto con las actividades complementarias de ingeniería aplicada, constituyen el principal campo de aplicación de las funciones ingenieriles.

La estabilización, caracterización y zonificación geotécnica, es aplicada enfáticamente en las zonas inconsistentes y se desarrolla principalmente en la vereda Guatatamo del municipio de Socotá (Boy), plancha 172-II-A del IGAC.

Ilustración 1. Localización principal de las labores geotécnicas.



Fuente: [Google.es/intl/es/earth/index.html](https://www.google.es/intl/es/earth/index.html)

La supervisión, verificación técnica y aportes de diseño a los procesos constructivos estructurales, son aplicados en la infraestructura fundamental para el desarrollo de las operaciones mineras y se localizan principalmente en el casco urbano del municipio de Socha (Boy) – carrera 8 No. 05-77 (Barrio Centro).

Ilustración 2. Localización principal de las labores estructurales.



Fuente: [Google.es/intl/es/earth/index.html](https://www.google.es/intl/es/earth/index.html)

El análisis, optimización y control de diseños de los requerimientos hidráulicos, son desarrollados principalmente en la vereda Los Pinos – sector El Esparto del municipio de Socotá (Boy), plancha 172-II-A del IGAC.

Ilustración 3. Localización principal de las labores hidráulicas.



Fuente: [Google.es/intl/es/earth/index.html](https://www.google.es/intl/es/earth/index.html)

El seguimiento a las medidas prevención, mitigación y compensación de los impactos ambientales generados por la operación minera, se desarrollan principalmente en la vereda el Mortiño del municipio de Socha (Boy).

Ilustración 4. Localización principal de las labores ambientales.



Fuente: [Google.es/intl/es/earth/index.html](https://www.google.es/intl/es/earth/index.html)

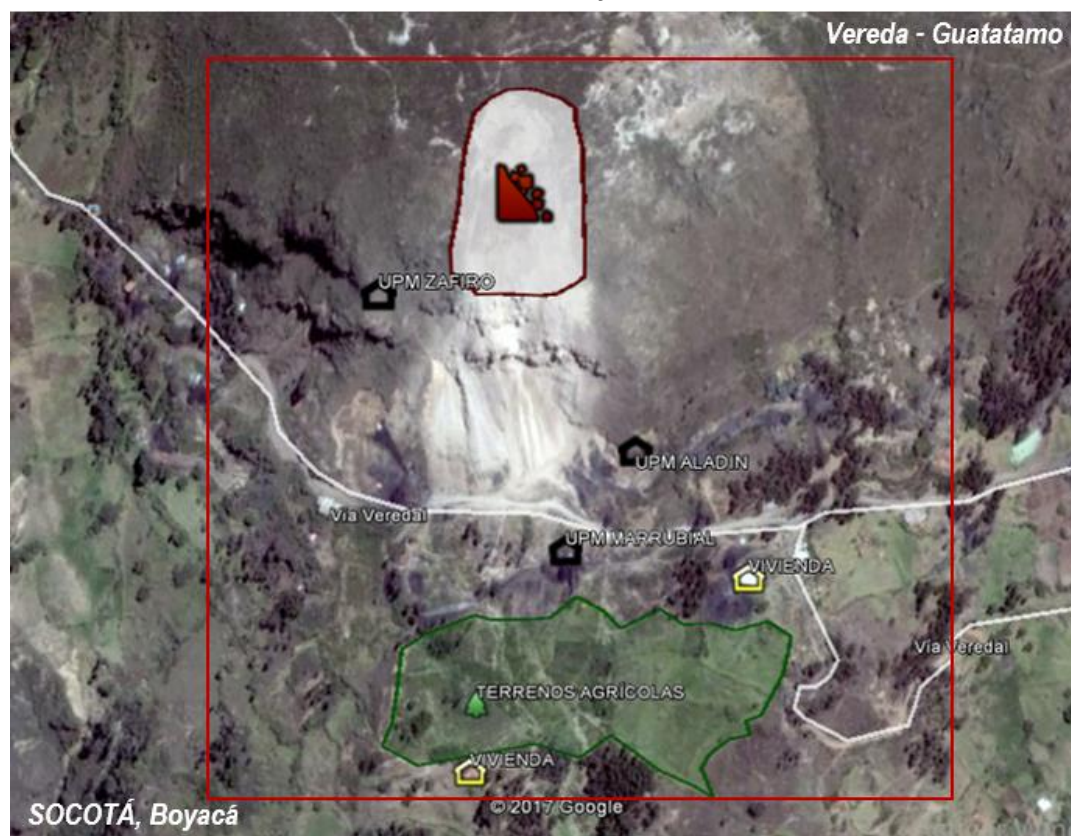
4. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS

4.1 OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y DRENAJE EN DESLIZAMIENTO

Los deslizamientos de tierra en taludes son un fenómeno que afecta persistentemente la geología local del municipio de Socotá (Boy), generando traumatismos en el normal desarrollo de la actividad minera que constituye el fundamento económico de la población; de ahí la necesidad de implementación de alternativas que controlen el impacto negativo suscitado por esa causa.

Es así como se determina realizar un estudio de estabilidad del deslizamiento existente, con el propósito de diseñar las medidas de control y prevención del riesgo, que responden a la reducción del nivel de amenaza de los elementos identificados como vulnerables (infraestructura vial, unidades de producción minera UPM, viviendas familiares, terrenos agrícolas), localizados en el área de influencia presentada gráficamente a continuación.

Ilustración 5. Localización de deslizamiento y elementos vulnerables.

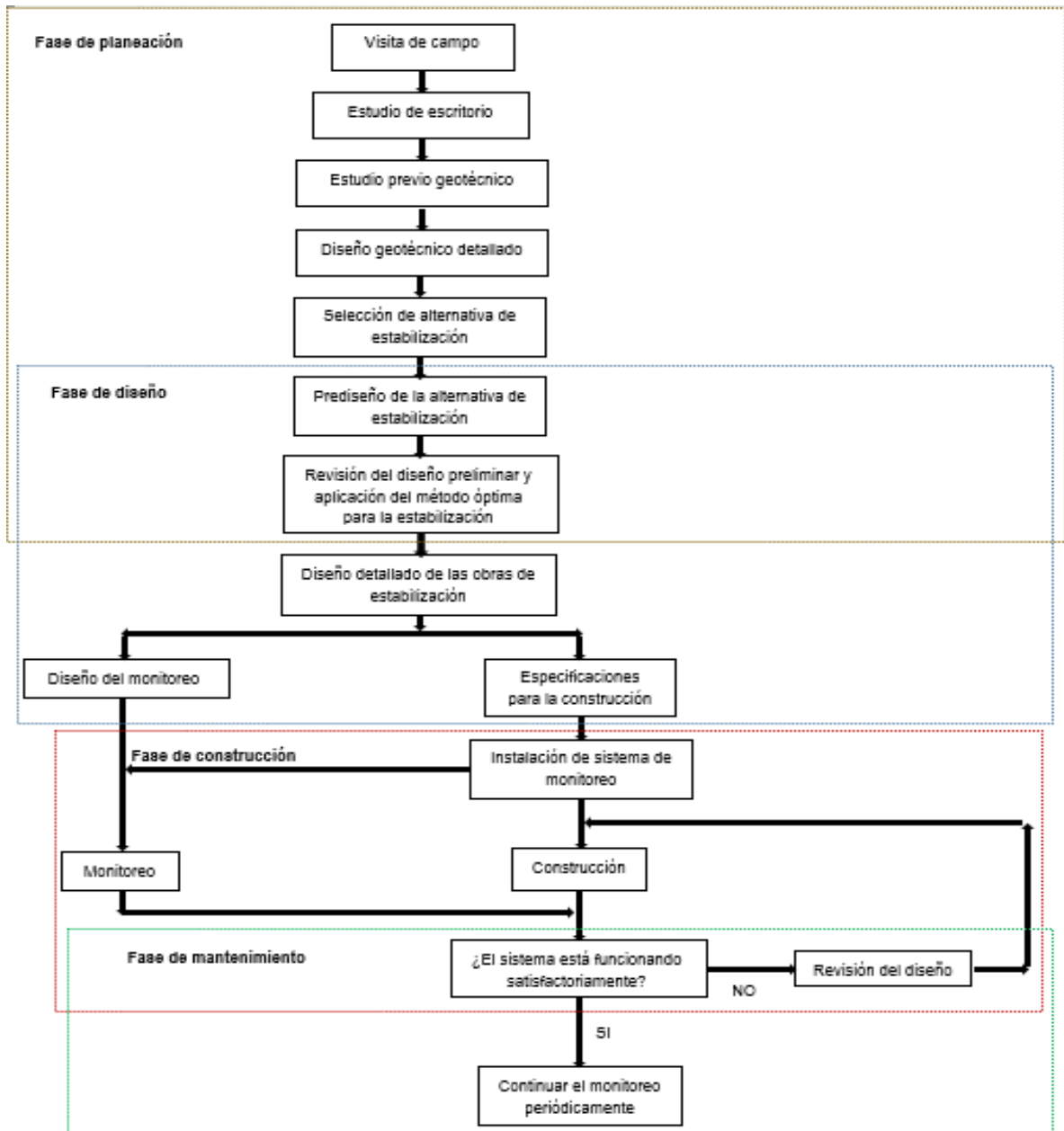


Fuente: [Google.es/intl/es/earth/index.html](https://www.google.es/intl/es/earth/index.html)

4.1.1 Planeación

La implementación de acciones preventivas en el deslizamiento se determinó a partir de la socialización en comité y se estableció técnicamente como se expone en la *Figura 1*, a manera de diagrama de flujo.

Figura 1. Fases de estabilización del deslizamiento.



Fuente: Popescu, Landslide remediation options after the international dfndr

El desarrollo óptimo de las fases del proceso adoptado, estuvo afectado por variables externas incidentes en la ejecución (adversidad del clima y disponibilidad de maquinaria).

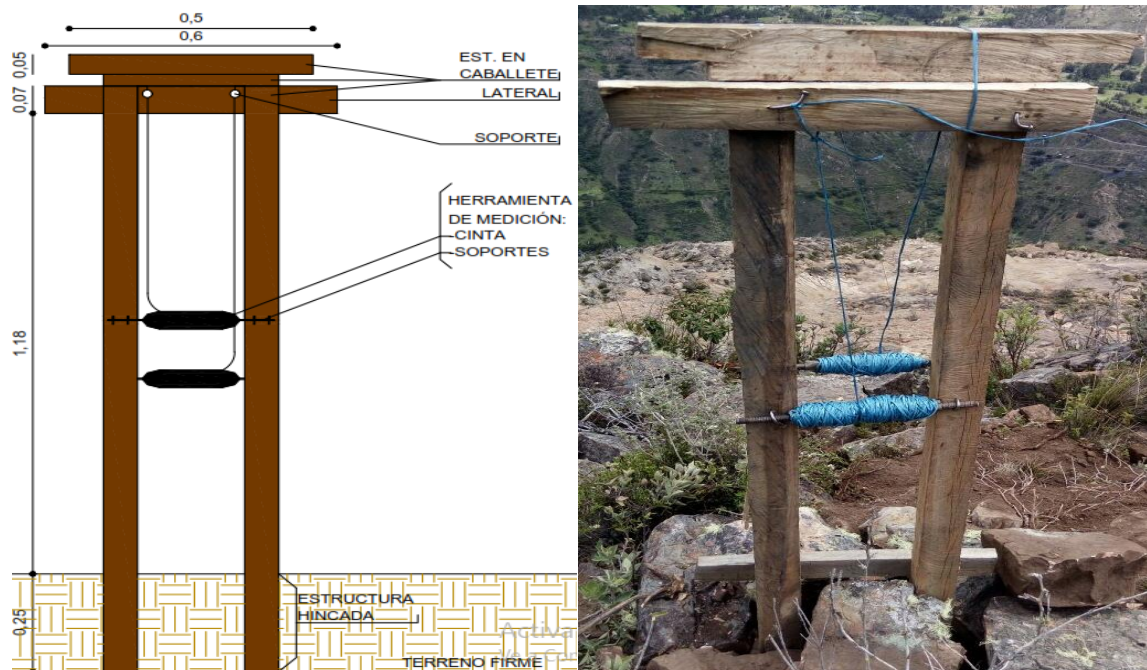
La intervención técnica de labores en el deslizamiento, estuvo condicionada en primera instancia por la autorización de la alcaldía municipal de Socotá (Boy), para la realización de obras civiles en área propia de jurisdicción geográfica, con concepto de estabilización de talud y obras complementarias de drenaje; en segunda instancia, se solicitó la autorización de Corpoboyacá, para el paso de maquinaria pesada en terreno de vegetación de páramo, con concepto de mitigación de riesgo del deslizamiento adyacente.

4.1.2 Desarrollo de Parámetros Técnicos Preliminares

4.1.2.1 Sistema de Monitoreo

Frente a la necesidad de monitorear la evolución del deslizamiento que afecta a los elementos ya identificados como vulnerables, se estableció un sistema de monitoreo constituido por un montaje artesanal en madera que soporta una herramienta de medición longitudinal, como se muestra en la Figura 2.

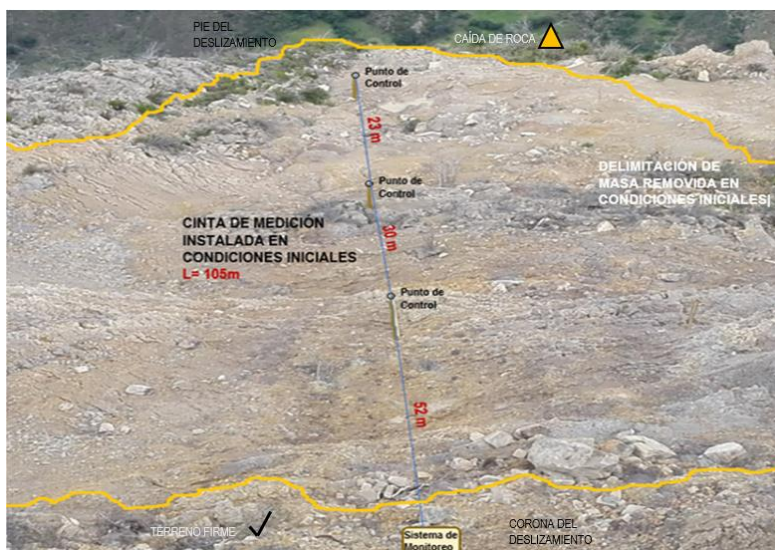
Figura 2. Sistema de monitoreo.



Fuente: Elaboración Propia

La medición longitudinal del sistema de monitoreo se logró una vez se ancló el montaje firmemente al suelo de la corona, desde donde se unió el rollo de cinta con los puntos de control instalados que daban cuenta del avance progresivo de la masa deslizada; con esto se pudo medir el desplazamiento relativo en función del espacio y el tiempo, así:

Ilustración 6. Verificación del sistema de monitoreo.



Fuente: Autor

La implementación de un sistema de monitoreo preliminar a la realización de obras de estabilización y drenaje en un deslizamiento no es comúnmente empleado; pese a esta razón, se justificó su ejecución con el fin de determinar un diagnóstico técnico que definió las condiciones óptimas de inicio de labores. El monitoreo preliminar fue verificado en cinco (05) ocasiones, cada tres días, y los resultados obtenidos se evidencian en la Tabla 1.

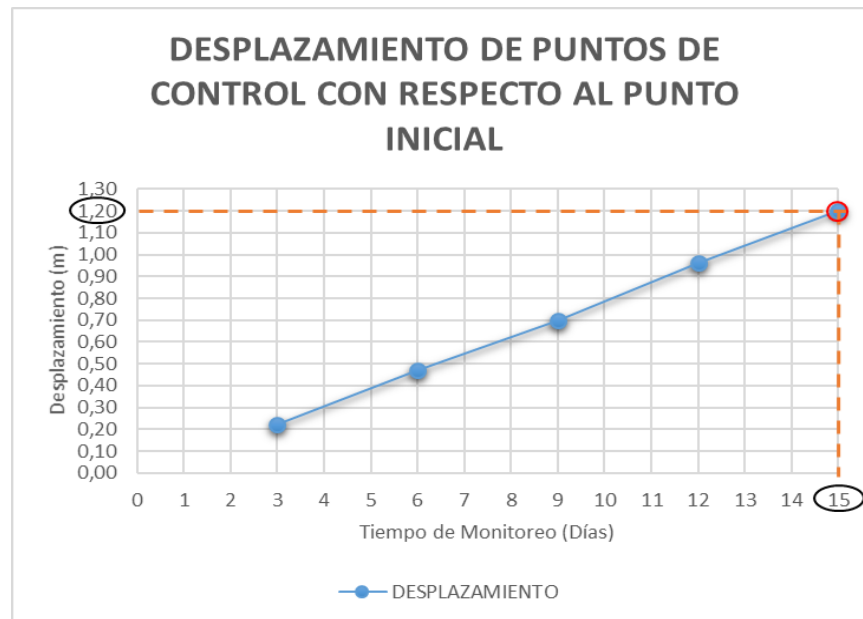
Tabla 1. Resultado de monitoreo preliminar.

RESULTADOS DE MONITOREO PRELIMINAR AL DESLIZAMIENTO					
TIEMPO DE MONITOREO (Días)	FRECUENCIA DE MONITOREO (Días)	DESPLAZAMIENTO (m)	DESPLAZAMIENTO ACUMULADO (m)	VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO (m/día)	VELOCIDAD PM DE DESPLAZAMIENTO (m/día)
3	3	0,20	0,22	0,067	0,080
6	3	0,27	0,47	0,090	
9	3	0,23	0,70	0,077	
12	3	0,26	0,96	0,087	
15	3	0,24	1,20	0,080	

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en el monitoreo realizado, proporcionaron información precisa acerca de la dinámica del evento y su evolución en el tiempo; estas condiciones se exponen gráficamente a continuación:

Gráfico 1. Desplazamiento de los puntos de control con respecto al punto inicial.



Fuente: Elaboración Propia

El patrón de movimiento establecido en el deslizamiento, está determinado por 1.20 m desplazados en 15 días de monitoreo (106.2 m de longitud final de la cinta de medición instalada, una vez transcurridos los 15 días). Estas condiciones soportaron el diseño de las obras de protección que consideran una velocidad promedio de desplazamiento de 8 cm/día, lo que será el fundamento de la futura implementación de un sistema de alerta temprana como medida de prevención del riesgo.

4.1.2.2 Trincho Colmatador de Roca

Una vez ejecutadas las labores preliminares de preparación física del terreno a ser intervenido, se requirió controlar la caída ocasional de roca, que dificultó el acceso a operaciones mineras superficiales en las unidades de producción minera en contexto, y el tránsito normal en la vía veredal.

Se determinó entonces excavar un trincho colmatador a borde de vía que permitiera la retención y disposición final del desprendimiento de roca suscitado desde el pie del deslizamiento, a razón de la acumulación saturada de material suelto, con lo que

se logró controlar el recorrido de la caída por gravedad, a partir de las siguientes condiciones:

- Base Mayor PM= 6.0 m
- Base Menor PM= 4.5 m
- Altura PM= 4.4 m
- Área Transversal= 23.1 m²
- Longitud Disponible= 35 m
- Volumen a Disponer= **809 m³**

Ilustración 7. Propiedades geométricas de trincho colmatador de roca.



Fuente: Autor

4.1.3 Ejecución de Obras de Estabilización y Drenaje

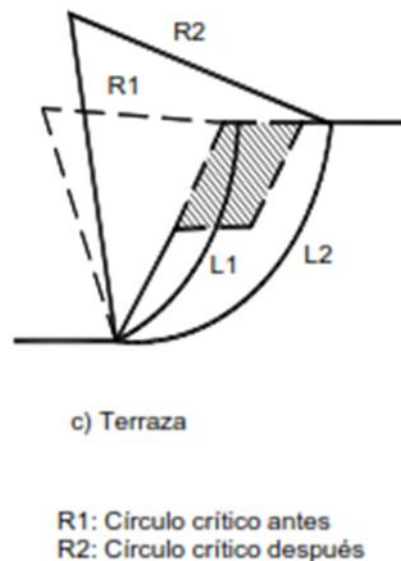
4.1.3.1 Terraceo de Banco

La planeación de las obras de estabilización requeridas, sugirió la urgente materialización del método de estabilización escogido, buscando la estabilización

del terreno, desde el desplazamiento monitoreado en la corona del deslizamiento, en dónde se presentó un proceso de inestabilidad considerable.

Es así como se determinó implementar la construcción de terrazas desde la parte alta del deslizamiento, en dónde se tiende a reducir el momento actuante y a controlar el movimiento, que causaría el efecto de disminuir las fuerzas actuantes, en la zona más crítica para la generación de momentos desestabilizantes. De esta manera se garantizó que el círculo de falla (R1) se hiciera más profundo (R2) y longitudinalmente (L1) más prolongado (L2), lo que produce técnicamente un aumento del factor de seguridad, como se verifica en la *Figura 3*.

Figura 3. Efecto del terraceo sobre la localización del círculo crítico de falla.



Fuente: Suárez Jaime, Deslizamientos: Técnicas de Remediación

Una vez se definieron los efectos que tendría la implementación del terraceo sobre las condiciones intrínsecas del terreno, se estableció garantizar el comportamiento estable e independiente de cada terraza construida, que conforma el talud del deslizamiento. La metodología de cálculo empleada, responde a criterios semi-empíricos que se soportan fundamentalmente en la caracterización preliminar realizada en campo, con la que se determinaron los parámetros geotécnicos influyentes.

Estos estudios, fueron direccionados a partir del diseño conceptual, que determinó la alternativa de solución y consideró labores de medición en campo fundamentales para los cálculos necesarios de ingeniería básica.

4.1.3.1.1 Cálculo de Parámetros de Diseño del Método de Terraceo de Banco

Para el diseño de las terrazas, fue necesario conocer las condiciones geométricas naturales del deslizamiento, tales como, profundidad del suelo y pendiente del terreno, una vez establecidos estos parámetros, se procedió a definir las propiedades geométricas de cada elemento, de la ejecución práctica del método de estabilización.

- Profundidad Permisible de Corte (P_c)= 1.50 m
- Pendiente Media del Terreno (P_m)= 45%

Longitud de Terraceo: Se planeó extender longitudinalmente lo mayor posible el terraceo de cada sección, resultando 67.8 m promedio de terraceo, en sentido perpendicular al flujo del material deslizado, buscando mejorar su eficiencia, y contando a favor con la permeabilidad y erosión controlada del suelo.

Ancho de Terraza: La determinación de éste parámetro estuvo puntualmente en función de la pendiente moderada del terreno para las condiciones iniciales, partiendo del criterio semi-empírico determinado en campo, que considera un ancho de terraza de 4.5 m, con respecto a la conformación del suelo arcilloso predominante (ancho mínimo de terraza de 4 m).

Área Superficial: Se determinó topográficamente un área superficial homogénea a ser intervenida, de forma irregular y con ancho promedio correspondiente a la longitud de terraceo. (67.8 m * 67.8 m).

Pendiente de Conformación de las Terrazas: La construcción mecánica de las terrazas, a partir de la maquinaria disponible y el uso de material suelto producto de la excavación para la compactación del terreno, preceden las condiciones que determinaron la pendiente de conformación de las terrazas de 30°; toda vez que, los suelos meteorizados, que contienen cantidades importantes de arcillas activas, requieren de taludes inferiores a 1H:1V¹.

¹ SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Prevención, Estabilización y Diseño [En Línea]. Bucaramanga: Geotecnología SAS. 2012., 44 p. Disponible en <https://bit.ly/2GYbaiZ>.

Altura Entre Terrazas: La diferencia de nivel entre terrazas, estuvo determinada por las condiciones geológicas de conformación (arcillas activas), que sugieren un comportamiento geológico favorable de la formación base (Ver Anexo 1), con una altura de 5 m (altura máxima entre terrazas 7 m).

- Longitud de Terraceo (L)= 67.8 m
- Ancho de Terraza (At)= 4.5m
- Superficie (A)= 4600 m²

El procedimiento de cálculo se basó en estándares académicos de diseño internacional, que responden al Terrace system design.

- Área de Corte (Ac) y Área de Relleno o Terraplén (Ar)

Ecuación 1. Área de corte y relleno

$$\mathbf{Ac = Ar} = \frac{\left(\frac{1}{2}At\right) * (Pc)}{2} = \frac{\left(\frac{1}{2}4.5m\right) * (1.50m)}{2} = 1,688 \text{ m}^2$$

- Volumen Total de Corte/Terraza (Vtc) y Volumen Total de Relleno/Terraza (Vtr)

Ecuación 2. Volumen total de corte por terraza

$$\mathbf{Vtc = Vtr} = [Ac * L] = [1.688m^2 * 67.8m] = 114,45 \text{ m}^3$$

- Número de Terrazas (Nt)

Ecuación 3. Número de terrazas

$$\mathbf{Nt} = \frac{A}{At * 100} = \frac{4600m^2}{4.5m * 100} = 10$$

- Volumen Total de Corte en Superficie (VTc)

Ecuación 4. Volumen total de corte para el sistema de terrazas

$$\mathbf{VTc} = [Vtc * Nt] = [114.45m^3 * 10] = 1144,5 \text{ m}^3$$

- Pendiente de Conformación de las Terrazas (S)

$$\mathbf{S} = 30^\circ$$

- Altura Entre Terrazas (H)

$$H = 5 \text{ m}$$

El resumen de los datos considerados para el diseño conceptual del método de estabilización por terraceo de banco, se consolida a continuación:

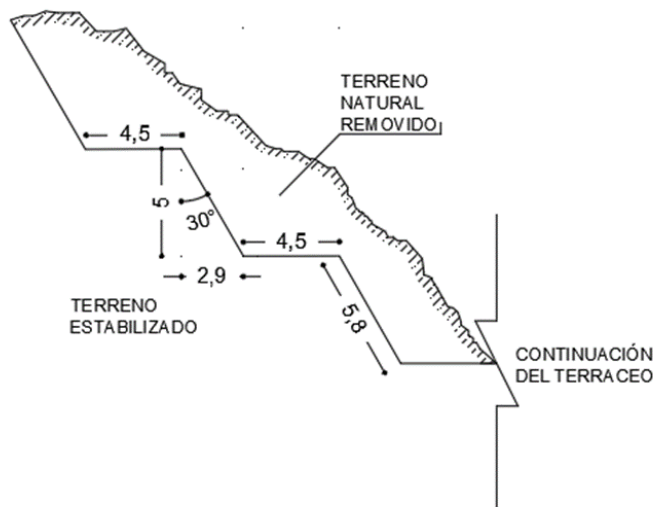
Tabla 2. Dimensiones y volumetría el sistema de terrazas de banco con talud.

DATOS	
Pc:	1,50 m
Pm:	45%
RESULTADOS	
L=	67,8 m
At=	4,5 m
A=	4600 m ²
Ac=	1,688 m ²
Vtc=	114,4 m ³ /Terraza
Nt=	10 Terrazas
VTc sistema=	1144,5 m ³
S=	30°
H=	5m

Fuente: Elaboración Propia

La configuración final del terraceo de banco que consideró el diseño conceptual realizado, es la siguiente:

Figura 4. Criterios de diseño de terrazas.



Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.1.2 Construcción de Terrazas de Estabilización

La puesta en marcha del proceso constructivo del sistema de estabilización empleado, se desarrolló fundamentalmente a partir de la supervisión técnica de la ejecución del terraceo longitudinal, desde la corona hasta el pie del talud del deslizamiento y actividades de perfilado y compactación mecánica del terreno en zonas críticas de conformación homogénea.

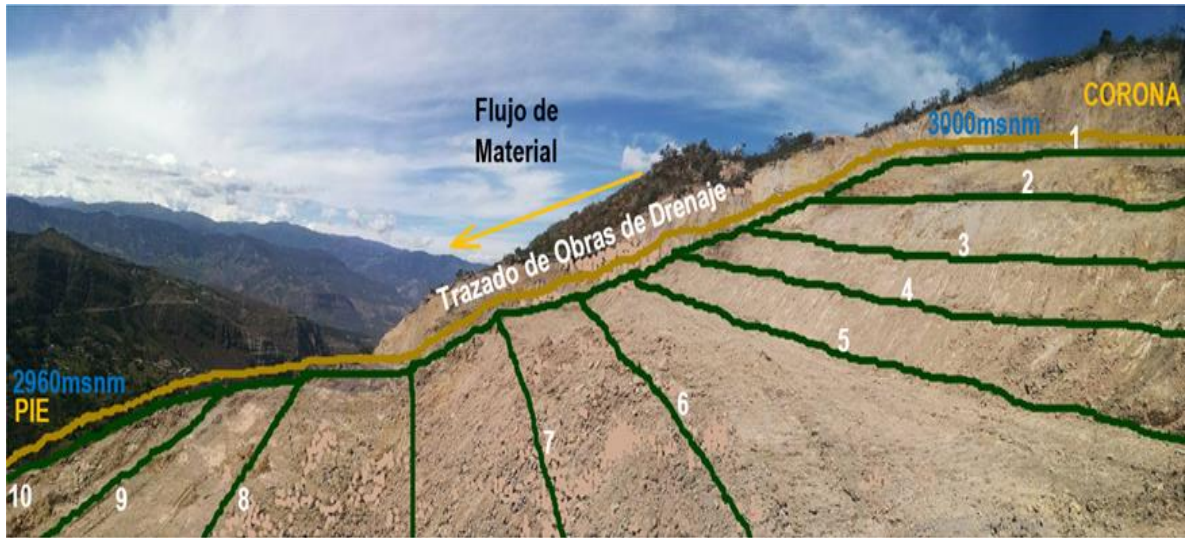
Ilustración 8. Verificación de la puesta en marcha del terraceo.



Fuente: Autor

Una vez ejecutados los criterios de estabilidad diseñados, se buscó asegurar fundamentalmente, un adecuado comportamiento del talud desde el punto de vista de resistencia del suelo y materiales involucrados, así como el nivel de deformación del talud ante un evento sísmico. El resultado se verifica a continuación:

Ilustración 9. Consolidación final de la ejecución del terraceo.



Fuente: Autor

La finalización de las labores de estabilización en el talud del deslizamiento, se enfocó en garantizar el control de la erosión natural y en facilitar el restablecimiento de la cobertura vegetal, que se proyecta conformar mediante la hidrosiembra de fertilizantes de suelo, así:

Ilustración 10. Conformación básica de revegetalización con hidrosiembra.



Fuente: Colgrass.com.co

4.1.3.2. Obras de Drenaje

Las obras de drenaje, resultan ser un complemento eficiente del sistema de estabilización empleado, ya que, “el control del agua superficial y subterránea y sus efectos, garantizan la disminución de las fuerzas que producen el movimiento y generan el aumento de las fuerzas resistentes. El drenaje generalmente es poco costoso y muy efectivo como medida de prevención, y su diseño y construcción es sencillo”².

El diseño de las obras de drenaje, consideró enfáticamente las condiciones hidrogeológicas y climáticas del municipio, que dan cuenta de precipitaciones anuales promedio de 1116 mm, categorizando el clima como templado y lluvioso con veranos cálidos³.

Considerando entonces estas condiciones, se presenta la necesidad de tratar el agua de escorrentía desde la corona del deslizamiento; por lo que, se determinó la construcción de zanjas de coronación, interceptoras del drenaje superficial, que disiparan la infiltración y evitaran la erosión.

4.1.3.2.1 Labores Preliminares de Drenaje

Inicialmente se planeó la construcción de las zanjas de coronación, con labores de trazado y excavación, como paso seguido al proceso de remoción del suelo y conformación del sistema de terraceo; pero las altas precipitaciones de los meses de agosto y septiembre, afectaron las condiciones de estabilidad ya consolidadas en 2 elementos construidos como se verifica en la *Ilustración 11*; por lo que, se decide intervenir el terreno con obras de drenaje provisionales, desde la corona del deslizamiento, hasta el empalme con el terraceo, y así, lograr un avance simultáneo, que garantice condiciones óptimas de trabajo en las labores mecánicas.

² SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Obras de Drenaje y Subdrenaje [En Línea]. Bucaramanga: Geotecnología SAS. 2012., 62 p. Disponible en <https://bit.ly/2qy1g0G>.

³ MERKEL, Alexander. Datos Climáticos Mundiales [En Línea]. 2011. Disponible en <https://es.climate-data.org/location/1034042/>.

Ilustración 11. Afectación de aguas lluvias al proceso de estabilización.



Fuente: Autor

Bajo estas condiciones, se prioriza en localizar el foco de acumulación de aguas de escorrentía, que hacen presencia en el área inicialmente intervenida, como se evidencia en la *Ilustración 12*.

Ilustración 12. Localización de afloramiento de aguas lluvias.



Fuente: Autor

La necesidad de implementación de las medidas de tratamiento inmediato al afloramiento de las aguas de escorrentía incidentes, requirió la instalación longitudinal de 100 m de manguera comercial de 1½" en el vértice colindante de la primera terraza con la ladera y puntualmente desde el foco de acumulación del agua recogida, como se muestra en la *Ilustración 13*; todo esto con el propósito de trasladar provisionalmente el efluente hasta terreno estable, en condiciones de conducción por gravedad.

Ilustración 13. Drenaje provisional de aguas superficiales.



Fuente: Autor

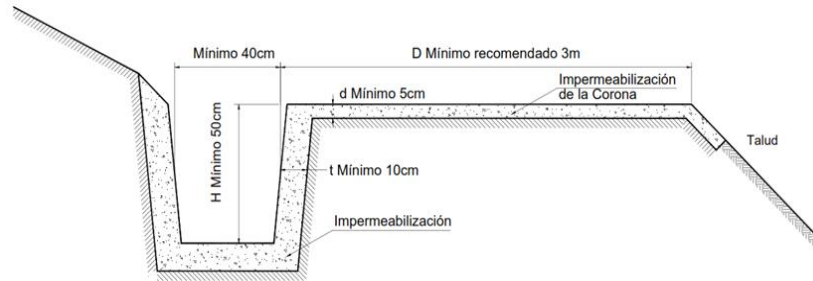
4.1.3.2.2 Planeación de Obras de Drenaje

Como paso seguido a garantizar las condiciones controladas de trabajo, anteriormente establecidas, se acordó la realización de dos zanjas de coronación, según especificaciones técnicas que se detallan en la *Figura 5*, así:

- Una zanja a 5 m de ronda de la corona del deslizamiento, en terreno que se consideró estable, pretendiendo evitar que esta solución de drenaje, se convierta en una nueva superficie de falla (movimiento regresivo) en el deslizamiento pasivo.

- Una zanja perimetral de recolección constante, que delimitara el área total deslizada y en condición funcional para permitir el mantenimiento de las obras de estabilización, “diseñada en función del caudal colectado y trazada sobre una curva de nivel conocida, con el fin de garantizar un correcto drenaje y superposición a las grietas de tensión de la corona”⁴.

Figura 5. Detalle de zanjas de corona para el control de aguas superficiales.



Fuente: Suárez Jaime, Deslizamientos: Técnicas de Remediación

Se planeó disponer el agua proveniente de la recolección y conducción de la escorrentía superficial captada, en la alcantarilla de servicio de la unidad de producción cercana, ubicada a borde de vía, como se muestra en la *Ilustración 14*.

Ilustración 14. Alcantarilla para la disposición final del agua superficial.



Fuente: Autor

⁴ SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Obras de Drenaje y Subdrenaje [En Línea]. Bucaramanga: Geotecnología SAS. 2012., 62 p. Disponible en <https://bit.ly/2qy1q0G>.

4.1.3.2.3 Ejecución de Obras de Drenaje

La necesidad de avance simultáneo de la zanja de drenaje perimetral, con las labores mecánicas de estabilización, determinó el orden de ejecución de las obras de drenaje, que contempló en primera instancia, la determinación de las propiedades geométricas de la sección transversal, verificadas en la *Ilustración 15*, y con las que se da cumplimiento a los parámetros mínimos establecidos en las especificaciones técnicas, así:

- Ancho (A)= ≥ 0.40 m
- Profundidad (H)= ≥ 0.50 m
- Extensión Transversal de Terraza (Et)= ≥ 3.0 m
- Espesor de Impermeabilización de Zanja (e)= ≥ 0.10 m

Ilustración 15. Sección transversal de zanja de coronación perimetral.



Fuente: Autor

Finalmente se realizó la supervisión técnica del avance constructivo de las zanjas perimetrales, con una ejecución del 65 % aproximadamente al término de labores del seguimiento profesional, según se evidencia a continuación:

Ilustración 16. Verificación de avance final de las obras de drenaje.



Fuente: Autor

4.2 ESTABILIDAD FÍSICA DEL TALUD DE BOTADERO DE ESTÉRILES DEL M2

El desarrollo de esta actividad, estuvo fundamentado en dar respuesta al requerimiento manifestado por Corporboyacá, mediante concepto técnico No. SLA-0037/17 del 14 de junio del 2017 (Ver Anexo 2), que pretendía, se presentaran las medidas de prevención, mitigación, corrección o compensación ambiental, de los impactos generados por el botadero actual de explotaciones del manto 2, de jurisdicción minera del contrato en virtud de aporte No. 161R, para el área de disposición y su respectivo manejo de aguas de escorrentía; adicionalmente analizar la pendiente y garantizar la estabilidad del mismo, con el fin rediseñar y adecuar el contexto ambiental.

4.2.1 Generalidades

Como consecuencia de las actividades mineras realizadas por la empresa, se ha generado la disposición del botadero de estériles minerales sin valor económico del manto 2 que incide fundamentalmente en un área impactada, con volumen y restos mineros de gran consideración, de características diversas en su mineralogía, originadas por labores mineras de explotación subterránea.

El impacto visual notable, se intentó mitigar con el depósito de estériles configurando un retrollenado, y conformando una colina topográficamente semejante a las vecinas naturales. Otro factor positivo resultó ser la reducción de costos por transporte del material estéril a grandes distancias.

En primera instancia, se enfatizó en establecer los criterios utilizados para garantizar la estabilidad física sostenible del actual botadero, a partir de la implementación técnica de un diseño mejorado propuesto con fines de prevención, mitigación y compensación medioambiental.

De antemano se determinó que la estabilidad física, implicaría el acondicionamiento de la estructura mediante trabajos de recuperación y disposición de la cobertura natural que garantizaran una estabilidad duradera, en función del análisis de propiedades físicas y de resistencia.

4.2.2 Estabilidad Física del Talud

4.2.2.1 Parámetros Preliminares de Consideración

Los criterios utilizados en el diseño se basaron en la aplicación de metodologías de análisis para obras de ingeniería geotécnica. Las pruebas y ensayos para la obtención de la información necesaria y de los materiales existentes cumplen procedimientos estandarizados, anteriormente realizados para la constitución de las operaciones mineras. La metodología de diseño fue actualizada a la luz de los resultados obtenidos en proyectos similares de referencia.

En el análisis de estabilidad del talud, se consideró un valor mínimo de Factor de Seguridad FS de 1.25 en condición estática, y FS de 1.0 para la condición pseudo-estática, como se evidencia en la *Tabla 3*, dando cumplimiento a los lineamientos establecidos por la normatividad vigente.

Tabla 3. Factores de seguridad básicos mínimos directos.

Condición	F _{SBM}		F _{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

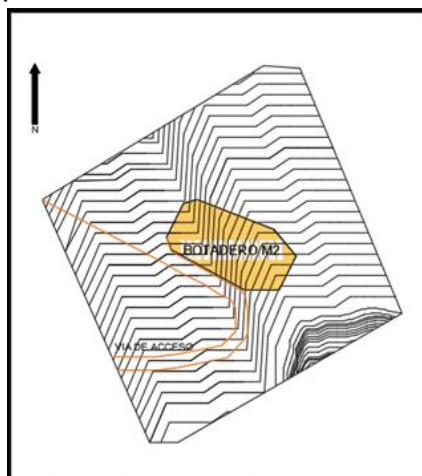
Fuente: Título H, NSR-10 (Tabla H.2.4-1)

Los criterios de estabilidad determinados, aseguran un adecuado comportamiento del talud desde el punto de vista de la resistencia de los suelos y materiales involucrados, así como el nivel de deformación del talud ante un evento sísmico; condiciones recomendables para el extenso período de exposición sísmica, en dónde, las deformaciones no controladas pueden poner en riesgo los elementos de cobertura, encapsulamiento o revegetación. “Los análisis de estabilidad asumen superficies de falla tipo circular, planar o fallas del tipo bloque y consideran el comportamiento drenado mediante el uso de los parámetros de resistencia efectivos de suelos, materiales granulares y drenantes, que conforman el botadero actual del manto 2”⁵. Se definió usar, el método de Morgenstern-Price, para la realización de los análisis de estabilidad, en conjunto con el apoyo del software GEOSLOPE 2012 y su interfaz Slope/W, que facilitó el análisis de estabilidad interna y deslizamiento, verificación de estabilidad del terreno natural y cálculo intrínseco de asentamientos.

4.2.2.2 Descripción del Talud de Botadero

La extensión del talud de botadero de labores del manto 2, está comprendida longitudinalmente a partir de los siguientes puntos de referencia geográfica: Corona (P1); 1155236 E, 1145374 N y 3606 m.s.n.m. Pie (P2); 1155170 E, 1145392 N y 3576 m.s.n.m., ocupando una extensión de terreno de 879 m² aproximadamente, según se evidencia en la *Figura 6*.

Figura 6. Localización en planta del talud de botadero M2.



Fuente: Tomado de Archivo AGROCOAL S.A.S., PMA-161R

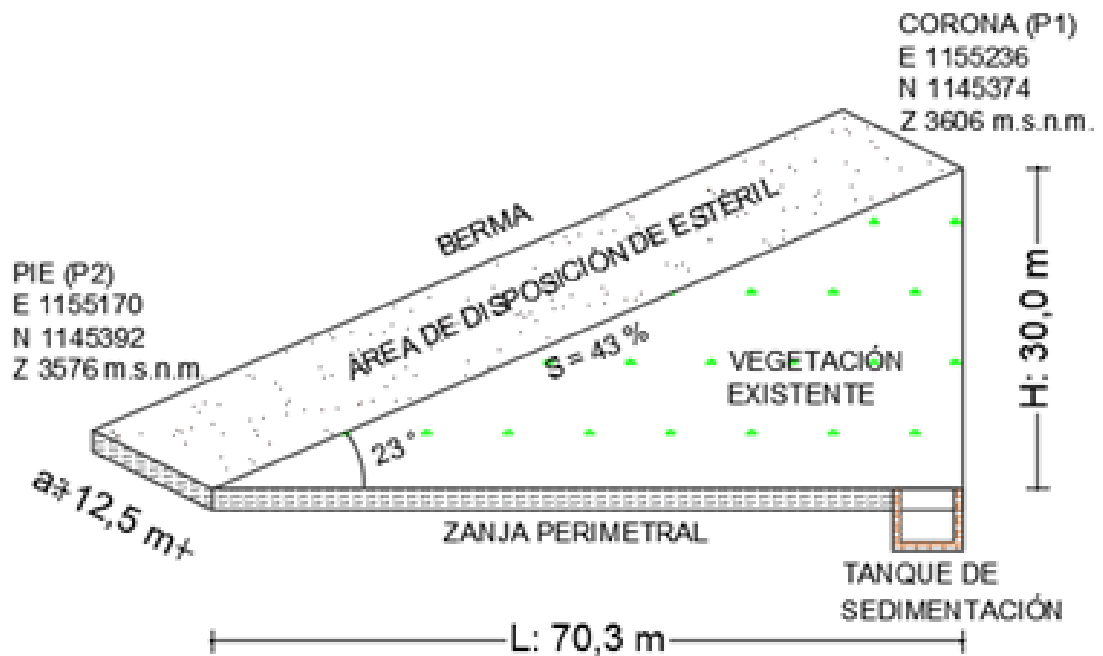
⁵ DELGADO SAYÁN, Raúl. Plan de Cierre de Pasivos Ambientales de la Compañía Minera Aruntani S.A.C.-Unidad Santa Rosa. [En Línea]. Lima: Cesel Ingenieros. 2006., 14 p. Disponible en http://www.cesel.com.pe/proyectos_medio_ambiente_1.html.

En algunas áreas del talud se puede apreciar vegetación compuesta por árboles y flora nativa. El agua de escorrentía actual se conduce en zanja perimetral desde el pie del talud, hasta el tanque sedimentador existente a nivel de inicio de operaciones mineras *Figura 7*.

Las propiedades geométricas del talud se enuncian a continuación:

- Longitud (L)= 70.30 m
- Ancho Promedio (a)= 12.50 m
- Altura (H)= 30 m
- Volumen de Ocupación (V)= 26363 m³
- Pendiente (S)= 43% (23°)

Figura 7. Configuración del talud de botadero M2.



Fuente: Elaboración Propia

La producción minera determinó que la cantidad de estéril depositado para la conformación del talud de botadero del M2, responde a un volumen bajo de ocupación < 1000000 m³ (Botadero Pequeño)⁶.

⁶ VILLANUEVA, Martín y LINO, Erick. Caracterización Geotécnica y Diseño de Botaderos en Mina. En: Rev Scielo. Mayo, 2013. vol. 12, no 1, p. 2-3.

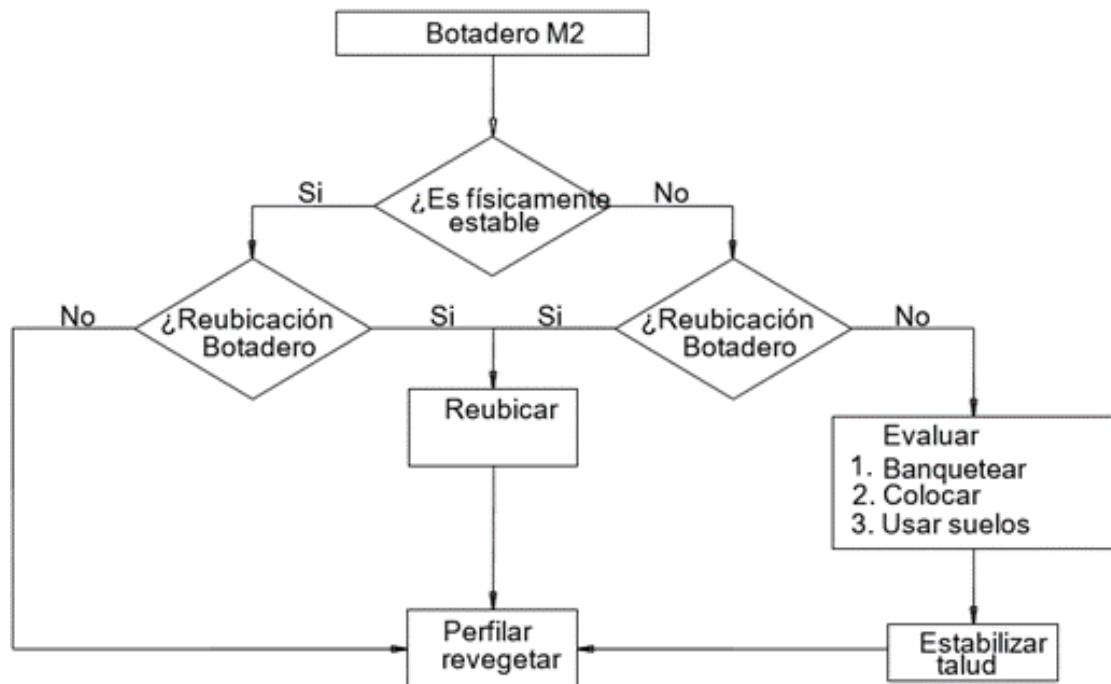
4.2.2.3 Metodología de Estabilización

En la disposición de los estériles, se proyectó el uso posterior del relleno y las actividades de depósito, con el propósito de garantizar la estabilidad, posibilidad de uso posterior, adecuación morfológica y paisajística, requeridas.

Para la selección del método de estabilización del depósito de estéril, se consideraron los factores: maquinaria de transporte disponible, compactación y topografía. Por lo anterior se implementó la siguiente metodología de selección:

- a) Se evaluó el procedimiento a seguir para implementación de acciones para la estabilización del talud del botadero del M2; para ello, la *Figura 8*, nos muestra la metodología a seguir.

Figura 8. Diagrama de flujo base para la selección de método de estabilización.



Fuente: Tomado de Arunati S.A.C., PCPA

Se elaboró una matriz de selección de alternativas, que definieron el método de estabilización a usar, con respecto a las características del botadero y el entorno topográfico en el que se encuentra, según se muestra en la *Tabla 4*.

Tabla 4. Matriz de selección de alternativas de estabilización.

MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS			ALTERNATIVAS		
			1	2	3
			Banquetas	Gaviones	Suelo Reforzado
CARACTERÍSTICAS, ATRIBUTOS Y BONDADES		PONDERACIÓN			
1	Costos	10	●	○	△
2	Sistema constructivo	10	●	○	△
3	Hurto de materiales colocados	1	△	○	○
4	Control y monitoreo	1	△	○	○
5	Tiempo de ejecución	5	○	△	△
6	Insumos	5	○	△	○
7	Impacto visual	5	○	△	○
8	Aporte social	1	△	△	△
9	Adherencia con la cobertura	5	○	○	△
10	Garantía de durabilidad	5	○	○	○
Total			48	34	25

Fuente: Elaboración Propia

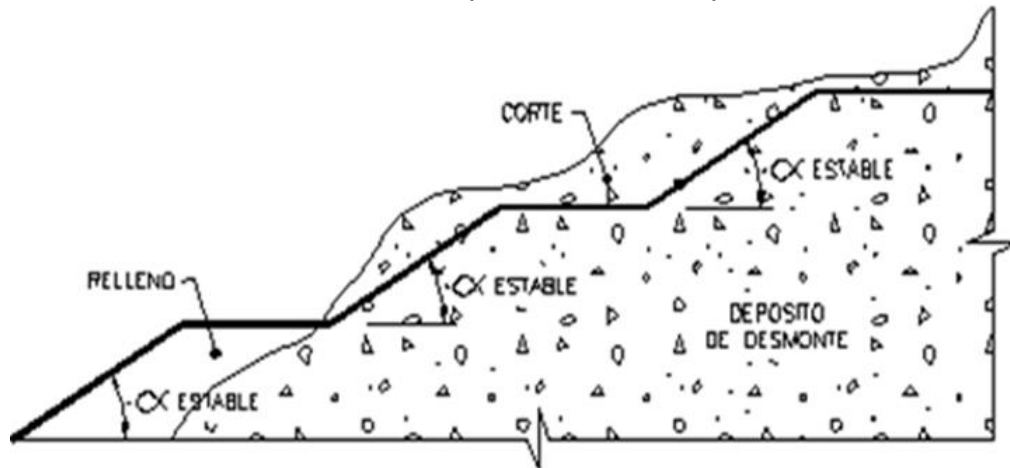
La mejor alternativa con consideraciones económicas y constructivas para la estabilización del botadero, resultó ser el uso de banquetas, con un puntaje ponderado de 48, seguido por usar gaviones en pie de talud y como última opción usar el sistema de suelos reforzados.

El método de banquetas, es un método en el que se usa el mismo material del botadero de desmonte, material de corte como relleno; se llega a estabilizar físicamente, pues se retira la sobrecarga que genera un gran volumen de masa en la parte superior⁷. Para poder emplear el método del banqueteo, se tenía a favor que normalmente se requiere tener una topografía de pendiente baja en la parte del pie de talud. Éste es el método más económico, pero su implementación tendría algunas restricciones en función de las condiciones del entorno.

La composición básica del método seleccionado se expone a continuación:

⁷ MORENO FIGUEROA, Luis. Plan de Cierre de Pasivos Ambientales de la UEA Compañía Minera LINCUNA SAC. [En Línea]. Lima: Cesel Ingenieros. 2006., 06 p. Disponible en http://www.cesel.com.pe/proyectos_medio_ambiente_1.html.

Figura 9. Sección transversal de composición del banqueteo de taludes.



Fuente: Latam.srk.com/caracterización_geotécnica_de_botaderos

4.2.2.4 Análisis de Estabilidad

El análisis de estabilidad se realizó considerando el tipo de material. Para el caso del depósito del material, considerado la sección más crítica de los depósitos de desmonte, se emplearon como fundamento técnico los criterios ingenieriles de geotecnia e hipótesis de incidencia; estas condiciones posibilitaron estudiar detalladamente la estabilidad del talud, tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes de deslizamiento (nivel de agua) que interactúan con las condiciones reales del diseño.

Para el cálculo de los factores de seguridad, se ha empleado el método de Morgenstern-Price; basado en la determinación, mediante el análisis de equilibrio límite, de la relación entre la resistencia disponible del suelo al corte y el esfuerzo cortante requerido para mantener el equilibrio límite a lo largo de superficies que definan un mecanismo potencial de falla (círculos de falla).

Los cálculos relativos para el análisis de estabilidad del talud se realizaron empleando el programa de cómputo geotécnico de reconocida confiabilidad GEOSLOPE 2012 Slope/W, lo que posibilitó estudiar detalladamente una gran variedad de configuraciones alternativas para obtener una sección óptima, aceptable tanto desde el punto de vista de la seguridad como de economía en la ejecución de labores.

El programa analizó la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y ángulo de fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes de deslizamiento (nivel de agua).

Los parámetros correspondientes a las propiedades de los materiales que componen el talud, requeridos para el análisis de estabilidad, fueron los siguientes:

- Roca: LUTITA CARBONOSA
- Cohesión (c) = 0.876 MPa
- Angulo de Fricción Interno (ϕ) = 25.52 °
- Peso Específico (γ) = 23.0 KN/m³

Los valores de estos parámetros se han seleccionado teniendo en consideración los resultados de los diversos ensayos de campo y de laboratorio, la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas de la cimentación establecidos en el marco técnico del PMA del título minero (Ver Anexo 3).

Para el análisis de estabilidad del talud a partir del método de Morgenstern-Price, se contó a favor con que, en general, los valores de los factores de seguridad obtenidos mediante dicho método para superficies de falla circulares, difieren en un 5% a 10% por defecto (es decir, dando un margen conservador de seguridad) de los valores obtenidos empleando métodos rigurosos de análisis. Por tanto, para fines prácticos, el método de Morgenstern-Price resultó satisfactorio.

La secuencia de ecuaciones implícitas en la aplicación del método de Morgenstern-Price a partir de la modelación en el software, precedieron el cálculo del factor de seguridad del deslizamiento en superficies de falla circulares.

Los datos de entrada de diseño, se fundamentaron en las condiciones críticas de exposición sísmica que reglamenta la normatividad vigente. Los tecnicismos de referencia técnica, determinaron entonces, una aceleración de diseño de 0.25 g para un período de retorno de 350 años, vida útil de 35 años y nivel de excedencia del 7%. Para el análisis pseudo-estático se consideró que la masa involucrada en la falla estuvo sometida a una aceleración horizontal igual al coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, de manera que, hay que se tuvo en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. La

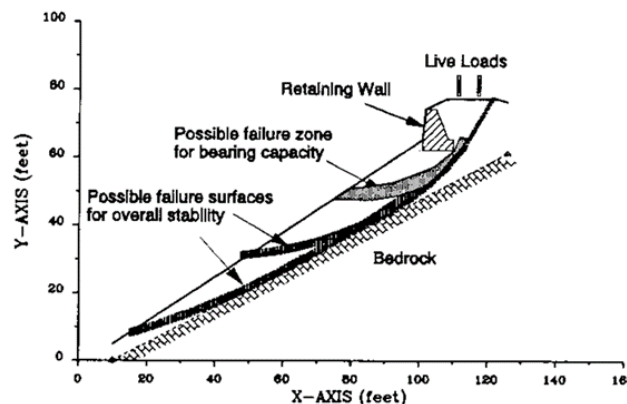
aceleración horizontal pico, usada para efectos de cálculo fue de 0.25 g (valores de A_a y A_v para Socha Boy)⁸.

Las limitaciones técnicas de los parámetros de diseño establecidos para el presente análisis, fueron las siguientes:

- Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1.25
- Mínimo factor de seguridad pseudo-estático a largo plazo igual a 1.0
- Desplazamientos inducidos por sismo que no comprometan la seguridad del apilamiento o la integridad del sistema de revestimiento

Se consideró a priori, que un factor de seguridad pseudo-estático mayor que 1.0 no significaba que el apilamiento de mineral no se movería durante un terremoto. Lo que probablemente ocurriría es que los desplazamientos serían mínimos y no se producirían daños permanentes en la cobertura vegetal, asociados al terremoto de diseño; así que, el comportamiento dinámico natural de un evento de remoción de tierra en cantidades considerables, adoptaría la forma de la *Figura 10*.

Figura 10. Comportamiento dinámico natural de deslizamiento.



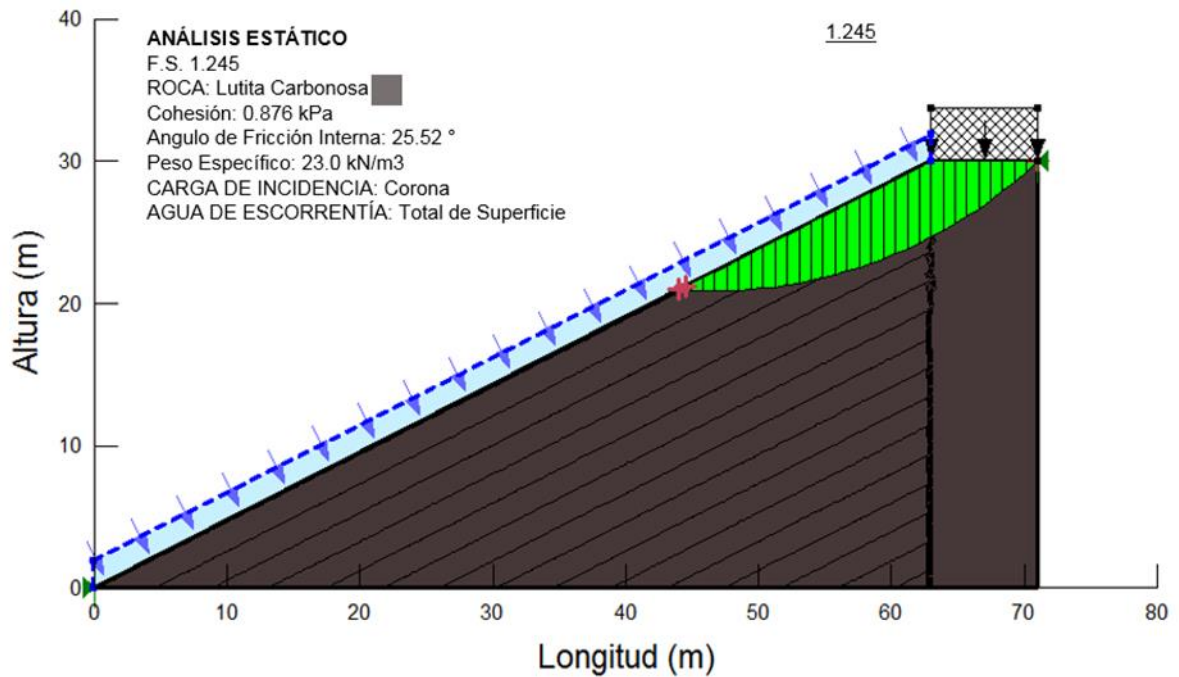
Fuente: Eprints.ucm.es/symtaludes

4.2.2.5 Resultados del Análisis de Estabilidad del Talud de Botadero del M2

La solución para estabilizar el talud, consistirá en darle un perfilado e inclinación adecuada, hasta conseguir el valor de FS estable. La consolidación de los resultados obtenidos en el análisis del software GEOSLOPE 2012, para la estabilización del talud en cuestión, se verifican a partir de los *Gráficos 2 y 3*.

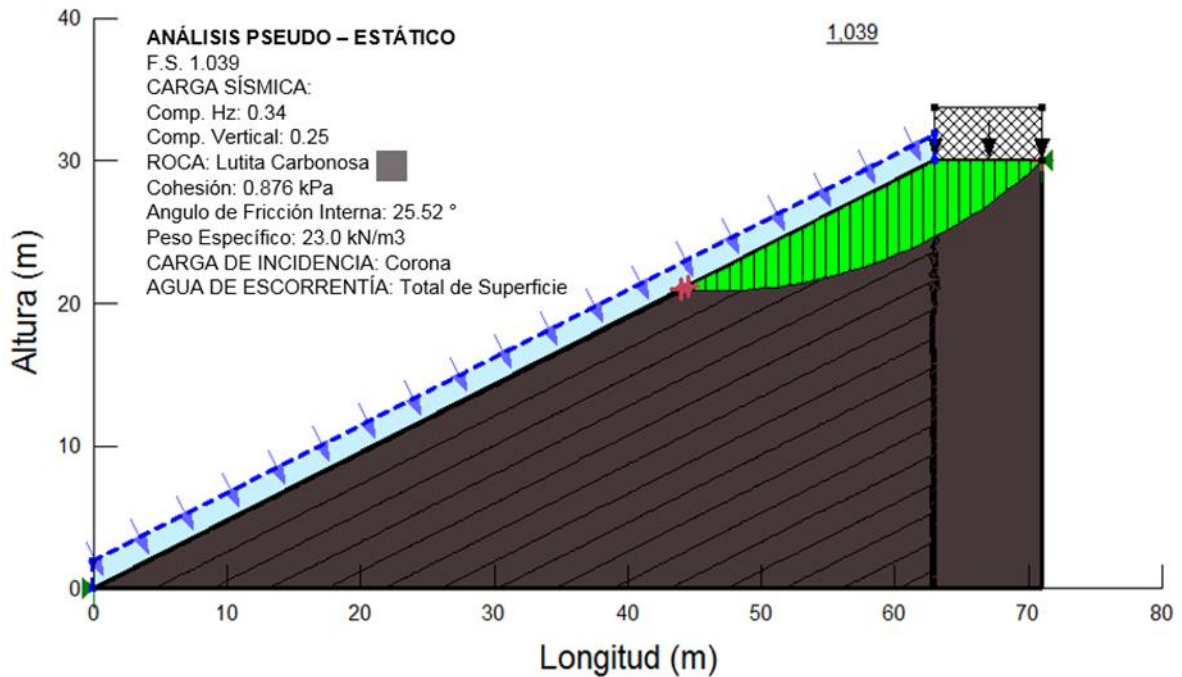
⁸ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. 2010. Apéndice A4. Bogotá D.C.

Gráfico 2. Salida gráfica del resultado de análisis estático.



Fuente: Geoslope 2012/Slope W-Talud de Botadero M2

Gráfico 3. Salida gráfica del resultado de análisis pseudo-estático.



Fuente: Geoslope 2012/Slope W-Talud de Botadero M2

Los resultados del análisis realizado en el botadero, están enfatizados en el estado pseudo-estático, por ser ésta la condición más crítica. En la *Tabla 5* se presenta el resumen de datos, determinados por el procedimiento de cálculo empleado.

Tabla 5. Resumen de datos del análisis con Geoslope.

FS	ESTÁTICO	PSEUDO-EST.
FACTOR DE SEGURIDAD	1,2439	1,0379
	1,2448	1,0388
	1,2465	1,0405
Pm	1,25	1,04

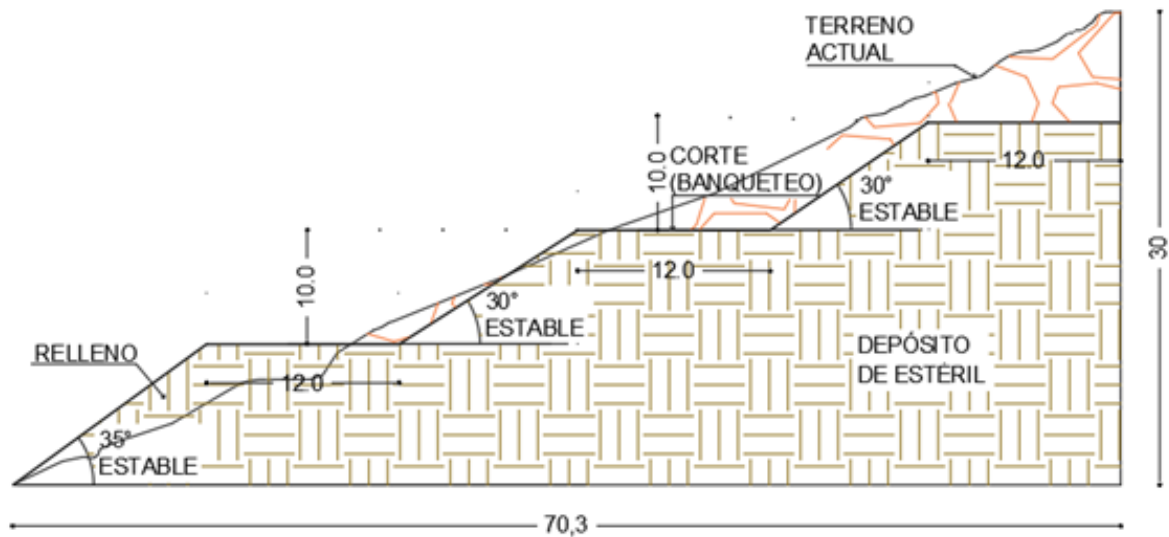
Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.6 Propuesta de Diseño de Estabilidad del Talud de Botadero del M2

Una vez se evaluaron las condiciones estables y dinámicas de interacción del terreno con las cargas naturales y el agua de escorrentía presente, se concluyó que se cumplió a satisfacción, con la estabilización física del talud del botadero de operaciones del manto 2. La alternativa que brindó la solución idónea en la implementación de un método que garantizara la estabilización física, considerando las características físicas, volumen, emplazamiento y costo de ejecución, fue el Método de Banquetas, proceso que cuenta a favor entre otras condiciones, con que se emplea el propio material de desmonte para su estabilización, y se realiza con movimientos de material que alivian la carga superior, a la vez que se va tendiendo la pendiente del talud para adoptar una inclinación estable en condiciones estáticas y fundamentalmente en condiciones pseudo-estáticas; esta solución, además, resulta ser la más económica y viable, puesto que la zona carece de disposición de canteras y materiales necesarios para la implementación de los demás métodos, generando así costos antieconómicos y condiciones desfavorables de ejecución.

La solución adoptada implicó un tendido del talud existente en dos tramos: el primer tramo se prolongará en el pie del talud (zona inferior) con un ángulo de 35° (1.38H:1V), y el segundo tramo se prolongará en la corona del talud (zona superior) con un ángulo de 30° (1.73H:1V); el proceso de tendido dependiente, con la construcción de banquetas, implicó que la altura máxima entre banquetas fuera de 10.00 m, según se muestra en la *Figura 11*.

Figura 11. Diseño de estabilidad del talud con la ejecución del banqueteo.



Fuente: Elaboración Propia

La certeza que garantiza que el botadero es físicamente estable según los criterios anteriores, depende en gran parte de las labores de perfilado para lograr una cobertura adecuada, y de la implementación de un método de conformación del talud para concluir las labores de revegetalización requeridas.

La estabilidad física estuvo orientada a la protección contra deslizamientos, corrimientos o problemas de derrumbes ya sea superficiales o profundos. Por eso se tuvieron que asegurar las más óptimas condiciones de estabilidad para el talud, asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período de operaciones mineras, como eventos sísmicos y climáticos. Adicionalmente se realizarán obras de compactación en el pie del talud, contra la influencia de las escorrentías o flujos que puedan ocurrir en la base del botadero actual del manto 2, también esto favorecerá la restricción al ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar un proceso de inestabilidad, mediante la saturación y la generación de presiones de poro en el talud, en la cimentación y en las superficies de contacto.

4.3 ANÁLISIS DE AMENAZA Y VULNERABILIDAD FÍSICA DE DESLIZAMIENTO

El desarrollo de esta actividad, estuvo fundamentado en dar respuesta al requerimiento manifestado por Corporboyacá, mediante concepto técnico No. SLA-0037/17 del 14 de junio del 2017, que pretendía, se presentara el análisis de las amenazas internas y externas del deslizamiento del proyecto, en jurisdicción minera

del contrato en virtud de aporte No. 161R, y la evaluación de consecuencias de los eventos amenazantes, sobre los elementos identificados como vulnerables.

4.3.1 Generalidades

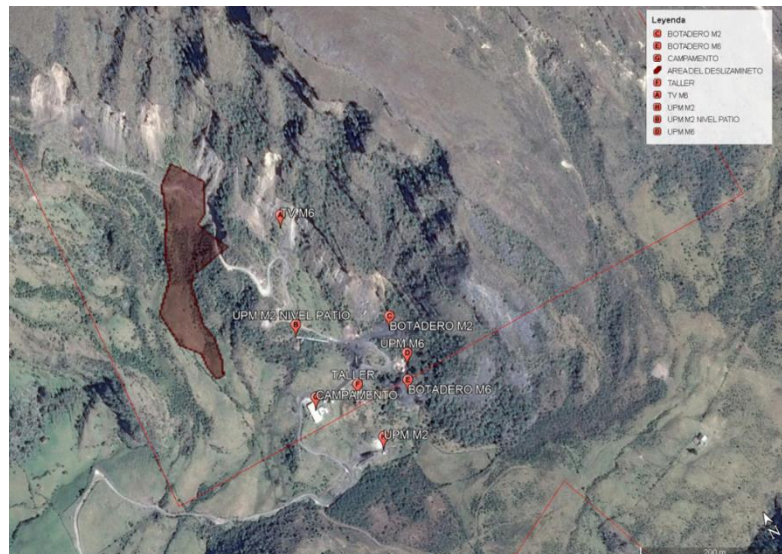
Ante la necesidad de implementación de un estándar técnico para la calificación de la amenaza y vulnerabilidad física del deslizamiento, se definió una metodología que permitiera dar respuesta al requerimiento establecido por Corpoboyacá, desarrollada como paso seguido a la contextualización técnica del evento amenazante.

4.3.2 Cobertura Geográfica y Áreas de Afectación del Deslizamiento

Se definieron las áreas de ocupación de personal operativo e infraestructura de servicio del proyecto, según se evidencia en la *Ilustración 17*; de antemano se comprobó que el deslizamiento suscitado en área perteneciente al título minero, se encuentra estabilizado ya que el material removido logró encontrar su ángulo de reposo.

Cabe resaltar que, para contribuir al proceso de estabilización, se realizó paulatinamente la recuperación paisajística y reconfiguración vegetal mediante especies gramíneas.

Ilustración 17. Extensión del deslizamiento sobre elementos vulnerables.



Fuente: [Google.es/intl/es/earth/index.html](https://www.google.es/intl/es/earth/index.html)

El deslizamiento abarca un área de extensión aproximada de 15406.3150 m² y un espesor promedio de 7m, lo que da cuenta de una masa aproximada 107.842 m³. La delimitación de la superficie deslizada se sintetiza en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Delimitación del área de extensión del deslizamiento.

COORDENADAS DESLIZAMIENTO			
PUNTO	ESTE	NORTE	Z
1	1154950	1145440	3570
2	1154939	1145437	3572
3	1154934	1145458	3575
4	1154934	1145481	3577
5	1154908	1145509	3588
6	1154900	1145567	3603
7	1154940	1145607	3612
8	1154947	1145639	3631
9	1154959	1145660	3642
10	1154975	1145686	3650
11	1154988	1145730	3674
12	1155014	1145746	3688
13	1155049	1145701	3681
14	1155041	1145602	3670
15	1155031	1145662	3663
16	1155014	1145655	3650
17	1154980	1145608	3681
18	1154975	1145595	3625
19	1154964	1145581	3613
20	1154956	1145521	3588
21	1154962	1145494	3577
22	1154958	1145459	3573

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 Valoración del Riesgo y Vulnerabilidad Física

Los factores que intervienen en la evaluación de los eventos amenazantes sobre los elementos identificados como vulnerables, se dividieron en diferentes categorías, y estas a su vez, en subcategorías. Se les asignó un valor entre 1 y 5, de acuerdo con el grado de inestabilidad que pueda llegar a generar, donde 1 corresponde a las subcategorías de menor importancia como generadores de

inestabilidad y 5 las de mayor importancia (valoración a criterio con sustento en el estado actual de incidencia del deslizamiento), así:

Tabla 7. Designación de los valores de influencia.

VI (Valor de influencia)	Características
5 (Muy influyente)	Factor preponderante en la generación de amenaza.
4 (Influencia media)	Factores con influencia no tan relevante, pero unida con otros pueden generar una amenaza importante.
3 (Influencia baja)	Su aporte en la generación de amenaza es bajo.

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asoc. a la vf por taludes

Adicionalmente, se consideró que el concepto hidrológico de la división del suelo en zona del deslizamiento, contiene secciones con baja probabilidad de ocurrencia de eventos de remoción en masa. Por lo tanto, también se definió una escala de influencia.

La *Tabla 8*, expone la clasificación de los factores expuestos ante la amenaza, de acuerdo con la afectación y la protección.

Tabla 8. Clasificación de los factores expuestos al deslizamiento.

FACTOR	Valor de Influencia (Vi)	Coficiente de Influencia (Cia)
Geología	3	0,63
Pendiente	3	0,63
Precipitación	4	0,83
Uso del Suelo	3	0,63
Acción Antrópica	4	0,83
Sismo	4	0,83
C. Agua Ad.	3	0,63
	$\Sigma Vi = 24$	$\Sigma Cia = 5$

Fuente. Elaboración Propia

El coeficiente de influencia para la amenaza (C_{la}) se determinó con la *Ecuación 5*, dónde V_i es el valor de influencia asignado.

Ecuación 5. Coeficiente de influencia para la amenaza

$$C_{la} = \frac{V_i * 5}{\sum V_i} = \frac{3 * 5}{24} = 0.63 \text{ Cálculo para la inc. de cada factor (Geología)}$$

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asociado a la vf por taludes

La *Tabla 9*, expone la clasificación de los elementos expuestos a la amenaza, de acuerdo con la afectación y la protección.

Tabla 9. Clasificación de los elementos expuestos al deslizamiento.

ELEMENTO	Valor de Influencia (V _{iv})	Coeficiente de Influencia (C _{lv})
Estructural	3	0,577
Via de Acceso	4	0,769
Est. Hidráulicas	4	0,769
Redes Eléctricas	4	0,769
Redes de Agua P.	4	0,769
Cultivos	4	0,769
C.Agua Ad.	3	0,577
	ΣV _{iv} = 26	ΣC _{lv} = 5

Fuente. Elaboración Propia

El coeficiente de influencia para la vulnerabilidad (C_{lv}) se determinó con la *Ecuación 6*, dónde V_{iv} es el valor de influencia asignado.

Ecuación 6. Coeficiente de influencia para la vulnerabilidad

$$C_{lv} = \frac{V_{iv} * 5}{\sum V_{iv}} = \frac{3 * 5}{26} = 0.577 \text{ Cálculo para la infl. de cada factor (Estructural)}$$

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asociado a la vf por taludes

Al sitio inestable inventariado se le implementó la categorización de amenaza, a partir de la aplicación de los conceptos anteriormente determinados y agrupados en los siguientes intervalos enunciados en la *Tabla 10*.

Tabla 10. Categorización del nivel de amenaza.

Grado	Valor
Muy baja	< 9,28
Baja	9,28-15,03
Media	15,03-20,04
Media alta	20,04-21,33
Alta	> 21,33

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asociado a la vf por taludes

El valor de la amenaza se determinó mediante la *Ecuación 7*, donde *A* representa el valor de la amenaza, *Vf* es el valor del factor (para cada factor detonante del deslizamiento) y *Cla* es el coeficiente de influencia para la amenaza.

Ecuación 7. Indicador de amenaza

$$A = Vf * \sum Cla = 3 * 5 = 15$$

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asociado a la vf por taludes

La probabilidad de ocurrencia se determinó en función de los valores establecidos por la *Tabla 11*, en donde se evidencian los valores de ocurrencia del evento para el valor de amenaza obtenido, que responde a un grado bajo de exposición.

Tabla 11. Probabilidad de ocurrencia.

Amenaza	Probabilidad de ocurrencia	Significado
Muy baja	1/2500	Este límite es comparable con la probabilidad asociada al sismo creíble, máximo que se usa para el diseño de presas en Canadá.
Baja	1/500	Una probabilidad anual de 1/500 es de significado incierto.
Media	1/100	La ocurrencia de un deslizamiento en el término de vida no es probable.
Alta	1/20	Debe esperarse que ocurra un deslizamiento dentro del tiempo de vida de una persona o de una estructura típica, son identificables las perturbaciones pero no parecen recientes.
Muy alta	1/10	El deslizamiento puede ser inminente. Los deslizamientos ocurrirán con un periodo de retorno de 10 años, o menos, y dejarían signos claros de perturbación relativamente frescos.

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asoci. a la vf por taludes

Para la estimación del riesgo asociado a vulnerabilidad física se tuvo en cuenta el valor de la amenaza (frente a movimientos de remoción en masa) y la vulnerabilidad física de 2199 m² (<2200 m² aprox. de extensión superficial de los elementos vulnerables en contexto).

En este orden de ideas, a partir de los valores de amenaza y vulnerabilidad física calculados, se obtuvo el valor del riesgo asociado a vulnerabilidad física por los taludes colindantes con el deslizamiento incidente en zona de operaciones del título minero en cuestión, según la *Ecuación 8*, donde RVF representa el riesgo asociado a la vulnerabilidad física, A es el valor de la amenaza, VF es la vulnerabilidad física y P es la probabilidad de ocurrencia del evento.

Ecuación 8. Riesgo asociado a la vulnerabilidad física

$$RVF = A * VF * P = 15 * 2199 * 0,002 = 65,9$$

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asoci. a la vf por taludes

La anterior ecuación, hizo explícito, el hecho de que la vulnerabilidad física generada por un deslizamiento inestable, disminuye cuando se incrementa la protección del elemento expuesto, a través, por ejemplo, de la construcción o implementación de un muro de contención o drenajes en el caso de una vía.

Los valores de riesgo asociado a vulnerabilidad física para el deslizamiento estudiado se agruparon en los siguientes intervalos:

Tabla 12. Clasificación del riesgo asociado a la vulnerabilidad física.

Nivel de riesgo	Rango de RVF
Bajo	< 66
Medio	66-121
Alto	121-176
Muy alto	> 176

Fuente: Scielo.org.co/evaluación del riesgo asoci. a la vf por taludes

4.3.4 Análisis de Resultados

Del trabajo realizado en campo, fundamental para el apoyo de los requisitos de inspección geotécnica necesarios para la realización del análisis, se estableció que los factores detonantes de movimientos de remoción en masa más relevantes en la zona de incidencia minera del título 161R son: precipitación, geología, sísmica, acción antrópica, uso del suelo, pendiente y corriente naturales de agua presentes; por lo que la evaluación de las consecuencias ambientales negativas del deslizamiento, fue un problema de interés prioritario, ya que se hizo relevante las características del deslizamiento que determinan la afectación ambiental y vulnerabilidad de los elementos ambientales expuestos.

Se consideró que el riesgo asociado a la vulnerabilidad física es bajo, toda vez que se prevé que la ocurrencia del evento amenazante produjera pocos daños, sin comprometer de manera significativa el contexto ambiental, sus condiciones de conservación natural y las estructuras de operación minera que inciden en el sector.

La clasificación del nivel de riesgo de exposición de los elementos identificados como vulnerables, ante el deslizamiento existente, permitieron concluir que el peligro amenazante es de intensidad y consideración ambiental baja.

Bajo las condiciones determinadas a partir del procedimiento adoptado que da cuenta del nivel de exposición de la comunidad a un riesgo bajo de amenaza por el deslizamiento, se concluyó básicamente que la actividad productiva, no se verá afectada en lo económico, social o cultural por causa del fenómeno.

4.4 APOYO A LABORES GEOTÉCNICAS DE PLANEAMIENTO MINERO

La disposición y coordinación previa de todo el recurso técnico involucrado en las actividades mineras de la empresa, requirieron del apoyo en el seguimiento de las labores de evaluación preliminar de geotecnia y análisis de calidad del macizo rocoso a intervenir, para la planeación del proyecto de obtención de contrato de operación para el título minero en virtud de aportes 070-89, expuesto ante la compañía Acerías Paz de Río Votorantim Siderúrgica, y con el cual se pretendía dar estricto cumplimiento a los lineamientos técnicos y ambientales requeridos en la preparación del área productiva de interés.

4.4.1 Generalidades

Las labores de análisis en campo fueron el trabajo fundamental que determinó el planeamiento y control de producción en las operaciones mineras, con lo que se obtuvieron directrices claras para el desarrollo de las labores a ejecutar, estimados de producción, recurso humano, maquinaria y herramientas, en función de las condiciones geológicas, topográficas y de incidencia del área.

4.4.2 Localización y Vías de Acceso

La vía principal de acceso es la carretera que comunica a Paz del Río con Sativa Norte en una longitud de 35 Km, vía con cascajo actualmente en condiciones transitables y 8 Km aproximadamente desde el casco urbano del municipio de Sativa Norte hasta la vereda San Cayetano, donde se planeó el desarrollo del proyecto. El área del polígono es de 28 Ha y 6641 m².

El polígono se halla comprendido por los puntos de coordenadas que se presentan en la *Tabla 13*. El proyecto se sitúa geográficamente en la PLANCHA 152 - IV - C del IGAC.

Tabla 13. Delimitación del área del contrato.

PUNTO	Coordenada N	Coordenada E
1	1.169.536	1.155.718
2	1.169.990	1.155.442
3	1.170.373	1.155.818
4	1.169.999	1.156.128

Fuente: Elaboración Propia

4.4.3 Evaluación Preliminar de Geotecnia

La evaluación geotécnica consistió en establecer las condiciones actuales del macizo rocoso, las cuales permitieron evaluar su comportamiento mecánico y abordar el diseño de estructuras y obras de ingeniería.

El conocimiento de las propiedades físicas y características de resistencia y deformación asociado a su génesis, condiciones, procesos geológicos y tectónicos, facilitaron la determinación de un valor numérico con el cual se definiría la calidad de macizo.

Para lograr definir las características geotécnicas, se realizó visita a campo con el fin de obtener información sobre discontinuidades presentes en superficie y lograr tener datos reales del comportamiento de las rocas frente a las excavaciones proyectadas, el levantamiento sirvió para el análisis que determinó la estabilidad del macizo, además se extrajeron muestras de roca para ser analizadas en laboratorio y poder establecer las características de resistencia mediante ensayo de laboratorio, para este caso ensayo de carga puntual.

4.4.3.1 Metodología de Trabajo

Consistió en la toma de datos de los parámetros del macizo rocoso en campo por observación directa y medición, con elementos como la brújula, flexómetro, disto y martillo, según se evidencia en la *Ilustración 18*; las características principales obtenidas fueron: la orientación (rumbo y buzamiento de las diaclasas), continuidad, espaciamiento, rugosidad, apertura, relleno, meteorización, contenido de agua.

Ilustración 18. Toma de datos en superficie.



Fuente: Autor

4.4.3.2 Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó

Las superficies o planos de discontinuidades de un macizo rocoso condicionan en una forma definitiva sus propiedades y comportamiento a la resistencia, deformación e hidráulica. Las discontinuidades imprimen un carácter discontinuo y anisótropo a los macizos, haciéndolos más deformables y débiles.

Las características de las discontinuidades definirían el carácter propio del macizo rocoso, las cuales junto con observaciones complementarias influyeron directamente en el núcleo o matriz de la estabilidad de este, para ello se necesitaron datos como:

- Orientación. La orientación, se definió como la dirección azimutal en la que la discontinuidad se presentaba, teniendo en cuenta la inclinación de la misma, medida desde un plano horizontal.
- Espaciado. Es un factor que influye en el tamaño de los bloques formado por las discontinuidades y afecta normalmente la permeabilidad del macizo rocoso. El espaciado evidenciado en campo es de 60 mm a 200 mm, por lo que se clasifica como un espaciado Cerrado o Junto, según se evidencia en la *Tabla 14*.

Tabla 14. Espaciamiento de discontinuidades.

DESCRIPCION ESPACIAMIENTO	ESPACIO ENTRE JUNTAS	TIPO DE MACIZO
Muy ancho	>3m	Solido
Ancho	1-3 m	Masivo
Moderadamente cerrado	0,3-1m	En Bloques
Cerrado	50-300 mm	Fracturado
Muy cerrado	<50 mm	Machacado

Fuente: Transcrito de Hoek&Brown, Cálculo de Parámetros Geotécnicos

- Rugosidad. La rugosidad de una discontinuidad viene caracterizada por su ondulación y su aspereza, según la escala descriptiva de observación la rugosidad de los labios de las discontinuidades, Es un factor que influye en la resistencia al corte. Se clasificó en 5 categorías así:

Tabla 15. Rugosidad de discontinuidades.

RUGOSIDAD	
TIPO	CLASIFICACION
1	Muy rugosa
2	Rugosa
3	Ligeramente rugosa
4	Suave
5	Espejo de falla

Fuente: Transcrito de Hoek&Brown, Cálculo de Parámetros Geotécnicos

- Apertura. Se define como la distancia perpendicular que separa a las paredes adyacentes de roca de una discontinuidad abierta, en la que el espaciado intermedio tiene agua o aire; para el caso de estudio se consolidan resultados en la *Tabla 16*.

Tabla 16. Apertura de discontinuidades.

APERTURA	
DESCRIPCION	SEPARACION
Abierta	> 5mm
Moderadamente Abierta	1- 5 mm
Cerrada	0,1 - 1 mm
Muy Cerrada	<0,1

Fuente: Transcrito de Hoek&Brown, Cálculo de Parámetros Geotécnicos

- Relleno. Se define por su espesor, tipo de material, consistencia y continuidad.

4.4.3.3 Representación gráfica de la Estructura Geológica

Los datos tornados en campo fueron analizados y representados gráficamente por la *Ilustración 19*, ésta labor arrojó datos importantes para determinar el comportamiento del macizo rocoso diaclasado.

Ilustración 19. Diaclasamiento típico del macizo rocoso en superficie.



Fuente: Autor

4.4.3.4 Levantamiento de Discontinuidades

Se registró el levantamiento de las diaclasas en el formato de registro de datos del macizo rocoso, que se presenta a continuación:

Tabla 17. Datos de discontinuidades analizadas en superficie.

Punto de Observación	Tipo de plano	ORIENTACIÓN		CONTINUIDAD						ESPACIADO (cm)						RUGOSIDAD			APERTURA (mm)						Repleno		METEO REZACION	CIRCULACIÓN DE AGUA	RESISTENCIA DE LA ROCA		
		AZI	BUZ	SEGÚN RUMBO / SEGÚN BUZ						< 2 cm	2-6	6-20	20-60	60-2m	2-6m	> 6m	ESCAL	ONDUL	PLANA	<0.1	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-2.5	2.5-10	>10	Tipo				Espesor	GRADO
				< 1m	1-3	3-10	10-20	>20m																							
1	d	30	15	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
2	d	32	14	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
3	d	31	13	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
4	d	42	11	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
5	d	44	15	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
6	d	40	15	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
7	d	42	16	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
8	d	36	17	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
9	d	35	14	x							x						x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
10	d	27	13	x										x			x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
11	d	28	12	x										x			x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
12	d	27	14	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
13	d	29	15	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
14	d	27	14	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
15	d	28	13	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
16	d	28	15	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
17	d	27	14	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
18	d	32	12	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
19	d	30	14	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
20	d	29	19	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
21	d	31	17	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
22	d	30	16	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
23	d	29	18	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
24	d	28	16	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
25	d	30	15	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
26	d	55	7	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
27	d	53	6	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
28	d	52	8	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
29	d	54	5	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
30	d	53	6	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
31	d	55	9	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
32	d	55	7	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
33	d	53	8	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
34	d	54	7	x									x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Firme	
35	d	105	88										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
36	d	107	90										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
37	d	106	90										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
38	d	105	88														x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
39	d	107	90										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
40	d	106	90										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
41	d	233	88										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
42	d	233	86										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
43	d	230	88										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
44	d	234	88										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
45	d	235	89										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
46	d	234	90										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
47	d	233	89										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
48	d	235	89										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	
49	d	236	88										x				x				x					Arc	<2mm	Alto	Nulo	Dura	

Fuente: Datos de estudio

El apoyo técnico ofrecido, concluye con la consolidación de los resultados obtenidos en las diferentes secciones de análisis (la chapa, las leonas y sagra), de donde se deduce que se trata de un macizo rocoso regular, con una cohesión entre 150 y 200 kPa y un ángulo de fricción de la roca entre 35° y 40°. Esta clasificación se asume para el miembro superior de la formación carbonífera en general, ya que las rocas componentes y los agentes tectónicos son muy similares.

4.5 VERIFICACIÓN TÉCNICA DE LA ESTABILIDAD DEL SOSTENIMIENTO EN LABORES DE DESARROLLO DE TÚNEL MINERO

La constante necesidad de reforzamiento y mantenimiento de la sección transversal del túnel, desde bocamina hasta la abscisa 015 en la UPM San Felipe (jurisdicción del título minero BE9-091), requirió de la verificación técnica de condiciones de sostenimiento según se muestra en la *Ilustración 20*, en la que se evidenció la inestabilidad amenazante del macizo rocoso, considerando las siguientes hipótesis, que dan cuenta de labores de desarrollo actuales en infraestructura antigua:

- Se carecía de los requerimientos técnicos para la implementación de un sistema de sostenimiento eficiente.
- La calidad de avance de las labores antiguas estuvo determinada por un método de explotación artesanal.
- Se evidenció el contacto frecuente de los elementos de sostenimiento con el agua de infiltración.
- Se rebasó la vida útil de la madera de sostenimiento.
- El emburre y entibado de las secciones intermedias es insuficiente.

Ilustración 20. Verificación técnica de condiciones sostenimiento inestables.



Fuente: Autor

4.5.1 Presiones Mineras

De antemano se consideró que las presiones mineras se presentan cuando se genera una excavación y se redistribuyen las cargas originales. Por esta razón se determinó usar la teoría de Terzaghi para el diagnóstico del reforzamiento estructural.

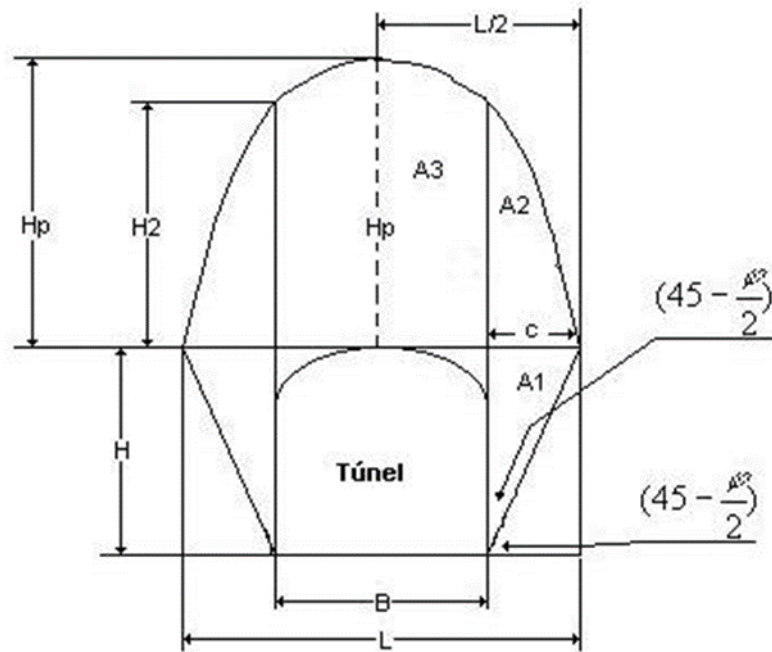
4.5.1.1 Principios Teóricos

El fundamento teórico que soporta el análisis de sostenimiento realizado, fue establecido por Terzaghi, conocido por ser el precursor del cálculo de los esfuerzos en los túneles de obras civiles y su adaptación a los túneles mineros. “Su teoría se fundamenta en las condiciones de carga sobre el túnel y la distribución en forma parabólica, que genera tres sub-áreas”⁹, bajo las condiciones verificadas gráficamente en la *Figura 12*:

- Teoría del arqueo y deslizamiento de bloques sobre el techo del túnel y que generan un área en forma de domo parabólico que descansa sobre las paredes laterales del túnel.
- Clasificación cualitativa de los macizos rocosos.
- Constante de Terzaghi (K_p) para el cálculo de presión en el túnel.
- Altura de carga de la bóveda (H_p) que genera la presión.
- Área de carga vertical sobre el techo del túnel.
- Áreas de carga horizontal sobre las paredes laterales del túnel.

⁹ ECHEVERRÍA RODRÍGUEZ, Jaime. Interacción Suelo – Túnel, con Revestimiento Sometido a Carga Anisotrópica. Proyecto de grado de profundización. Bogotá D.C.: Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería. Maestría en Geotecnia. 2013. 102 p.

Figura 12. Áreas de carga según Terzaghi.



Fuente: Geotec.ar, Adaptada de Excavación y Sostenimiento de Túneles Mineros.

4.5.1.2 Elementos de Cálculo

a. Constante de Terzaghi (K_p)

Tabla 18. Constantes de Terzaghi del área de cálculo de presión mineras para minas de carbón.

Características de estabilidad de las paredes del túnel*	Constante de Terzaghi (K_p)	Altura de bóveda de carga (H_p)
1. Paredes del túnel en roca semifracturada afecta la estratificación y geometría del túnel	De 0,1 a 0,5	$K_p(B)$
2. Paredes similares a las anteriores pero afectados por varios sistemas de discontinuidades y que no producen mayores desprendimiento de roca.	De 0,5 a 1,0	$K_p(B)$
3. Situación similar a la anterior pero produce desprendimiento de los bloques de roca de las paredes del túnel.	De 0,6 a 1,0	$K_p(B + H)$

Fuente: Jojoa, M. Jaime, Manual para el cálculo de la presión minera en túneles de pequeña sección en minas de carbón-UPTC

- b. Ángulo de fricción interna de las rocas de las paredes o ángulo de buzamiento 15.53° (dato tomado de la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo establecidos en el marco técnico del PMA del título minero)
- c. Peso específico de la roca de techo y pared lateral 2.563 Ton/ m^3 (dato tomado de la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas del suelo establecidos en el marco técnico del PMA del título minero)
- d. Ancho y altura media del túnel
- e. Separación entre elementos de entibación (De 0,50 m a 1,50 m)

4.5.1.3 Parámetros Usados en el Cálculo

B = Ancho medio del túnel

H = Altura media del túnel

L = Base o ancho de la parábola de carga

c = Base o ancho de la zona de influencia por efecto del ángulo de fricción interna o base del área uno y dos

H_p = Altura de la bóveda de carga

H_2 = Altura del área dos

K_p = Constante de Terzaghi

ϕ = Ángulo de fricción interno de la roca de la pared lateral

a = Separación entre puertas

γ = Peso específico de las paredes en cálculo

A_1 = Área lateral de carga

A_2 = Área vertical que ejerce esfuerzo lateral

A_3 = Área vertical de carga

4.5.1.4 Ecuaciones Básicas de Cálculo

El procedimiento de cálculo se soportó en estándares técnicos de diseño internacional, que responden al Manual para el cálculo de la presión minera en túneles de pequeña sección en minas de carbón-UPTC, JOJOA M. Jaime, 2004.

Ecuación 9. Área vertical

$$A_3 = B \cdot H_p$$

$$H_p = K_p \cdot B \quad \text{ó} \quad H_p = K_p (B + H)$$

Ecuación 10. Área vertical sobre la pared lateral del túnel

$$A_2 = \left[H_p \left(\frac{L}{2} \right) \cos \left(\frac{B}{L} \right) - H_2 \left(\frac{B}{2} \right) \right]$$

$$L = B + 2c$$

$$c = H \cdot \tan g \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$L = B + 2 \cdot H \tan g \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right)$$

Ecuación 11. Área lateral

$$A_1 = \frac{H \cdot c}{2}$$

Ecuación 12. Presión minera vertical puntual

$$P(t) = A_3 * a * \gamma$$

Ecuación 13. Presión minera vertical sobre unidad de longitud

$$Q_t(t/m) = \frac{P}{B}$$

Ecuación 14. Presión minera vertical específica o sobre área

$$\sigma_t(t/m^2) = \frac{P}{B \times a}$$

Ecuación 15. Presión minera lateral

$$Q_y(t) = Q_t * Ka$$

$$Ka: \text{Empuje Activo} = \tan(45^\circ - (\phi/2))$$

El desarrollo del procedimiento cálculo realizado, para la determinación de los esfuerzos en el túnel minero se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 19. Presiones mineras sobre las labores de desarrollo.

	LABORES DE DESARROLLO
--	-----------------------

PARÁMETROS DE CÁLCULO	UPM San Felipe
Ancho Tunel, B (m)	2
Altura Tunel, H (m)	2.4
Kp	0.3
Ángulo Fricción (°)	15.53
$(45^\circ - \varphi / 2)$ (Rad)	0.649873347
Separación, a (m)	1
Peso específico (Ton/m3)	2.563
c ($H \cdot \tan(45^\circ - \varphi / 2)$) (m)	1.824010971
L ($B + 2c$) (m)	5.648021942
H_p ($K_p \cdot B$) (m)	0.6
H_2 (H_p / L) $\sqrt{(L^2 - B^2)}$ (m)	0.561123114
A_3 ($B \cdot H_p$) (m2)	1.2
A_2 ($(H_p \cdot (L/2)) \times \cos(B/L) - (H_2 \cdot (B/2))$) (m2)	1.028157003
A_1 $H \cdot c / 2$ (m2)	2.188813165
P ($A_3 \cdot \gamma$) (Ton)	3.0756
Q_t (P/B) (Ton/m)	1.5378
σ_t $P/(B \cdot a)$ (Ton/m2)	1.5378

Fuente: Datos de Estudio

Estas presiones mineras se calcularon sobre el sostenimiento en las labores de avance en la bocamina, protegidas por mayor volumen de piso de respaldo y menores presiones de profundidad.

4.5.1.5 Estabilidad de Labores de Desarrollo en Frente de Acceso

Para el análisis teórico se hizo la comparación entre el esfuerzo de flexión del acero, según ficha técnica del perfil seleccionado (Ver Anexo 4), y el esfuerzo ejercido por el techo sobre la sección superior de la entibación en forma de arco que reemplaza a la tradicional puerta alemana, garantizando una solución factible de sostenimiento (Fs). A continuación, se resume el procedimiento de cálculo:

Tabla 20. Factor de seguridad del travesaño en acero para labores de desarrollo.

UPM SAN FELIPE	LABOR	db Sección del Perfil en Acero (cm)	Lb Longitud del Trav. (cm)	Mmax Momento Máximo de Flexión: $0.125 \cdot Q_t \cdot (L_b^2)$ (Kg*cm)	W Modulo de sección del Trav. $(0.098 \cdot (db^3))$ (Cm3)	σ_c Esfuerzo sobre el Trav. (Mmax /W) (Kg/cm2)	Esfuerzo de Flexión Acero (Kg/cm2)	Fs
	Labores de Desarrollo	10	180	7689	98	78.46	150	1.912

Fuente: Datos de Estudio

Se concluyó que, adaptando el sistema de sostenimiento en acero desde bocamina, se garantiza la neutralización eficiente de las cargas generadas sobre el techo de la excavación, considerando fundamentalmente que el factor de seguridad es notablemente satisfactorio, pues supera las 1.2 unidades.

4.6 SEGUIMIENTO TÉCNICO AL PASO DE DERRUMBE

Las complejas labores de explotación de carbón en condiciones climáticas adversas en la UPM El Desagüe (jurisdicción minera del contrato en virtud de aporte No. 161R), estuvieron notablemente marcadas por el fuerte invierno del fin de mes de septiembre y se vieron interrumpidas por un derrumbe atribuido a la subsidencia generada en zona crítica del avance hacia el frente de labores en donde el agua de escorrentía hizo remoción en masa, hasta llegar por infiltración a la parte alta del túnel minero, según se evidencia en la *Ilustración 21*; allí, la presión de sostenimiento fue excedida por el volumen de tierra deslizado y se terminó

debilitando totalmente la rigidez de las secciones de sostenimiento que fueron derrumbadas.

Ilustración 21. Zona crítica de derrumbe sobre avance de túnel minero.



Fuente: Autor

Estas condiciones requerían entonces del acompañamiento técnico para la atención inmediata, en primera instancia con el levantamiento perimetral del terreno derrumbado que daba noción de la magnitud de material removido, en un área de incidencia directa a labores mineras de 144 m², según se evidencia a continuación:

Ilustración 22. Levantamiento perimetral de área removida.



Fuente: Autor

Se delimitó la zona de riesgo con señalización pertinente que pretendía se mitigara la considerable magnitud del riesgo suscitado, sobre todo para el personal que intervendría en las labores de rehabilitación del paso en la línea de circulación y transporte del túnel minero, así:

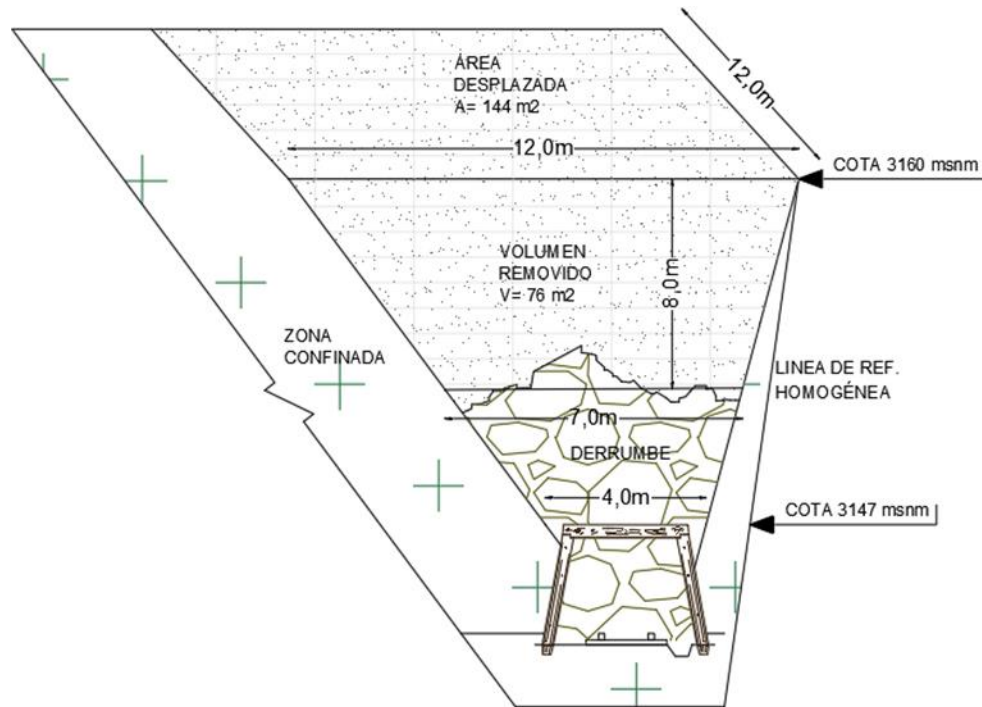
Ilustración 23. Delimitación de zona de riesgo.



Fuente: Autor

Una vez se establecieron los datos de la geometría del derrumbe, producto de las mediciones realizadas, se procedió a calcular el volumen desplazado, según se evidencia en la *Figura 13*.

Figura 13. Explicación de parámetros establecidos en el derrumbe.



Fuente: Elaboración Propia

La verificación de la puesta en marcha de las labores necesarias para el paso del derrumbe, contempló entre otras acciones, la excavación y retiro del material removido, con óptimos estándares de calidad para el trabajo seguro, así:

Ilustración 24. Verificación de labores de excavación y retiro.



Fuente: Autor

4.6.1 Rendimiento de Maquinaria (Retroexcavadoras)

La urgencia de dar solvencia al paso del derrumbe, requirió del uso de la maquinaria disponible que facilitó la realización del trabajo, generando menores tiempos de ejecución lo que se reflejó posteriormente en beneficios económicos.

Se tuvo entonces en consideración que el rendimiento de una máquina se debe medir en función del costo por unidad de material transportado, para determinar esto normalmente se debe tener en cuenta los factores externos que influyen directamente en el funcionamiento de la máquina. Estos factores se deben tener en cuenta a la hora de determinar la eficiencia de la máquina en la labor a desempeñar.

Para la obtención del rendimiento de la retroexcavadora CATERPILLAR 416D-74Hp, se determinaron inicialmente los siguientes parámetros:

R= Rendimiento en m^3/h

Q= Capacidad o volumen del cucharón

E= Factor de rendimiento de la maquinaria

K= Factor de llenado del cucharón

T= Tiempo del ciclo

F.V.= Factor de abundamiento

Inicialmente se determinó el tiempo del ciclo (T), que responde al tiempo que tarda la máquina para llevar a cabo los procesos de excavación, cargue, descargue y posterior retorno al inicio de la acción. Este valor se determinó con la medición en campo que resultó en un tiempo promedio del ciclo de 8 segundos.

La capacidad o volumen del cucharón (Q), se determinó a partir del manual de uso de la máquina que establece una capacidad de $0.93 m^3$ ($1.25 yd^3$) para cucharón de uso general.

El factor de rendimiento de la máquina (E), se obtuvo a partir de la *Tabla 21*, y estuvo en función de las condiciones laborales observadas en el proyecto en mención, con lo que se concluyó un valor correspondiente de 0.69.

Tabla 21. Factores de rendimiento.

Condiciones de la Obra	Coeficiente de Administración o Gestión			
	EXCELENTE	BUENA	REGULAR	MALA
EXCELENTES	0.84	0.81	0.76	0.70
BUENAS	0.78	0.75	0.71	0.65
REGULARES	0.72	0.69	0.65	0.60
MALAS	0.72	0.69	0.65	0.60

Fuente: Vargas S. Roberto, Maquinaria Pesada en Movimiento de Tierras: Descripción y Rendimiento.

El factor de llenado del cucharón (K), se determinó mediante la relación entre la cantidad de material cargado (dato establecido en campo), y la capacidad o volumen del cucharón, lo que resultó en un factor de 1.25.

El factor de abundamiento (F.V.), se estableció a partir del peso del terreno inalterado (B), que está en función del peso específico de 23 KN/m³ hallado en la evaluación de las condiciones geológicas y geotécnicas de la cimentación establecidos en el marco técnico del PMA del título minero. El peso del terreno suelto (L) de 16.96 KN/m³ se obtuvo a partir del registro en báscula del peso de volqueta sencilla dispuesta para la evacuación del material sobrante, con capacidad de 12 m³. El cálculo de éste parámetro se determina con la *Ecuación 16*, así:

Ecuación 16. Factor de abundamiento

$$F.V. = \left(\frac{B}{L} - 1 \right) * 100 = \left(\frac{23 \frac{KN}{m^3}}{16.96 \frac{KN}{m^3}} - 1 \right) * 100 = 35.6 \%$$

Fuente: Vargas S. Roberto, Maquinaria Pesada en Movimiento de Tierras: Descripción y Rendimiento.

El valor anteriormente calculado se comprobó con los lineamientos establecidos en la *Tabla 22*.

Tabla 22. Factor de abundamiento.

CLASES DE TERRENO	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN
Arena o Grava Limpia	de 5 a 15%
Suelo Artificial	de 10 a 25%
Tierra Lama	de 10 a 35%
Tierra Común	de 20 a 45%
Arcilla	de 30 a 60%
Roca Sólida	de 50 a 80%

Fuente: Vargas S. Roberto, Maquinaria Pesada en Movimiento de Tierras: Descripción y Rendimiento.

Una vez establecidos todos los parámetros, se procedió a calcular el rendimiento (R) de la maquinaria, con la *Ecuación 17*, así:

Ecuación 17. Rendimiento de retroexcavadora

$$R = 3600 * Q * E + \frac{K(0.764)}{T} * F.V. = 102.44 \text{ m}^3/\text{h}$$

Fuente: Vargas S. Roberto, Maquinaria Pesada en Movimiento de Tierras: Descripción y Rendimiento.

4.6.2 Tarifa Horaria de Operación

La tarifa horaria de operación resulta ser una herramienta eficiente que permite realizar la gestión adecuada para el control y evaluación del trabajo de la maquinaria, considerando condiciones drásticas de operación como el paso de derrumbe desarrollado. El aumento de los costos de operación en relación con la tarifa horaria promedio, indica fundamentalmente el final de la vida útil. Estas condiciones se deben prever con el seguimiento a un registro estadístico, que facilita determinar el cambio de maquinaria.

Los costos de operación son constituidos principalmente por el costo de combustible, este factor interviene de manera indispensable en la realización mecánica de labores superficiales. Su importancia radica en la obligatoria necesidad de uso de combustible para su funcionamiento; es por esto que se debe estimar un factor de consumo el cual relacione la cantidad de combustible con la actividad

ejercida. Este factor se determina como el producto de la potencia media del motor y un factor de condición del trabajo, en función del tipo de maquinaria usada.

Potencia Media (PM). “Este valor está estimado que es un 65 % de la potencia máxima que ejerce la máquina en actividad normal”¹⁰. Esta potencia está ya definida por un análisis de costo-hora realizado en el manual de tarifa horaria, presentado por la cámara colombiana de infraestructura.

Factor de Condición del Trabajo (FCt). Este valor está ya definido por el anterior análisis citado, que da cuenta de una actividad de condiciones rudas que contempla 0.52 galones de ACPM por CF, según se evidencia en la *Tabla 23*.

Tabla 23. Consumo de gasolina en galones por CF.

Consumo en Galones por CF	Maquinarias
0.52	Retroexcavadoras, cargadores, cilindros, compactadores, motoniveladoras, palas, grúas, dragas, mototraillas y tractores.
0.0308	Volquetas pesadas y tractomulas
0.04	Demas equipos

Fuente: Infraestructura.org/tarifas de operación para equipos de construcción

El factor de consumo de combustible (FC), se calculó a partir de la *Ecuación 18*.

Ecuación 18. Factor de consumo

$$FC = PM * FCt = 0.65 * 0.52 = 0.34125$$

Fuente: Infraestructura.org/tarifas de operación para equipos de construcción

El factor de consumo de ACPM/h se calculó como el producto del 65 % de la potencia máxima de operación de la máquina 74 Hp (según especificaciones técnicas de fábrica) y el factor de consumo de combustible (FC); lo que determinó el valor de 2.52525.

¹⁰ CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA. Tarifas de arrendamiento para equipos de construcción. [En línea]. Bogotá D.C.: Infraestructura. 2010. 31 p. Disponible en https://www.infraestructura.org.co/tarifas/Manual_Usuario.pdf.

El costo de consumo de ACPM/h se calculó como el producto del precio local de un galón de ACPM= \$ 8.324 y el factor de consumo de ACPM/h; lo que da cuenta de \$ 20.020,18/h trabajada.

4.7 CARACTERIZACIÓN VIAL DE ACCESO AL CENTRO DE ACOPIO

Las difíciles condiciones de circulación y transporte de las vías de acceso a las zonas de operación del centro de acopio, y unidades de producción minera del total de áreas de explotación adjudicadas a la empresa, afectaron la optimización de todos los recursos involucrados en la rutina minera. Es así como se decidió intervenir este componente, desde el diagnóstico técnico de condiciones actuales afectadas y requerimientos ambientales complementarios, hasta la propuesta de mejoramiento y rehabilitación necesaria para la infraestructura vial de servicio de la empresa.

4.7.1 Inspección Visual de Daños en Vía de Acceso a Centro de Acopio

Se definió realizar el diagnóstico de los diversos tipos de deterioros en la superficie vial y sus obras complementarias, a partir de la metodología determinada por el INVÍAS en el manual para la inspección visual daños de carreteras destapadas.

4.7.1.1 Levantamiento y Patología de Daños

La metodología definida, se aplicó con el propósito de hacer una revisión del estado real de la superficie, identificar el tipo y magnitud de daño, así como los sectores de la vía más afectados. Las condiciones iniciales de la vía que soportan el diagnóstico previo, necesario en campo, se muestran a continuación:

Ilustración 25. Condiciones iniciales del estado de la vía.



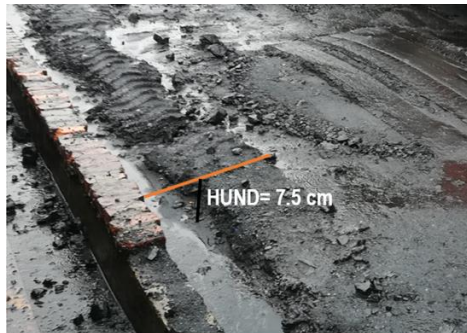
Fuente: Autor

El levantamiento y caracterización patológica de daños estructurales, se desarrolló principalmente con el fin de evaluar las causas y severidades probables de afectación. Esta labor concluyó con la determinación de las siguientes condiciones de deterioro:

- Deformaciones
- Baches
- Lodazal

Deformaciones (HUN). Definidas como hundimientos localizados, relacionados con la pérdida de capacidad de soporte de la subrasante; esta condición está notablemente definida por la insuficiencia estructural, acentuada por el concurrente tránsito del tráfico pesado mediante el cual se comercializa el carbón. Se presentan huellas/hundimientos de 7.5 cm promedio (entre 5 cm y 10 cm), según se evidencia en la *Ilustración 26*.

Ilustración 26. Deformaciones en vía de acceso a centro de acopio minero.



Fuente: Autor

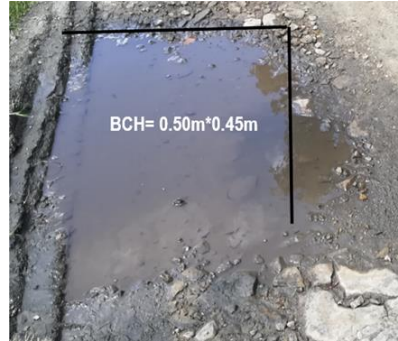
- Área Afectada por Deformaciones: 8.10 m². Esta información se obtuvo a partir de la medición realizada en campo (18 m de longitud deformada por 0.45 m de ancho promedio) y se consignó en el formato adaptado para el registro de daños ya establecido, según las convenciones de la metodología del INVIAS (Ver Anexo 5).

- Localización Principal de Deformaciones: El deterioro principal por deformaciones en la superficie, se localiza en la abscisa 012 del carril derecho de circulación (zona baja – tramo inicial), en el sentido de ingreso al centro de acopio. Esta información se graficó y recopiló en el formato de localización de daños en carreteras diseñado por Universidad Santo Tomás (Ver Anexo 6).

Baches (BCH). El deterioro por baches resulta principalmente de las aguas estancadas en la superficie de la carretera y la carencia del drenaje necesario.

Normalmente el tráfico favorece su desarrollo, afectando el tránsito de los vehículos. Se localizaron baches de > 0.20 m, según se evidencia en la *Ilustración 27*.

Ilustración 27. Baches en vía de acceso a centro de acopio minero.



Fuente: Autor

- Área Afectada por Baches: 6.30 m^2 . Esta información se obtuvo a partir de la medición realizada en campo (sección promedio de 0.50 m por 0.45 m).

- Localización Principal de Baches: El deterioro principal por baches en la superficie, se localiza en la abscisa 021 del carril derecho de circulación (zona intermedia – tramo medio), en el sentido de ingreso al centro de acopio.

Lodazal (LDZ). “Definido como la sección crítica de transitabilidad en época de invierno por acumulación de agua excesiva y condiciones deficientes de drenaje”. El lodazal localizado abarca toda la sección transversal de la vía, según se evidencia en la *Ilustración 28*¹¹.

Ilustración 28. Lodazal en vía de acceso a centro de acopio minero.



Fuente: Autor

¹¹ PERÚ. MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de carreteras conservación vial. [En línea]. Lima: Dirección general de caminos y ferrocarriles. 2013. 1243 p. Disponible en http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4877.pdf.

- Área Afectada por Lodazal: 2.10 m². Esta información se obtuvo a partir de la medición realizada en campo (sección promedio de 5.20 m por 0.40 m).

- Localización del Lodazal: El deterioro puntual por el lodazal identificado, se localiza en la abscisa 039 del carril izquierdo de circulación (zona media alta – tramo final), en el sentido de ingreso al centro de acopio.

4.7.1.2 Condiciones de Drenaje y Señalización

El manejo del agua que hace presencia en las actividades rutinarias de operación del centro de acopio minero, era ineficiente en la medida en que se requería de la construcción de las estructuras complementarias del tratamiento y drenaje de aguas de escorrentía, con el fin de dar solución al arrastre de sólidos finalmente dispuestos en predios privados a borde de vía principal.

Estos requerimientos se hicieron oficiales mediante concepto técnico No. 825 del 17 de febrero del 2016 emitido por Corpoboyacá, con base en la visita previa de funcionarios representantes de la autoridad ambiental, a las instalaciones del centro de acopio. La respuesta de cumplimiento a la solicitud oficial, se ejecutó de inmediatez, con la construcción de un canal transversal de retención de sedimentos de arrastre e instalación de rejilla de protección y mantenimiento. En la *Ilustración 29* se verifica la optimización de las condiciones de drenaje requeridas.

Ilustración 29. Optimización de condiciones de drenaje requeridas.



Fuente: Autor

Las condiciones de circulación vehicular en el ingreso y desplazamiento hacia el área de desarrollo de actividades de logística, son aptas debido a la presencia de señalización vial necesaria en la ruta de circulación, según se logra evidenciar en la *Ilustración 30*, mientras que en la zona alta de la vía (tramo final), es notable la carencia de señalización que indique la ruta de cargue y descargue con respecto al turno cedido, pretendiendo así, evitar traumatismos en la recepción y despacho del carbón.

Ilustración 30. Verificación de señalización existente.



Fuente: Autor

4.7.1.3 Evaluación del Estado de la Superficie

Finalmente se buscó establecer un fundamento cuantitativo que definiera la intervención necesaria en la rehabilitación de la vía en cuestión. Esto se logró con la calificación a criterio de las condiciones anteriormente verificadas en trabajo de

campo y calificadas según los lineamientos ambientales vigentes, en un rango de puntuación variable entre el 1 y el 10, en dónde el uno se asume como la condición deficiente, y el diez como la condición óptima, así:

- Calificación del Estado de la Superficie: 6
- Calificación de las Condiciones de Drenaje: 7
- Calificación de la Señalización: 8

4.7.1.4 Caracterización Geométrica de la Vía

Con base en las calificaciones establecidas, se planeó realizar la optimización del componente vial, a partir de la construcción de placa huella en el total de extensión longitudinal de la vía. La ejecución de esta labor, garantizaría el estado funcional del tránsito y transporte del carbón, considerado parámetro esencial para el proceso productivo involucrado, y se constituiría como la solución definitiva a las patologías localizadas, con el propósito de ofrecer condiciones favorables en la infraestructura de servicio. Se realizaron mediciones en campo para definir las condiciones geométricas de la vía, como se muestra en la *Ilustración 31*. Esta actividad arrojó los siguientes resultados.

- Longitud Total a Intervenir= 45 m
- Ancho Promedio= 5.0 m

Ilustración 31. Caracterización geométrica de la vía.



Fuente: Autor

4.7.1.5 Cantidades de Obra y Presupuesto

Con base en las propiedades geométricas ya establecidas, se determinó proyectar la construcción de placa huella como alternativa de solución, que pretende agilizar las tareas de formulación y diseño, generando ahorro en costos y tiempo.

La construcción de placa huella, considerará de fondo algunos parámetros ya estandarizadas, tales como: “viabilidad de ejecución en tramos viales con pendientes longitudinales mayores al 10 %, viguetas reforzadas intermedias de 0.15 m de ancho por 0.25 m de altura, localizadas cada 3 m de longitud y viguetas reforzadas inicial y final de 0.25 m de ancho por 0.30 m de altura extendidas transversalmente en todo el ancho de vía hasta la cuneta, capa de relleno inferior de 0.15 m de subbase granular con pendiente transversal mínima del 2 % para generar el bombeo que facilite el escurrimiento del agua sobre la placa huella hacia las cunetas”¹².

La elaboración de las cantidades de obra y presupuesto requerido para la puesta en marcha de la adecuación vial, se enmarcó en los siguientes ítems (Ver Anexo 7):

- (1.10) Preliminares
- (1.20) Movimiento de tierra
- (1.30) Estructura huellas vehiculares
- (1.40) Obras complementarias y varios

La configuración de las propiedades físicas de la placa huella, apuntará a crear resistencia al deslizamiento por efectos de pendiente.

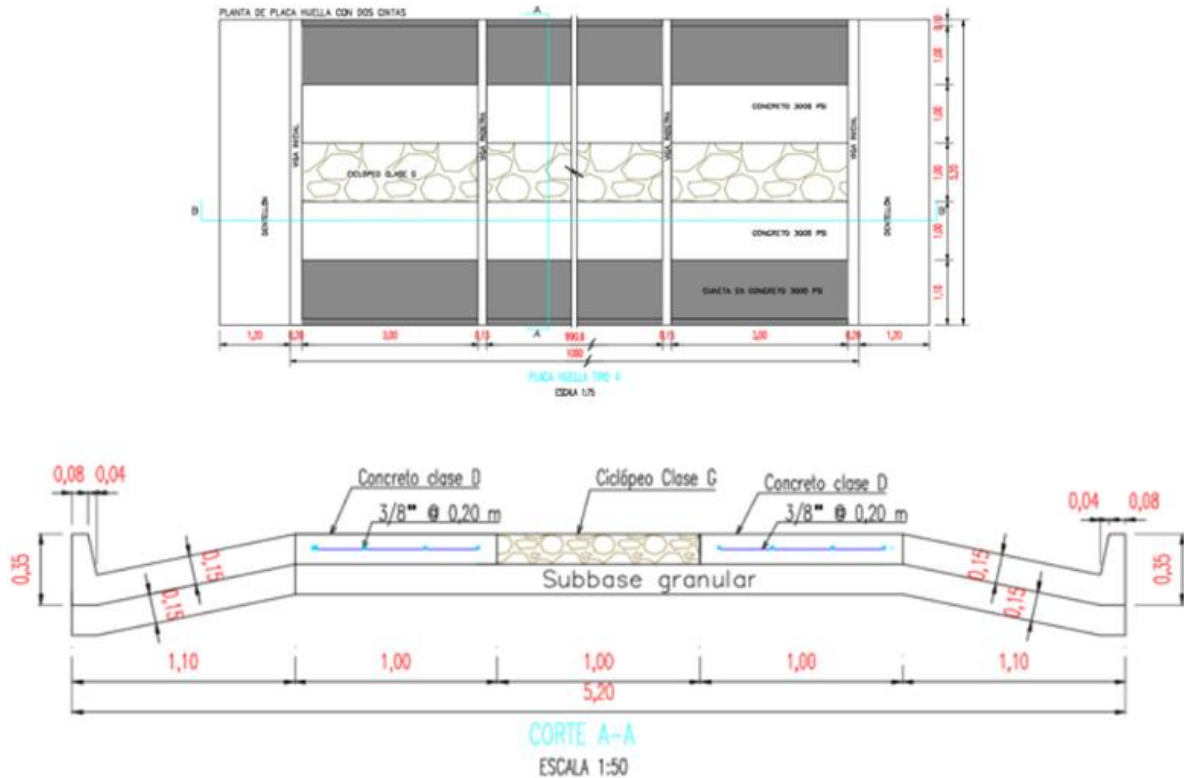
El manejo del drenaje se llevará a cabo mediante dos cunetas, ubicadas cada una de estas en sus extremos. Así mismo estará compuesta por dos rieles de concreto reforzado (Clase D), de 1 m de ancho contiguos a las cunetas. Los rieles mencionados anteriormente deben estar separados por una placa de concreto ciclópeo (Clase C), de 1 m de ancho. Esta conformación permitirá la circulación de vehículos en un sentido, según se observa en la *Figura 14*.

El espesor tipo de losa estará definido en 0.15 m de concreto ($f'c = 201 \text{ kg/cm}^2$). El refuerzo de dicha losa, se efectuará con barras corrugadas de 420 MPa (4200

¹² INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual de drenaje para carreteras. [En línea]. Bogotá D.C.: Subdirección de apoyo técnico. 2009. 538 p. Disponible en <https://bit.ly/2sulrMf>.

kg/cm²). Para el refuerzo transversal, longitudinal y flejes (estribos), se empleará acero de 3/8", separados entre sí cada 0.20 m y para las viguetas de 1/2"¹³.

Figura 14. Detalles de placa huella.



Fuente: DNP, Mejoramiento de vías mediante el uso de placa huella

4.8 SUPERVISIÓN A PROCESO CONSTRUCTIVO

La necesidad de disponer de un espacio auxiliar para la reparación y ensamble de las piezas y accesorios fundamentales del funcionamiento de la maquinaria y equipo disponible para la operación minera, determinó la reanudación de labores constructivas en las instalaciones contiguas al almacén de depósito de la empresa, en dónde anteriormente se avanzó en actividades de organización y logística con la proyección estructural requerida.

La proyección estructural planeada, se fundamentó en la construcción de los cimientos y cubierta de las instalaciones, en un área de 375 m² (25 m de largo por 15 m de ancho). Los diseños, memorias de cálculo estructurales y presupuesto de

¹³ DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella. [En línea]. Bogotá D.C.: Subdirección territorial y de inversiones públicas. 2016. 44p. Disponible en <https://bit.ly/2JN2vC7>.

ejecución, fueron previamente establecidos, por lo que se requirió sólo de la supervisión técnica en obra.

El proceso constructivo se reinició con el desarrollo y ejecución organizada de los ítems establecidos en el presupuesto. Estas actividades se reanudaron el día 09 de septiembre del 2017, con el siguiente personal en obra:

- 1 maestro general
- 1 oficial
- 2 ayudantes

El personal anteriormente enlistado fue afiliado a las prestaciones exigidas por la ley.

4.8.1 Preliminares

La verificación del inicio seguro de obra, requirió la necesidad de aislar la zona a intervenir mediante el cerramiento en lona y la delimitación del área de acopio del material sobrante con cinta de demarcación.

4.8.1.1 Localización y Replanteo

La ejecución de esta actividad contempló una extensión a intervenir en superficie de 25 x 11.2 m entre ejes longitudinales y transversales respectivamente, sin considerar los espacios laterales de la extensión total de la cubierta hasta el empalme con la infraestructura de servicio existente. Se contrataron servicios topográficos locales para determinar el área de labores preliminares, según se evidencia a continuación:

Ilustración 32. Localización y replanteo.



Fuente: Autor

4.8.1.2 Excavación Manual en Material Común

La cantidad de material excavado y removido fue de 19 m^3 , según las cantidades de obra previamente establecidas. En las labores de excavación se encontró roca que fue removida mediante martillo rompedor, como se muestra en la *Ilustración 33*; también, en el eje A se observó la presencia de nivel freático, lo que implicó recomendar que en un futuro cercano se debe pensar en la construcción de un filtro para evacuar el agua localizada y evitar así inconvenientes sobre la presión de poros excesiva que se llegare a presentar en la cimentación construida.

Ilustración 33. Excavación manual en material común.



Fuente: Autor

4.8.1.3 Demolición Andén/Contrapiso Concreto $E > A$ 12 cm

Se demolieron 6 m^2 longitudinalmente con un espesor $> 0.12 \text{ m}$ en el eje B, en el que se presenta que la zona aledaña antiguamente construida en concreto, se encuentra fisurada en su mayoría, por lo que se hizo necesario la ampliación del área, como se ve en la *Ilustración 34*.

Ilustración 34. Excavación manual en material común.



Fuente: Autor

4.8.1.4 Relleno con Material de Afirmado Compactado

Se requirió de 6 m³ de recebo compactado para el relleno y homogeneidad de las secciones intervenidas. La verificación de esta actividad se evidencia en la *Ilustración 35*.

Ilustración 35. Relleno con material de afirmado compactado.



Fuente: Autor

4.8.2 Estructuras en Concreto Reforzado

La realización de este ítem con cada una de sus actividades, no tuvo consideraciones especiales, por lo que su ejecución se logró totalmente a satisfacción con respecto a las cantidades de obra ya establecidas.

En la elaboración del concreto, se utilizaron materiales de la zona, así: cemento portland tipo I gris marca ARGOS, gravilla de diámetro $\frac{3}{4}$ " a 1" de la cantera ubicada en Paz de Rio; arena lavada de cantera ubicada en zona rural de Socha y agua proveniente del acueducto del municipio de Socha. Se realizó el diseño de la mezcla para lograr mínimo 3000 psi a compresión.

4.8.2.1 Base en Concreto Pobre

Espesor de 0.05 m y resistencia a la compresión de 14 MPa (2000psi).

Ilustración 36. Base en concreto pobre.



Fuente: Autor

4.8.2.2 Concreto de Zapatas

Resistencia a la compresión de 21 MPa (3000psi).

Ilustración 37. Concreto de zapatas.



Fuente: Autor

4.8.2.3 Columnas en Concreto

Resistencia a la compresión de 21 MPa (3000psi) y altura menor a 3 m.

Ilustración 38. Columnas en concreto.



Fuente: Autor

4.8.2.4 Concreto Ciclópeo

Resistencia a la compresión de 17.5 MPa (2500psi) y relación 60C/40P.

Ilustración 39. Concreto ciclópeo.



Fuente: Autor

4.8.2.5 Suministro Figurada y Amarre de Acero

Resistencia a la tracción de 4320 MPa (60000psi) – PDR 60.

Ilustración 40. Suministro figurada y amarre de acero.



Fuente: Autor

El día 20 de noviembre del 2017, se verifica la ejecución total de las actividades correspondientes a los ítems: preliminares y estructuras en concreto reforzado.

4.8.3 Carpintería Metálica

Las actividades concernientes a la estructura metálica, se inician el 20 de noviembre del 2017, con la cotización y adquisición del material estructural.

4.8.3.1 Suministro e Instalación Perfilería Metálica

Finalmente se allegan a obra 6 tubos estructurales de 10-3/4", e= 9 mm, y las placas de acero A36, para iniciar la labor de construcción de las columnas estructurales soporte de la cubierta, proyectados según dimensiones y calibres establecidos en el diseño, según se muestra en la *Ilustración 41*.

Ilustración 41. Estructura metálica en tubo 10-3/4" – Columna.



Fuente: Autor

Paralelo a esta labor se verificó en el taller de ornamentación y soldadura local, la fabricación y ensamble de los demás elementos estructurales, mayormente con tubería estructural para cerchas 1-1/2" y perfil metálico para correas, como se muestra en la *Ilustración 42*.

Ilustración 42. Fabricación de estructura en taller.



Fuente: Autor

La verificación técnica ofrecida al proceso constructivo, terminó el día 25 de noviembre del 2017, con un 89% de ejecución.

4.9 REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EN VIVIENDAS RURALES

Con base en la solicitud hecha por planeación municipal ante la ANM, con motivo de visita técnica para el reconocimiento geológico y estructural, que determinaran las causas de fondo en la aparición de grietas en paredes y pisos de las viviendas de la comunidad, atribuidas a la actividad minera de los títulos 161R y FIU-082 de jurisdicción de la empresa, y formalizadas mediante manifiesto verbal en la dependencia; se procedió a hacer la representación del departamento técnico de la empresa, con el acompañamiento en campo a la visita programada para el día 18 de octubre del 2017 y seguimiento al proceso de reconocimiento y valoración estructural de daños en las casas afectadas. Previamente el ente fiscalizador verificó la constitución legal de los contratos de concesión en cuestión, con lo que se establece un registro minero por 30 años, Plan de Trabajo y Obras (PTO) aprobado y licencia ambiental otorgada por CORPOBOYACÁ.

La presentación del comité técnico designado para la visita y facultado por la normatividad vigente para firmar los hallazgos reportados, involucró en primera instancia a funcionarios de la ANM (ALFONSO ROSAS C. – Ing. Geólogo), Corpoboyacá, Planeación Municipal y formalmente al director del departamento de gestión ambiental de la empresa (ROLANDO S. VEGA – Ing Civil), según se evidencia en la *Ilustración 43*. Así, se procedió a realizar el reconocimiento estructural en campo, bajo el concepto de fiscalización integral de títulos mineros.

Ilustración 43. Conformación del comité técnico designado para la visita.



Fuente: Autor

4.9.1 Reconocimiento Estructural en Campo

El informe sobre la inestabilidad del terreno y la evaluación de las posibles causas que generaron las afectaciones estructurales, emitido por parte de la ANM con conceptos geotécnicos del reconocimiento geológico e inspección técnica minera, constituyó el soporte técnico que definió la caracterización de daños estructurales en cada vivienda afectada.

La inspección de afectaciones estructurales se realizó vivienda a vivienda, en cada una de las cuales se valoró la extensión y alcance de los tipos de daños identificados. A continuación, se relaciona el inventario de viviendas afectadas con su respectivo registro fotográfico (Ver Anexo 8):

Tabla 24. Inventario de verificación de daños en viviendas afectadas.

DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	COORDENADAS		HALLAZGO	EVIDENCIA
		Norte	Este		
CASA DE SARA RINCÓN	Construcción en mampostería de ladrillo y cubierta en teja de eternit sin amarre estructural, cimientos en roca	1150789	1153405	Grietas en muros y pisos de hasta 5 cm de espesor y daños marcos de puertas y ventanas	FOTO 1 Anexo 8
CASA DE HELENA VERGARA	Construcción en muros de adobe y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca	1150764	1153355	Grietas en muros y pisos de hasta 8 cm de espesor	FOTO 2 Anexo 8
CASA DE MARCO ARISMENDY	Construcción mixta: una parte en muros de adobe y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca, y otra parte en mampostería en bloque de cemento, vigas de cimentación y corona, y columnas en concreto	1150690	1153603	Grietas en muros y pisos de hasta 3 cm de espesor en construcción de adobe, fisuras en muros de hasta 3 mm de espesor en construcción de bloque de cemento	FOTO 3 Anexo 8
CASA DE ALEJANDRO ARISMENDY	Construcción en muros de adobe y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca	1150338	1153557	Grietas en muros y pisos de hasta 15 cm de espesor. Esta situación obligó al desalojo inmediato antes de un inminente colapso estructural	FOTO 4 Anexo 8
CASA DE GENARO DURÁN	Construcción en mampostería ladrillo y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca	1150592	1153670	Grietas en muros perimetrales de hasta 3 cm de espesor	FOTO 5 Anexo 8
CASA DE EDUARDO RINCÓN	Construcción en muros de adobe y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en ciclópeo	1150684	1153726	Grietas en muros de 7 cm de espesor. Construcción abandonada	FOTO 6 Anexo 8
CASA DE LEONCIO FUENTES	Construcción en muros de adobe y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca	1150758	1153689	Fisuras en muros y pisos de hasta 4 mm de espesor. Se determinó previamente que esta vivienda está ubicada en la trayectoria del movimiento en masa	FOTO 7 Anexo 8

CASA DE MANUEL VARGAS	Construcción en mampostería de ladrillo y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca	1150957	1153711	Fisuras en muros de hasta 2 mm de espesor	FOTO 8 Anexo 8
CASA DE JESÚS MARÍA CARVAJAL	Construcción en mampostería de ladrillo y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en ciclópeo	1150693	1153429	Fisuras en muros de hasta 9 mm de espesor	FOTO 9 Anexo 8
CASA DE REGULO VERGARA	Construcción en mampostería de ladrillo y tapia pisada con cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en ciclópeo	1150679	1153428	Grietas en muros de hasta 3 cm de espesor	FOTO 10 Anexo 8
CASA DE CONSUELO VARGAS	Construcción mixta: una parte en muros de adobe y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, y otra parte en mampostería de ladrillo y teja de eternit, cimientos en roca	1150612	1153427	Fisuras en piso de placa de contrapiso de hasta 5 mm de espesor	FOTO 11 Anexo 8
CASA DE BLANCA ALBARRACÍN	Construcción en mampostería de ladrillo y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca	1150554	1153442	Grietas en muros y pisos de hasta 4 cm de espesor	FOTO 12 Anexo 8
CASA DE ALBERTO VARGAS	Construcción en mampostería de ladrillo y cubierta en teja de eternit sin amarre estructural, cimientos en roca	1150513	1153480	Grietas en muros internos y pisos resanadas de hasta 5 cm de espesor	FOTO 13 Anexo 8
CASA DE CAMILA LEÓN	Construcción en muros de adobe y cubierta en teja de barro sin amarre estructural, cimientos en roca	1150483	1153501	Grietas en muros y pisos resanadas de hasta 6 cm de espesor	FOTO 14 Anexo 8

Fuente: Elaboración Propia

Como paso seguido a la valoración técnica realizada en campo y la recopilación de datos necesarios para la evaluación estructural, se socializó en comité técnico las conclusiones del proceso desarrollado, a partir del cual se establecieron las acciones pertinentes como aporte de la empresa al requerimiento de la comunidad ante planeación municipal.

Las conclusiones desde el concepto geológico - minero emitido por la ANM, apuntan a que las afectaciones en muros y pisos por la aparición de grietas y fisuras registradas para las 14 viviendas valoradas, son motivo suficiente para identificarlas como vulnerables; toda vez que se verificó que fueron construidas sobre un depósito cuaternario de origen coluvial que corresponde a un deslizamiento antiguo, el cual no obstante de haber tenido periodos de quietud, en el momento registra movimientos lentos de reptación como consecuencia del fuerte invierno que se registró en la región para los meses de agosto y octubre del 2017, además de

evidenciar el manejo incompleto de las aguas de escorrentía superficiales y nulidad casi total del cumplimiento de parámetros sísmo resistentes (93 %).

En el ámbito operacional del proceso productivo minero, se concluyó que las labores de explotación tuvieron un alcance mayor a lo inicialmente planeado para cada UPM, en donde se debilitó el machón de protección, que generó considerables luces de vacíos subterráneas, causando el movimiento de la masa del suelo ladera abajo, favorecido por la pendiente a favor del terreno, por lo que, se recomendó al titular minero de los contratos de concesión 161R y FIU-082 implementar medidas de mitigación del riesgo, como la explotación en cuadros intercalados con dimensiones suficientes que según sugirió el ente fiscalizador, permiten controlar la subsidencia del terreno, en razón a que dicha subsidencia es el principal detonante de la desestabilización del terreno.

Adicionalmente se infirió que las labores de desarrollo y preparación del avance de dos túneles mineros contiguos en cada título, se dirigen en línea de falla hacia tres de las viviendas afectadas, por lo que se impone medida preventiva de alcance.

4.9.2 Desarrollo del Reforzamiento Estructural

4.9.2.1 Diagnóstico Estructural

Como consecuencia de los movimientos del terreno sobre el cual fueron cimentadas las 14 viviendas valoradas, se consideró como agravante el hecho de que las viviendas fueron construidas con mampostería de ladrillo, adobe y tapia pisada, con cubiertas en teja de barro y eternit, y cimientos en roca, sin vigas de cimentación, corona, ni columnas de concreto, lo que constituye la ausencia total del amarre estructural necesario para el cumplimiento de las especificaciones normativas. Esta situación contempló de fondo el desarrollo de la técnica de construcción empleada, que apunta a un conocimiento empírico – artesanal, con lo que se involucró a la oficina municipal de gestión del riesgo, que pretende generar un monitoreo constante en el fenómeno de remoción en masa incidente.

Con base en el diagnóstico del reforzamiento necesario en todos los elementos estructuralmente vulnerables de las viviendas, se determinó hacer inmediata la puesta en marcha de las acciones profesionales pertinentes, estrictamente según los lineamientos de la NSR-10.

4.9.2.2 Sistema de Reforzamiento Estructural

La inspección de los elementos no estructurales mayormente y estructurales mínimamente afectados, tienen implicación de riesgo en construcciones de (1) piso de altura para todas las unidades de vivienda valoradas. La configuración de las edificaciones es regular en planta y en altura. El sistema estructural que predomina es el de mampostería estructural, con muros de adobe, ladrillo común, tapia pisada y bloque cemento. Las cubiertas están principalmente construidas en teja de barro y cielo de raso en bareque, salvo algunas viviendas en las que se encontró perfilería metálica de soporte de cubierta y teja de eternit. La cimentación fue construida principalmente en roca y escasamente en concreto ciclópeo.

El estado de conservación estuvo definido por el levantamiento de afectaciones estructurales ya definidos para cada unidad de vivienda. La identificación de los elementos estructurales básicamente apuntó a estructura de cubierta, pese a la presencia pobre de elementos estructurales tales como columnas de concreto, viguetas y vigas de los entrepisos. En general el análisis realizado de aporte al reforzamiento estructural, estuvo dirigido a la verificación del comportamiento sísmico en viviendas medianamente afectadas por la subsidencia y movimiento del terreno explotado.

4.9.2.2.1 Calidad del Diseño y Construcción Original

La determinación de la calidad del diseño original de las condiciones constructivas predominantes anteriormente expuestas, se traduce en la tecnología de construcción existente para la época en la que se construyeron las edificaciones.

Como paso seguido a la inspección y evaluación de calidad de materiales, se determinó que las unidades de vivienda verificadas, responden a edificaciones desarrolladas con mediana técnica constructiva en su época, aceptable conformación de su estructura en cuanto a geometría y aspecto común de los elementos estructurales en cuanto a resistencia y durabilidad.

Considerando de fondo que las manifestaciones de daño que se aprecian son de consideración media con respecto a un asentamiento progresivo en la cimentación, se determina que los daños afectan mayormente a los elementos no estructurales, por lo que la calificación del estado de las estructuras existentes de acuerdo con la Tabla A.10-4-1 establecida en la NSR-10 es REGULAR, según se evidencia a continuación:

Tabla 25. Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación.

	Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación		
	Buena	Regular	Mala
ϕ_c o ϕ_e	1.0	0.8	0.6

Fuente: Tabla A.10-4-1, Título A NSR-10

Con el fin de determinar el comportamiento estructural de las 14 viviendas valoradas, se debe definir si estas se encuentran en capacidades aptas de resistencia y comportamiento según los lineamientos de la NSR-10. De acuerdo a lo anterior, se definieron los parámetros que se calificó el grado de vulnerabilidad y capacidad de la estructura, que dan cuenta de la calidad y estado de las construcciones, así:

- Factor de reducción de resistencia por calidad de la obra: $\phi_c = 0.8$
- Factor de reducción de resistencia por estado de la estructura: $\phi_e = 0.8$

Estos factores soportaron el procedimiento de cálculo propuesto para la futura intervención estructural. La complejidad de la puesta en marcha del reforzamiento estructural necesario, estará definido por la verificación detallada de los índices de sobre esfuerzo de la estructura, a partir de los cuales se definirá por exceso, la intervención de los elementos involucrados.

4.9.2.2.2 Uso y Capacidad de Disipación de Energía

El uso residencial ya definido para las viviendas de la comunidad rural, permitió definir las cargas vivas a usar en la proyección del diseño de reforzamiento estructural. Según se evidencia en la siguiente adaptación de la tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10, así:

Tabla 26. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.

Ocupación o Uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
Residencial	Cuartos privados y sus corredores	1.80	180
Cubierta	Tipo liviana	0.5	50

Fuente: Adaptado de Tabla B.4.2.1-1, Título B NSR-10

El uso de las viviendas corresponde a estructuras de ocupación normal, para casas de uno y dos pisos, pertenecientes al Grupo de Uso I¹⁴

La determinación de los parámetros sísmicos necesarios para efectos del cálculo estructural, se muestran a continuación:

Localización: Municipio de Socha (Boyacá)

Zona de amenaza sísmica (Tabla Apéndice A-4 NSR-10)

ALTA

Coeficiente de aceleración pico efectiva (Apéndice A.4 NSR-10)

Aa= 0.25

Coeficiente de velocidad pico efectiva (Apéndice A.4 NSR-10)

Av= 0.25

Tipo de perfil del suelo

D

Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos

Fa= 1.30

Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos interm.

Fv= 1.90

Coeficiente de importancia para Grupo de Uso I (Tabla Apéndice A.2.5-1 NSR-10)

I= 1.00

Una vez establecidos los parámetros sísmicos de consideración general en el diseño del reforzamiento estructural de las viviendas involucradas, se procede a determinar el espectro de diseño, así:

Ecuación 19. Espectro de diseño

$$Sa = 2.5 * Aa * Fa * I = 0.813$$

Fuente: Apéndice A.2.6-3, NSR - 10

Las construcciones reforzadas se clasificarán como **Edificaciones en Mampostería**, las cuales responderán a estructuras espaciales resistentes a momentos esencialmente completos, sin diagonales, que resisten todas las cargas verticales y las fuerzas horizontales.

Conforme a los materiales identificados en las estructuras valoradas y del sistema de resistencia sísmica, se estableció que el grado de disipación de energía del proyecto de reforzamiento estructural, corresponde a: **Disipación de Energía Especial.**

¹⁴ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10. 2010. Apéndice A.2.5.1.4. Bogotá D.C.

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, es completamente aceptable el diseño de estructuras con capacidad especial de disipación de energía DES para el sistema estructural de mampostería convencional en nivel de amenaza sísmica alta. Por lo tanto, el coeficiente de capacidad de disipación de energía básico a aplicar es de $R_0 = 5.0$.

El análisis de la geometría convencional para la época de construcción y rigidez de elementos de las viviendas, concluyó los siguientes resultados:

Irregularidades en Planta (Tabla Apéndice A.3-6 NSR-10)

Irregularidad torsional	si
Retrocesos en las esquinas	si
Discontinuidad en el diafragma	si
Desplazamiento en el plano de acción	si
Sistemas no paralelos	si

Irregularidades en Altura (Tabla Apéndice A.3-7 NSR-10)

Irregularidad en rigidez	si
Irregularidades en distribución de masa	si
Irregularidad geométrica	si
Desplazamiento en el plano de acción	si
Discontinuidad en la resistencia	si

El aumento de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas, estará fundamentalmente determinado por las irregularidades en planta y altura anteriormente evaluadas, pero además dependerá de la “insuficiencia o ausencia de cimentación, mala distribución de los muros en planta, pérdida de la verticalidad o plomo de los muros, protección contra la humedad, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias al interior de los muros, carencia de trabe entre muros y pérdida de recubrimiento de muros”¹⁵.

4.9.2.2.3 Alternativas de Reforzamiento Estructural

Como criterio general se establece que la evaluación sísmica realizadas a las viviendas, corresponde a la aplicación de la NSR-10, normatividad vigente la cual es posterior a la construcción de la gran mayoría de casas, razón por la cual, una vez se determina la vulnerabilidad, se propone la intervención o rehabilitación con

¹⁵ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. [En línea]. Bogotá D.C.: Forec. 2005. 90p. Disponible en <https://bit.ly/2GXMDLa>.

el fin de lograr la conservación de las construcciones para soportar la acción sísmica establecida, es decir, mejorar la respuesta a un nivel muy superior al que se poseía antes de la intervención.

Con estas consideraciones se concluye que el agrietamiento registrado en las unidades de vivienda valoradas, fue suscitado fundamentalmente por la carencia de cubiertas rígidas, elementos estructurales (vigas y columnas) y deterioro de las propiedades mecánicas de los materiales. Por esta razón se suscitaron fallas por flexión perpendicular al plano del movimiento de masa en las áreas no confinadas de muros sueltos, esta situación provocó severas grietas de hasta 15 cm en el caso más crítico y un desplazamiento importante de las piezas rotas que conforman los muros.

La rehabilitación de las viviendas construidas en adobe y tapia pisada fue prioridad en el momento de garantizar una solución general de calidad eficiente para el óptimo acondicionamiento estructural. Siendo así, se determinó seguir los estándares oficiales ya establecidos por la normatividad vigente, definidos por la AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), que establece directrices técnicas para la reparación y reforzamiento de construcciones en adobe y tapia pisada (Ver Anexo 9).

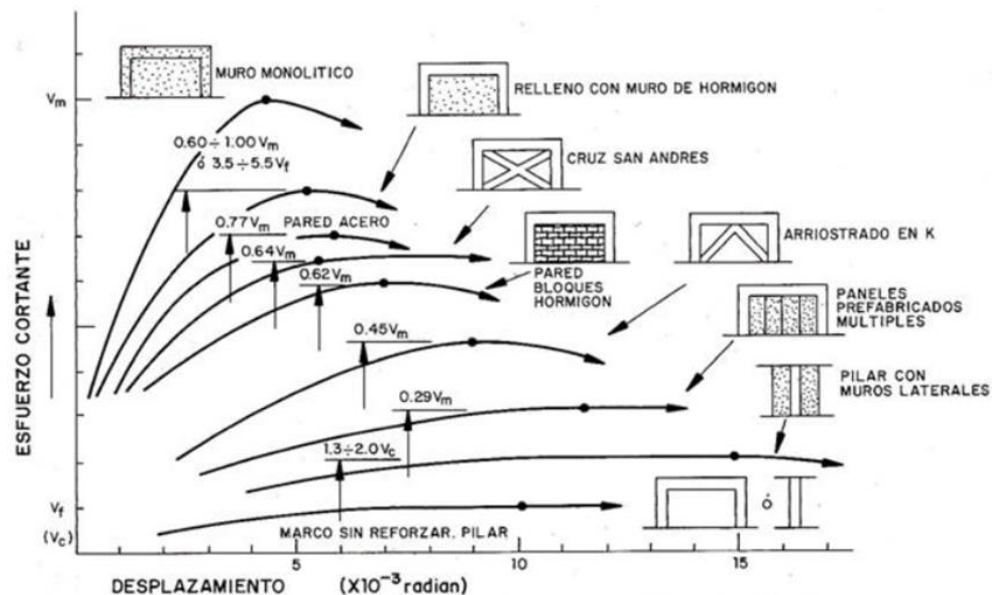
La rehabilitación de los elementos estructurales y no estructurales afectados en las viviendas construidas en mampostería estructural en ladrillo común, se planeó lograr a partir del siguiente proceso:

- a. Se debe apuntalar firmemente la cubierta con vigas y vértices de soporte.
- b. Se debe demoler los muros o secciones de muros agrietados y desplazados.
- c. Se debe colocar la armadura de las columnas de refuerzo, picando el recubrimiento de las existentes y colocando el acero de refuerzo según los detalles establecidos en los diseños que planeación municipal suministre.
- d. Se debe conectar firmemente las varillas de las columnas con vigas de amarre del techo. Si no existen, se deben colocar vigas invertidas en el techo.
- e. Reconstruir los muros demolidos.
- f. Llenar los espacios carentes de columnas, placas y vigas con concreto de especificaciones técnicas definidas según la resistencia y el diseño de mezcla que planeación municipal suministre.

Adicionalmente se planeó fijar de inmediato una solución provisional que resguardara las condiciones actuales de rigidez de los muros, por tal razón se determinó definir un sistema general de rigidización provisional como medida de

prevención temporal para la eventual aplicación antes intervenir técnicamente cada vivienda, con fines de reforzamiento estructural. En la *Figura 15*, se ilustra a manera de ejemplar, la respuesta que ofrecen las distintas alternativas de rigidización provisional proyectadas para el reforzamiento estructural necesario, frente a la acción de las fuerzas sísmicas.

Figura 15. Eficiencia de los distintos sistemas de rigidización.



Fuente: Construccionesdh.com/Rigidización

Los factores que se tuvieron en cuenta en determinar la ductilidad de las alternativas expuestas, dependieron fundamentalmente de la mayor adaptación de los sistemas de rigidización a los tipos de muros afectados en común de las 14 viviendas. Por tal razón, se determinó que la solución de mayor eficiencia es la conformación de pantallas o muros de concreto.

Con las consideraciones anteriores sobre el sistema de reforzamiento estructural, se tuvo que definir la intervención de los elementos netamente estructurales para establecer el incremento de su rigidez y el mejoramiento de su ductilidad.

4.9.2.2.4 Criterios de Reforzamiento Estructural

La solución del reforzamiento estructural se enfocó en la minimización del impacto de las obras necesarias en los inmuebles, garantizando la satisfacción del cumplimiento de los requerimientos de ley en cuanto a la anulación de la exposición a vulnerabilidad sísmica y minimización del riesgo suscitado por el desplazamiento del terreno de cimentación y subsidencia generada por la explotación minera,

pretendiendo así, la mayor eficiencia posible en. El planteamiento de la rehabilitación desde el punto de vista del comportamiento estructural, estuvo dirigido a satisfacer los requerimientos normativos y con ellos los criterios que constituyeron la NSR-10, pretendiendo garantizar en el tiempo, la conservación de las viviendas con la garantía del mejor comportamiento ante la eventualidad de un colapso del terreno, a causa del avance en la explotación minera y eventualmente movimientos sísmicos.

4.10 LABORES PRELIMINARES PARA PROYECTO DE VIVIENDA

El desarrollo del enfoque social de la empresa está dirigido a ofrecer soluciones en beneficio de la calidad de vida de los operarios, por tal razón, se determinó implementar un proyecto de vivienda unifamiliar dirigido al gremio minero perteneciente al recurso humano de la empresa, en pro de resarcir la problemática habitacional de carácter económica que se evidenció en las precarias condiciones de vivienda del minero promedio.

La problemática habitacional actualmente afecta considerablemente el bienestar de cualquier hogar de bajos ingresos, es por eso que la gestión de la empresa, para la realización del proyecto, resulta ser un aporte muy relevante en el desarrollo urbano del municipio.

La justificación del proyecto estuvo enfocada en determinar el impacto requerido en la adquisición de vivienda propia, especialmente para los hogares con ingresos más bajos, que constituyen el punto crítico a partir del cual se definieron los indicadores de adquisición de vivienda, como se muestra a continuación:

Tabla 27. Datos de referencia sobre adquisición de vivienda en Colombia.

No.	INDICADOR
1	El 76.4% de la población cuenta con ingresos menores a 4 SMMLV
2	El 47% de la población cuenta con ingresos menores a 2 SMMLV
3	En las familias con ingresos menores a 2 SMMLV solo se cubre el 30% de la demanda de vivienda.
4	El 70% de la demanda de VIS es informal
5	Actualmente la producción de vivienda cubre el 60% del crecimiento anual de los hogares

Fuente: Tomado de Conpes 3583, Departamento Nacional de Planeación (DNP)

El proceso de adquisición de vivienda aplicó en primera instancia únicamente para el personal operativo de la empresa con el aval de buen comportamiento crediticio

en centrales de riesgo. La financiación del proyecto se planeó hacer con utilidades propias de la explotación minera y créditos empresariales en banco aliado, y la adquisición del crédito para la inversión en vivienda propia, consideró el beneficio de intereses bajos en las cuotas mensuales, reembolsadas en convenio de nómina entre la empresa y el banco.

4.10.1 Estudios Previos

La necesidad de implementar el proyecto de vivienda desde los lineamientos técnicos de fundación y diseño, contempló esencialmente las labores preliminares que enseguida se desarrollarán.

4.10.1.1 Levantamiento Topográfico del Terreno

Se realizó el levantamiento topográfico y digitalización en plano, del terreno dispuesto para la puesta en marcha del proyecto, con el registro de 42 puntos ajustados a los linderos del predio de propiedad de la empresa, según se evidencia en la *Figura 16*.

La constitución legal del inmueble, se ajustó a la delimitación legal realizada por el Mapa Nacional del Sistema Catastral, en donde se definió la matrícula inmobiliaria, el destino económico, la dirección y el área de terreno (Ver Anexo 10).

Figura 16. Polígono de delimitación de área destinada para proyecto de vivienda.



Fuente: Elaboración Propia

4.10.1.2 Requerimientos para la Aprobación de Licencia de Construcción

Los estudios previos a implementarse para la ejecución del proyecto, estuvieron definidos por los requisitos técnicos establecidos por planeación municipal de Socha (Boy) para la presentación de licencias de construcción (Ver Anexo 11), en dónde formalmente se requiere de localización e implantación, diseño arquitectónico, memorias de cálculos y diseños estructurales, y estudio geotécnico.

4.11 APOYO AL DISEÑO DE PLACAS DE CONTRAPISO

4.11.1 Placa de Contrapiso en Punto de Material Sobrante

A partir de las visitas periódicas y de seguimiento en la formalización minera realizada por parte de Min Minas a la UPM San Felipe (jurisdicción del título minero BE9-091), se requirió el reacondicionamiento de base y estructura del punto de disposición del material sobrante producto de las labores mineras, pese a las condiciones precarias de almacenamiento verificadas, según se evidencia en la *Ilustración 44*.

Ilustración 44. Diagnóstico inicial del punto de disposición de material sobrante.



Fuente: Autor

Por esta razón, se determinó realizar el diseño de la placa de contrapiso destinada para un área de 5.71 m² correspondiente a este espacio.

4.11.1.1 Memorias de Cálculo

Se realizó una inspección visual, como diagnóstico del terreno base del punto de disposición del material sobrante, en la que se evidenció:

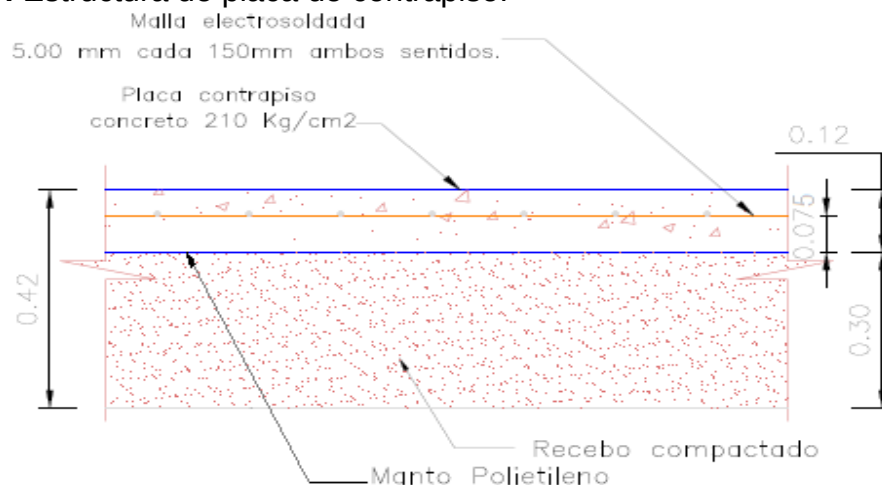
- Una capa de aproximadamente 25 cm de espesor de relleno no compactado.
- Material compuesto por tierra suelta y escombros producto de una demolición
- A los 25 cm se localizó el terreno natural, compuesto por material agregado de consistencia media.

Con base en lo anterior, y considerando los lineamientos establecidos por la NSR-10, se determinó una carga transmitida al suelo de 35 Kg (peso promedio de los elementos de chatarra dispuestos, según sus materiales de composición), y un área de contacto de 5.71 m², por lo que el esfuerzo transmitido a la fundación calculado fue de 6.13 Kg/m².

La ausencia del nivel freático con respecto al nivel de la placa de fundación, facilitó igualar las presiones de suelo y de contacto, con lo que se determinó usar relleno compactado al 90%, pensando en evitar los asentamientos puntuales en los extremos de la placa.

Para la construcción de la losa maciza de contrapiso, se decidió usar concreto de 21 MPa (hecho en obra 1:2:2 con área de río y grava de 3/4"), malla electrosoldada de 420 MPa, s= 150x150mm y $\Phi= 5.0$ mm, insumos y herramienta menor. El diseño típico ya establecido de la sección transversal, se muestra en la *Figura 17*.

Figura 17. Estructura de placa de contrapiso.



Fuente: Adaptado para lineamientos de Título C, NSR-10

4.11.1.2 Procedimiento Constructivo y Especificaciones Técnicas

Las consideraciones técnicas para la construcción de la loza maciza de contrapiso en el punto dispuesto, se detalla a continuación:

- a. Se colocan testers y se extiende la malla electrosoldada en terreno compactado.
- b. Se verifican las dimensiones, niveles y bordes de la placa.
- c. Se vacía el concreto con el espesor y nivel indicado.
- d. Se vibra para eliminar el máximo de burbujas en el concreto.
- e. Se hace el curado con agua durante mínimo una semana.
- f. Se desencoфра y se realizan reparaciones y resanes.

4.11.2 Placa de Contrapiso en Taller de Servicio

A partir de las visitas periódicas y de seguimiento en la formalización minera realizada por parte de Min Minas a los títulos mineros contiguos 161R y FIU-082 de jurisdicción de la empresa, se requirió el reacondicionamiento de la base del punto de labores de reparación y equipo en el patio del taller dispuesto para las actividades de explotación minera, pese a las condiciones precarias de servicio verificadas, según se evidencia en la *Ilustración 45*.

Ilustración 45. Diagnóstico inicial del punto de reparación y equipo.



Fuente: Autor

Por esta razón, se determinó realizar el diseño de la placa de contrapiso destinada para un área de 11.20 m² correspondiente a este espacio, según el procedimiento anteriormente adoptado y con las mismas consideraciones técnicas de fondo.

4.12 SOLICITUD DE REÚSO DEL AGUA RESIDUAL MINERA

4.12.1 Generalidades

La necesidad de dar un uso posterior al efluente tratado proveniente de la extracción minera de carbón, se planeó lograr a partir de la implementación de un plan de aprovechamiento y reúso del agua en la UPM “Marrubial” jurisdicción del título minero DLH-081. Se determinó entonces como propósito fundamental, establecer un soporte técnico que justificara los métodos y procedimientos, con los cuales se proyecta la favorabilidad de concesión del recurso hídrico con concepto de reúso, dando así cumplimiento a los lineamientos ambientales requeridos por la Corporación Autónoma y Regional de Boyacá CORPOBOYACA.

4.12.2 Ubicación

El proyecto minero de explotación carbonífera bajo tierra “Marrubial”, se encuentra ubicado en la vereda Guatatamo, Municipio de Socotá (Boy); georreferenciado bajo las coordenadas:

Tabla 27. Delimitación del área del proyecto.

PUNTO	NORTE	ESTE
P.A	1156695.87	1158626.99
1	1157030.00	1159800.00
2	1156350.00	1159800.00
3	1156830.00	1160700.00
4	1157030.00	1160700.00
5	1157030.00	1160515.00
6	1157029.00	1160016.00
7	1157030.00	1160016.00

Fuente: Corpoboyacá, Concepto técnico LA-1677/06

4.12.3 Características del Proyecto

El título minero en virtud de aportes DLH-081, contempla la explotación de carbón metalúrgico para la producción de coque, en condiciones óptimas de operación y producción de calidad de la materia prima; realizando una extracción por medio de labores bajo tierra en un área estimada de 39,5 Ha.

4.12.4 Características del Efluente Minero

La concurrente presencia de agua en cantidades considerables en los frentes de trabajo de la UPM Marrubial, hizo necesaria la implementación de medidas de evacuación a superficie, a partir de equipos de bombeo que impulsan el volumen depositado para la conducción en mangueras, hasta el Sistema de Tratamiento de Aguas Mineras (STAM) y disposición final.

4.12.4.1 Caracterización Fisicoquímica del Agua

El muestreo del efluente minero que soportó la caracterización organoléptica del agua extraída de la UPM Marrubial, se llevó a cabo el día 8 de septiembre del 2017 y se realizó en la entrada del agua residual minera al sistema de tratamiento, según se evidencia en la *Ilustración 46*. Se obtuvo una muestra simple en el punto de ensayo, teniendo presente que se procedió en la mitad del ciclo de bombeo, permitiendo captar el efluente en condiciones máximas de operación. Con éste análisis se pretendía conocer las condiciones fisicoquímicas del agua y la eficiencia de su uso, determinando así la necesidad de optimización del STAM.

Ilustración 46. Toma de muestra de agua en la entrada al STAM.



Fuente: Autor

Se verificó el procedimiento adecuado a partir de la custodia del muestreo y análisis, que fueron contratados con LABORATORIOS ANALIZAR LTDA, entidad certificada por el IDEAM para llevar a cabo la caracterización del efluente minero.

Los resultados de laboratorio concluyeron que el análisis realizado para cada parámetro organoléptico del agua residual minera, certificó fundamentalmente que las condiciones de calidad del efluente minero en la entrada al STAM son óptimas (Ver Anexo 12), por lo que se avaló entonces, que la operación del sistema de tratamiento existente será siempre máxima en la salida, en función de la necesidad de remoción de contaminantes físicos, químicos y biológicos, que justifican la existencia de los tanques sedimentadores. Lo que favoreció que la infraestructura para el tratamiento es suficiente, y con esta se garantizó el cumplimiento a satisfacción de los lineamientos consignados en la Resolución 1207/2014 “Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales”¹⁶.

Estas consideraciones preceden el soporte técnico a partir del cual se estableció que para el desarrollo de la solicitud, las variables fisicoquímicas y microbiológicas caracterizadas presentaron concentraciones inferiores a los valores máximos aceptables, razón por la cual, se omitió una caracterización de muestra de agua adicional para la salida del STAM y se procedió entonces a establecer la optimización del diseño de la infraestructura hidráulica existente que certificara la operación eficiente de tratamiento del agua residual minera.

4.12.5 Memorias Técnicas

4.12.5.1 Cálculos Preliminares

Para efectos de cálculo se realizó la medición del caudal total en el punto de entrega del efluente minero al STAM a partir del método volumétrico. Los caudales fueron tomados en trabajo de campo el día 15 de septiembre del 2017, se realizaron 10 pruebas volumétricas en el punto de generación que soportan los siguientes resultados:

Tabla 28. Medición de caudales – Método Volumétrico.

Generador	Caudal PM	Caudal Total
BM Marrubial	2,88 l/s	2,88 l/s

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el caudal de diseño a usarse en el sistema de tratamiento implementado para el efluente minero, se consideraron los tiempos de mayor

¹⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1207 (25, junio, 2014). Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. El Ministerio. Bogotá D.C., 1993. 9 p.

precipitación en el año, con el fin de garantizar la capacidad máxima en condiciones críticas con las que debe operar cada una de las estructuras hidráulicas complementarias del sistema de tratamiento. Por consiguiente, fue fundamental determinar los datos base del total de flujo de agua proyectado para condiciones máximas de la operación minera, y se logró a partir de datos oficiales establecidos en la constitución higrológica del municipio de Socotá (Boy) fundamentados en las cartas de precipitaciones establecidas por el IDEAM que determinan 860mm de precipitación máxima anual.

4.12.5.2 Diseños de Ingeniería Básica

4.12.5.2.1 Sistema de Tratamiento de Aguas Mineras

Se decidió implementar la optimización del STAM existente en servicio del proyecto minero, dispuesto para la depuración físico-química del agua, a partir de la actualización del diseño técnico del tanque sedimentador y su proceso de sedimentación.

La operación del proyecto minero dispone de tres (03) unidades sedimentadoras de alta tasa –flujo ascendente, a partir de las cuales se logró la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. La estructuración del proceso de sedimentación implementado en el tratamiento de las aguas residuales mineras del proyecto, se estableció a partir de la invención de tanques convencionales que garantizan una eficiente remoción de sólidos suspendidos, comprobada con la obtención de un fluido clarificado y una suspensión más concentrada.

El cálculo de los parámetros de diseño de las unidades sedimentadoras, estuvo a cargo del director del departamento de gestión ambiental. Los resultados son los siguientes:

- Caudal Unitario (Q_u)= 0.96 l/s
- Volumen de Almacenamiento (V_a)= 5.85 m³
- Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)= 34 min
- Velocidad de Sedimentación (V_s)= 0.00178 m/s
- Profundidad de Sedimentación (H_s)= 3.63 m
- Carga Superficial (q_s)= 25 m³/ m²*día
- Área Superficial (A)= 3.32 m²

Con el cálculo de los anteriores parámetros se comprobó que las propiedades geométricas ya establecidas de los tanques de sedimentación existentes (Ver

Anexo 13), son estructuralmente suficientes para satisfacer la necesidad de tratamiento de la cantidad de agua extraída y transportada desde el efluente minero. Con esto se comprobó adicionalmente, que, según los resultados de los análisis de laboratorio realizados, el STAM adoptado resulta ser la solución eficiente para obtener porcentajes óptimos de remoción, no obstante, la prevención de posibles contingencias, sugieren el monitoreo frecuente de las condiciones de conducción del efluente minero y las variaciones de la calidad del agua que ingresa al STAM.

4.12.6 Proyecto de Reúso del Agua Residual Minera

La solicitud estuvo fundamentada en la entrega del 65% del recurso hídrico generado a un uso posterior de fines agrícolas, con concepto de cultivos de pastos y forrajes para el consumo animal y el 35% restante a la humectación de la vía de acceso y circulación del frente de operaciones mineras con fines de control del material particulado emitido; así se argumentó, la exoneración del titular de licencia ambiental, de allegar permiso de vertimientos ante la autoridad ambiental, conforme se expresa en el artículo 4 de la resolución 1207 de 2014.

4.12.6.1 Sistema de Reúso Agrícola

Las condiciones intrínsecas ya definidas del sistema de reúso agrícola a implementarse, antecedieron la determinación de las propiedades de calidad, capacidad y asimilación del suelo a ser irrigado.

Se destinó una extensión de terreno de propiedad de la empresa de 1.0 Ha, localizada dentro de la jurisdicción del título minero para fines de irrigación con concepto de reúso del agua.

En esta área se determinaron las zonas potenciales del aprovechamiento agrícola, garantizando así las condiciones aptas de terreno para el cultivo de pastos y forrajes, según se expone gráficamente en la *Ilustración 47*.

Se realizó el levantamiento topográfico de reconocimiento del área destinada al regadío de cultivos agrícolas. Esta labor arrojó los siguientes resultados:

- Limite Norte y Sur= 200 m
- Límite Este y Oeste= 50 m
- Superficie= 1.0 Ha
- Pendiente N-S= 29.5 %
- Pendiente E-O= 18 %

Ilustración 47. Localización de área destinada al regadío de cultivos forestales.



Fuente: [Google.es/intl/es/earth/index.html](https://www.google.es/intl/es/earth/index.html)

4.12.6.1.1 Características de Operación

Estas condiciones estuvieron definidas por la necesidad de irrigación y las especificaciones técnicas propias del objeto esencial de la operación de riego, tales como: presión requerida, radio de mojado, caudal de operación, velocidad de aplicación y altura de operación. Se determinó entonces usar el aspersor Rain-bird modelo 20B-ADJ.

4.12.6.1.2 Características Agronómicas

Las condiciones de asimilación del terreno a ser irrigado estuvieron fundamentalmente determinadas por la caracterización de la vegetación nativa predominante y su especie oriunda o exótica más abundante. Las praderas existentes de Kikuyo se constituyeron como la especie de flora más común en 1,0 Ha de área destinada para el regadío, sus propiedades se definieron según el estudio de caracterización agronómica contratado para la solicitud.

4.12.6.1.3 Características del Suelo

Se realizó el estudio de suelos correspondiente al terreno en cuestión con el objetivo de establecer los parámetros fundamentales de diseño que involucran las diversas variables físicas, químicas y geotécnicas incidentes en las condiciones naturales propias del suelo.

Se analizó una muestra de suelo, tomada de la unificación de seis sub-muestras, con las que se representaron las diferentes condiciones del terreno, extendiendo así, la cobertura de análisis que pretendía evitar la segregación de las condiciones edáficas del lugar. Las sub-muestras fueron referenciadas geográficamente según se muestra en la *Tabla 29*. Para extraer las muestras inicialmente se realizó una limpieza de la capa vegetal del lugar a muestrear y a partir del uso de un barreno de apiques se tomaron 20 cm de suelo por cada sub-muestra. Después del proceso de muestreo, el material recolectado fue almacenado, rotulado y dispuesto a procedimiento de análisis de laboratorio.

Tabla 29. Medición de caudales – Método Volumétrico.

MUESTRA	COORDENADAS		
	N	W	Z
Sub Muestra 1-1	6°0'45.20"	72°37'59.73"	2711
Sub Muestra 1-2	6°0'44.34"	72°37'59.02"	2718
Sub Muestra 1-3	6°0'43.84"	72°38'1.66"	2694
Sub Muestra 1-4	6°0'43.40"	72°38'0.81"	2702
Sub Muestra 1-5	6°0'41.67"	72°38'3.05"	2684
Sub Muestra 1-6	6°0'41.46"	72°38'3.13"	2688

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados del estudio de suelos fueron acogidos e interpretados por un profesional contratado, quien sintetizó el análisis realizado con los datos necesarios para efectos de cálculo (Ver Anexo 14).

Como paso seguido a establecer las propiedades del suelo agrícola en el que se proyectó dar disposición final del agua, se realizó la prueba de infiltración que permitió determinar las condiciones in situ del predio a beneficiarse y la capacidad hídrica de recepción del efluente minero, según se consideró previamente, para dar continuidad al procedimiento técnico.

La prueba de infiltración realizada procuró tener en cuenta una amplia selección de lugares que representaron la totalidad de extensión del predio, requiriendo para ello tres ensayos de filtración, localizados en las zonas de cotas altas medias y bajas del predio. Este proceso se llevó a cabo bajo el método de Infiltrómetro de Doble Anillo (Anillo de Munz), y se ejecutó teniendo en cuenta una selección estratégica del lugar crítico convergente de cargas hídricas. Los resultados obtenidos se consolidaron en el formato de análisis establecido por el profesional contratado (Ver

Anexo 15). A continuación, se enuncian los datos necesarios para el diseño de los sistemas de riego planificados:

- Textura Predominante de Suelo= Franco arcillosa
- Densidad Real del Suelo= 2.19 gr/cm^3
- Humedad del Suelo: Muestra Húmeda= 587.52gr, Muestra Seca= 544gr
- Lámina de Agua Almacenada en el Suelo= $14.56 \text{ m}^3/\text{cm/ha}$
- Contenido de Agua Útil = 24%

4.12.6.1.4 Diseño del Sistema de Riego

Considerando entonces las condiciones propias de la interacción agua-suelo, se logró determinar que el uso de 19.41 m^3 de agua al día corresponderá al 65% del caudal extraído y destinado a suplir la demanda de riego.

El diseño del sistema de riego por aspersión, fue elaborado por un profesional externo que se fundamentó en los aportes técnicos anteriormente desarrollados. Los parámetros calculados para tal fin, se enlistan a continuación:

1. Lámina de riego
2. Dosis total de riego
3. Intervalo de riego
4. Disposición de laterales de riego
5. Tiempo de riego
6. Superficie de riego
7. Número de laterales
8. Número de aspersores

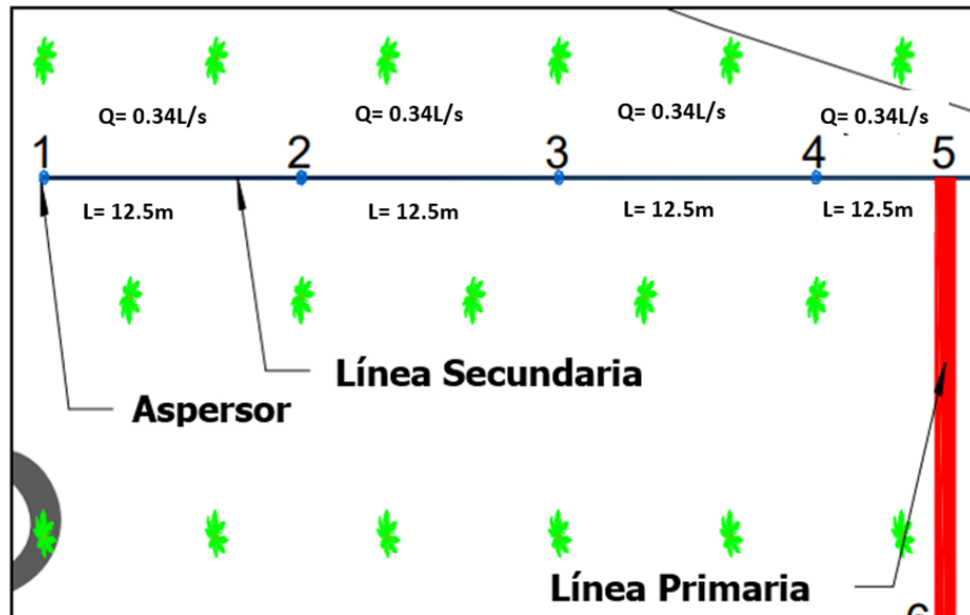
El caudal disponible para la operación del sistema de riego, estuvo definido por el módulo de consumo del agua para el sector minero, establecido por la Universidad Pontificia Bolivariana socializado técnicamente el 11 de diciembre/2014, y con el que se determinaron $0,22 \text{ L/s*Ha}$ de consumo. “Esta dotación relacionada con la optimización de entradas y consumos de agua para la conservación de cultivos productivos sostenibles en $10000\text{m}^2=1\text{Ha}$ ”¹⁷. También fue necesario considerar las condiciones máximas de precipitación incidentes en la zona de desarrollo del plan

¹⁷ RÍOS ARANGO, José A. Guía metodológica para determinar módulos de consumo y factores de vertimiento de agua. [En Línea]. Medellín: Upb. 2010, 76 p. Disponible en <https://bit.ly/2EM8vqW>.

de reúso del agua, que reportan 860mm (Rango 800mm – 1000mm) en el mes de máxima precipitación¹⁸.

Finalmente, con el procedimiento de cálculo anterior, se logró consolidar el diseño del sistema de riego para el aprovechamiento agrícola, que consideró las propiedades expuestas en la *Figura 18*.

Figura 18. Características del sistema de riego.



Fuente: Elaboración Propia

El diseño hidráulico de las propiedades físicas de la red de distribución, estuvo basado en la fórmula de Hazem-Williams, con la que se pretendía encontrar el diámetro interno de las tuberías de distribución del sistema de riego por aspersión, en función del caudal circulante (Q), longitudes necesarias (L), pérdidas de carga por diferencias de nivel (hf) y factor de fricción para tubería de PVC (C), así:

Ecuación 20. Diámetro interno de la tubería

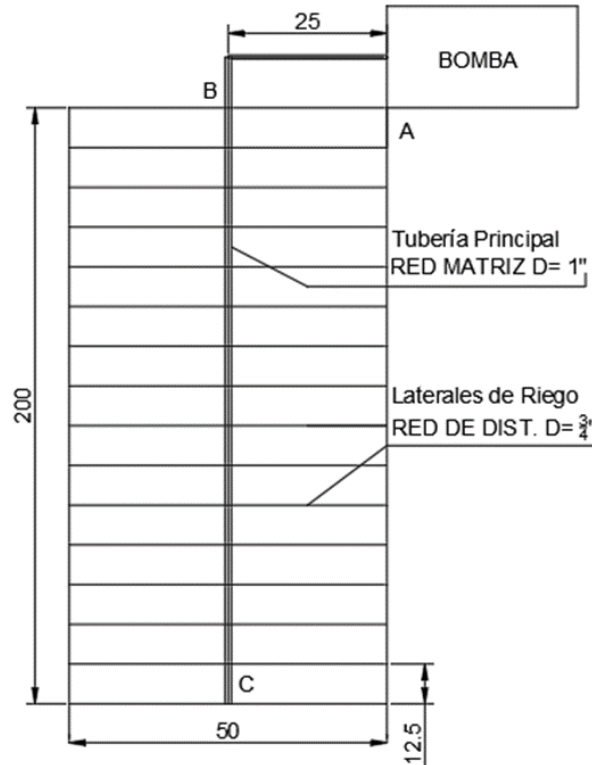
$$D = \left[\frac{3157 * Q^{1.852} * L}{C^{1.852} * hf} \right]^{0.2053}$$

Fuente: Hazen - Williams

¹⁸ IDEAM. Solicitud de información hidrológica – Cartas de precipitación/estación Comeza Hoyada [En Línea]. 2014. Disponible en <https://bit.ly/2wZflGv>.

Una vez realizada la evaluación del diámetro mínimo sugerido por la ecuación empleada, se concluyó que, para la tubería principal o red matriz, se requería de un diámetro de 25.4 mm ($1'' > 25.21$ mm, según el cálculo realizado) en los tramos A-B y B-C. Los laterales de riego o red de distribución, requerían de un diámetro de 19.1 mm ($3/4'' > 18.9$ mm, según el cálculo realizado), como se muestra a continuación:

Figura 19. Implantación de red de distribución del sistema de riego agrícola.



Fuente: Elaboración Propia

Los requerimientos de bombeo necesarios en la impulsión y distribución del agua en toda la red de distribución, se calcularon para la capacidad física de potencia de la bomba, y para el motor. Estos parámetros consideraron datos fundamentales anteriormente calculados, tales como: caudal de operación de todo el sistema de riego, carga total del sistema definida en el diseño hidráulico y eficiencia de trabajo de la bomba. Según los resultados obtenidos, se requería de una bomba de 7 HP (>5.4 HP), lo cual dependería de los productos existentes en el mercado y de sus curvas de rendimiento.

4.12.6.2 Sistema de Humectación Vial

El fundamento de la implementación del sistema de humectación vial, se enfocó hacia garantizar las medidas de control y establecer los niveles de reducción requeridos en las emisiones asociadas al proyecto; estableciendo así, un mecanismo que contribuyera a disminuir la producción de material particulado (sistema de supresión de polvo) y resguardar las condiciones atmosféricas y medioambientales adyacentes a la UPM.

Este proceso consistió entonces, en humectar la totalidad de área de labores superficiales a partir de la mitigación de emisiones de material particulado generado por el tránsito de vehículos, camiones y maquinaria circulantes sobre la vía de acceso a operaciones mineras y actividades superficiales complementarias.

El desarrollo del sistema de humectación vial se planeó ejecutar en un área de 1300 m², extensión ocupada por la vía de acceso a zona de preparación y desarrollo minero, según se muestra en *Ilustración 48*.

Ilustración 48. Localización de área destinada a la humectación vial.



Fuente: Google.es/intl/es/earth/index.html

4.12.6.2.1 Parámetros Preliminares

El proceso de diseño del sistema humectación se soportó técnicamente en el volumen necesario para irrigación en función del área y se justifica fundamentalmente a partir de la evaluación del “consumo para riegos de empedrados de 1.5 L/ m²”¹⁹, sugerida por la NTC-1500 vigente. El caudal necesario

¹⁹ INSITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 1500 (03, noviembre, 2004). Código colombiano de fontanería. El Instituto. Bogotá D.C., 1993. 17 p.

para satisfacer la necesidad del sistema de humectación es de 11.7 m³ de agua al día, y representa el 35% del efluente total generado en las labores mineras. Las características de operación estuvieron determinadas por las mismas variables que influyeron en la necesidad de irrigación del sistema de riego agrícola, por lo que, se determinó entonces usar el aspersor Rain-bird modelo 20B-ADJ.

4.12.6.2.2 Diseño del Sistema de Riego

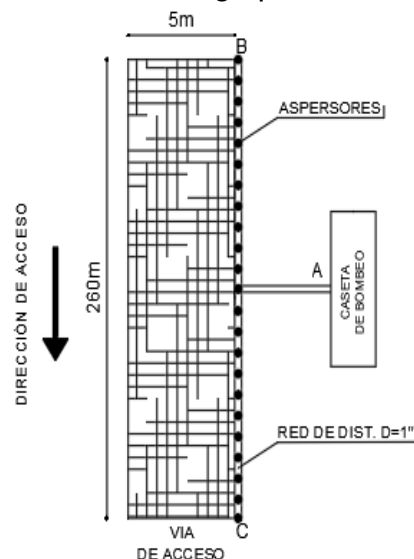
El diseño del sistema de riego para la humectación vial consideró los siguientes parámetros:

1. Número de laterales de riego
2. Número de aspersores
3. Duración de la operación del riego
4. Frecuencia de Humectación

El diseño hidráulico se proyectó con respecto a los costos relevantes del diseño, tales como: valor de la bomba requerida, costo de la energía, costo de la res de distribución y tipos de emisores disponibles en el mercado; por lo que, se determinó usar tubería de 25.4 mm (1") para la red principal, pretendiendo así, establecer el balance óptimo de las condiciones anteriormente mencionadas.

Con la determinación de estos parámetros, se logró finalmente consolidar el diseño del sistema de riego para humectación vial, así:

Figura 20. Distribución del sistema de riego para la humectación vial.



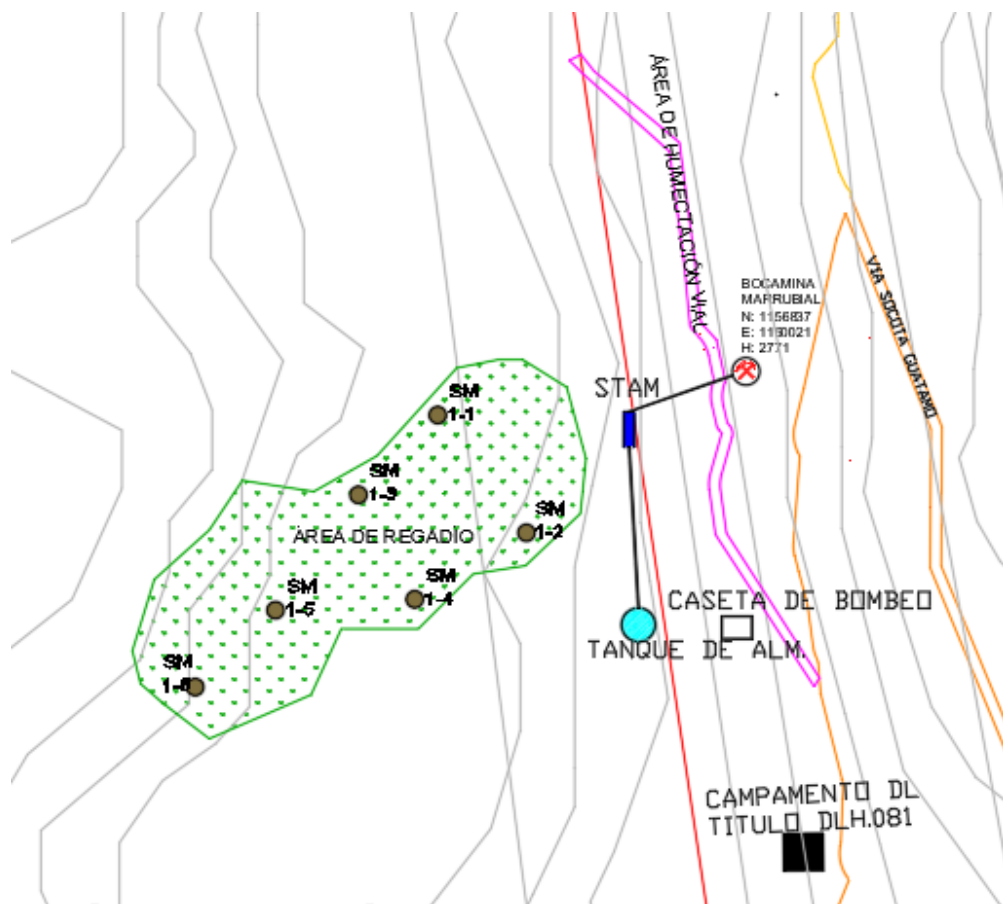
Fuente: Elaboración Propia

Los requerimientos de bombeo se determinaron con las mismas consideraciones técnicas, y de igual forma que para el sistema de riego agrícola. Dados estos valores, se concluyó que se requería de una bomba de 3 HP (>1.44 HP).

4.12.6.3 Seguimiento a Labores de Campo

El producto de todas las labores de campo requeridas para el diseño conceptual y técnico de la solicitud de reúso del efluente minero, se sintetizó en el plano de labores fundamentado en la consolidación geográfica y espacial de los elementos identificados como esenciales, para la puesta en marcha del proyecto. En la *Figura 21*, se evidencia el resumen de las áreas de influencia directa proyectadas para fines de irrigación, y la infraestructura de servicio necesaria para su óptima realización.

Figura 21. Verificación en plano de labores de campo.



Fuente: Elaboración Propia

4.13 CONSTRUCCIÓN DE ALCANTARILLA

Según los requerimientos de carácter constructivo exigidos por Min Minas en el marco de la formalización minera adelantada a la UPM San Felipe (jurisdicción del título minero BE9-091), se determinó ejecutar la construcción de una alcantarilla, que diera evacuación encauzada, conducción sin pérdidas por infiltraciones y disposición controlada del foco de agua localizado a borde de vía de acceso; toda vez que a la descarga producida por condiciones naturales, no se le logró dar curso para el paso su transversal en la vía con la obra de arte artesanal existente, sino que, la disposición final estaba afectando el desarrollo agrícola en predios aledaños de propiedad privada, según se observa en la *Ilustración 49*.

Ilustración 49. Condiciones de diagnóstico para la construcción de alcantarilla.



Fuente: Autor

4.13.1 Definición de Propiedades Geométricas de Alcantarilla

La puesta en marcha del proceso constructivo de la alcantarilla, se implementó con la determinación de las propiedades geométricas de la sección del terreno a ser intervenido con las labores constructivas, y se logró a partir de la caracterización técnica del trazado (medición en campo) y consolidación de datos para el diseño de la estructura hidráulica, según se verifica en la *Ilustración 50*.

Los resultados obtenidos en campo, dan cuenta de una longitud transversal de conducción bajo la vía de acceso de 6 m, diámetro posible de tubería de concreto de 24" y área de construcción transversal de 2.64 m² (ancho de 1.20 m y profundidad de 2.2 m).

Los diseños hidráulicos y construcción se contrataron con INCOAZ SAS, bajo la modalidad de contrato de obra privada, sujeto a interventoría por parte de la empresa. El desarrollo de las actividades se fundamentó en las memorias de cálculo estructural (Ver Anexo 16).

Ilustración 50. Caracterización técnica del trazado de alcantarilla.



Fuente: Autor

4.13.2 Supervisión de Preliminares

El seguimiento a la puesta en marcha del proceso constructivo en obra, se realizó con la verificación técnica de la ejecución de actividades preliminares que contempló las siguientes cantidades:

- a. Excavación= 15.84 m³
- b. Solado= 1.65 m³
- c. Atraque= 2.16 m³
- d. Relleno= 6.95 m³

4.13.3 Supervisión de Construcción de Estructura en Concreto

La verificación técnica de la construcción de la alcantarilla, se realizó progresivamente en primera instancia desde la caja de encole con labores de encofrado, hasta la caja de descole con labores de sostenimiento de formaleta de

madera de contención e instalación de armadura de refuerzo según diseños. A manera general se realizó la adecuación de testeros para el posterior vertido de concreto ciclópeo de bases y elevaciones, según se muestra en la *Ilustración 51*, con soporte en las siguientes cantidades:

- a. Concreto ciclópeo para bases= 1.67 m³
- b. Concreto ciclópeo para elevaciones= 5.14 m³

Ilustración 51. Supervisión técnica de labores de construcción.



Fuente: Autor

4.14 CONSTRUCCIÓN DE EST. HIDRÁULICAS COMPLEMENTARIAS

4.14.1 Canales Perimetrales y de Coronación

La necesidad de garantizar las medidas de manejo y control para la conducción de las aguas lluvias y de infiltración en la periferia del área de operaciones del título minero 161R y en algunos lugares críticos identificados de acumulación superficial; allí se observó la carencia de obras de drenaje que permiten la incidencia del flujo no direccionado sobre la vías de acceso y el taller de servicio, ocasionando saturación y arrastre del material de consolidación vial y remoción de tierra en terreno firme en zonas ya identificadas como altamente vulnerables a deslizamiento.

Las anteriores razones determinaron que se realizara el trazado y excavación manual de los canales perimetrales y de coronación, desde la parte alta, hasta la parte media y baja de operaciones mineras, y disposición final en estructuras hidráulicas existentes de servicio del STAM, considerando una sección de canal de 0.30 m de ancho por 0.50 m de profundidad en suelo natural, según se evidencia en la *Ilustración 52*.

Ilustración 52. Trazado y excavación de canales perimetrales y de coronación.



Fuente: Autor

4.14.2 Manejo de Combustibles y Canales Perimetrales Revestidos

El uso de hidrocarburos (aceites/combustibles) para el funcionamiento del equipo y herramienta necesarios en las labores mineras, generan un impacto negativo en las condiciones naturales del suelo, toda vez que, desde su mala manipulación, se generan derrames y escapes que se infiltran en el terreno dispuesto para su uso, como sucede en el caso típico del malacate de extracción.

Por tal razón, se decidió emprender acciones en busca de contrarrestar el riesgo de contaminación, asociado a la operación de abastecimiento de combustibles especialmente en la base del malacate de extracción, por lo que se hizo necesario construir una placa de soporte del equipo en concreto y su sistema de drenaje complementario, así:

Ilustración 53. Construcción de placa de soporte y sistema de drenaje del malacate.



Fuente: Autor

Adicionalmente se realizó el trazado y excavación de las cunetas de conducción complementarias del sistema de drenaje adoptado, de uso simultáneo con la recolección de aguas lluvias desde la cubierta del malacate. Se consideró fundamental hacer un revestimiento de 5cm de espesor, en mortero de baja resistencia en el total de extensión longitudinal del canal, por lo que la sección excavada, resultó de 0.40 m de ancho por 0.40 m de profundidad. El tratamiento de los aceites/combustibles conducidos en el canal construido, se atendió con la construcción de una trampa de grasas básica de 0.5 m de ancho por 0.60 m de largo, previo a la disposición final, como se muestra en *Ilustración 54*.

Ilustración 54. Construcción de canal revestido y trampa de grasas.



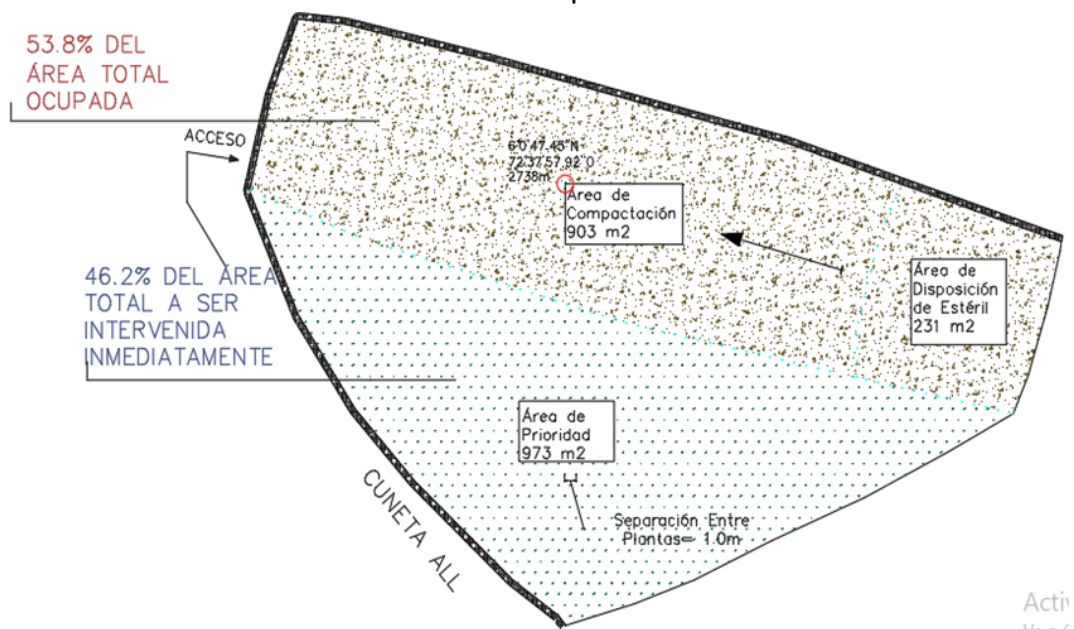
Fuente: Autor

4.15 OBRAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Los componentes ambientales impactados por la actividad minera del título DLH-081, requirieron de la implementación de un constante plan de recuperación del botadero de estériles, que garantizara la rehabilitación y recomposición del área afectada, y con esto la prevención y mitigación de la alteración de propiedades físico-químicas del agua, impacto visual negativo, erosión hídrica del suelo, afectación directa a la flora nativa y migración de fauna natural. Por tales razones, se decidió ejecutar la recuperación ambiental del área impactada, con la reconfiguración de la cobertura vegetal, que permitiera recobrar la productividad biológica del suelo, la protección de los recursos hidráulicos, la minimización de la erosión y el acondicionamiento paisajístico del contexto minero.

En primera instancia se realizó la identificación de diagnóstico del área y volumen de ocupación destinado para el botadero de estériles, se definió el área de prioridad a ser reforestada y las áreas de disposición y compactación. Esto se logró con trabajo de campo y los resultados se exponen gráficamente a continuación:

Figura 22. Caracterización del área de recuperación ambiental.



Fuente: Elaboración Propia

Una vez definida la disposición del área destinada para las labores de reconfiguración de la cobertura vegetal, se realizaron actividades de preparación en toda la extensión superficial del talud del botadero de estériles que incluyó la

adecuación de camillas de siembra y sostenimiento, según lo establecido en la *Ilustración 55*.

Ilustración 55. Preparación de área de recuperación ambiental.



Fuente: Autor

Como paso seguido al anterior procedimiento, se avanzó en la implementación del proceso de revegetación, con la verificación técnica de las condiciones de emradización y conservación requeridas en la siembra de la especie nativa, según lo sugiere la normatividad ambiental vigente, así:

Ilustración 56. Recuperación ambiental del área de botadero.



Fuente: Autor

4.16 APOYO AL SG-SST

4.16.1 Seguimiento al Reglamento de Seguridad

La necesidad de implementar un control estricto en las condiciones de seguridad operativa en los frentes de labores mineras subterráneas (títulos mineros DLH-081, 161R, FIU-082, BE9-091 y FCO-151 adjudicados a la empresa), regidas según los lineamientos técnicos establecidos en el Decreto 1886 del 21 de Septiembre del 2015, requirió del apoyo profesional en todas las UPM que conforman los títulos mineros, para el monitoreo semanal de las condiciones enlistadas a continuación y verificadas en la *Ilustración 57*, así:

- Uso de elementos de protección personal
- Flujos de aire
- Caudales del agua de drenaje
- Paso de instalaciones hidráulicas y eléctricas de servicio en el túnel minero
- Homogeneidad de las secciones de avance que garantizan la presión de sostenimiento requeridas

Ilustración 57. Seguimiento al control operativo del reglamento de seguridad.



Fuente: Autor

Adicionalmente se realizó cada quince días el acompañamiento al departamento de seguridad industrial, con las charlas previas de seguridad en el inicio de labores, inspecciones de chequeo a la señalización y verificación de la implementación de formatos de control en el procedimiento rutinario de las labores mineras, establecidos en el SG-SST.

4.16.2 Actualización de Formatos de Labores Seguras

La adquisición de equipos con especificaciones técnicas actuales de norma, se tuvo que ajustar a los procedimientos de inspección rutinarios, como es el caso del malacate eléctrico de extracción. Por tal razón, se hizo necesario apoyar la actualización del formato de condiciones óptimas de operación del equipo en cuestión, con la elaboración de la lista de chequeo para la inspección de rutina, según el proceso enlistado en el formato correspondiente a la *Figura 23*.

Figura 23. Lista de chequeo para la inspección de seguridad del malacate.

CONDICIONES DE SEGURIDAD		LUNES			MARTES			MIÉRCOLES			JUEVES			VIERNES			SÁBADO			OBSERVACIONES
		SI	NO	R	SI	NO	R	SI	NO	R	SI	NO	R	SI	NO	R	SI	NO	R	
11	El nivel de aceite de los frenos y de la caja de engranajes es óptimo.																			
12	Los rodamientos están engrasados y/o requieren grasa.																			
13	Las rodillos y la cremallera del tambor principal están lubricadas.																			
14	El sistema de control presenta presiones de aire y aceite óptimas.																			
15	El estado de las válvulas de regulación interna es óptimo con el propósito de evitar fugas de aceite.																			
16	El mecanismo de freno tiene un ajuste seguro de sus accesorios (pasadores, tornillos y tuercas).																			
17	El sistema de frenado está debidamente ajustado al control de la velocidad y sus accesorios en buen estado.																			
18	Los componentes de la transmisión están alineados y bien montados.																			
19	La polea de reenvío se encuentra bien sujeta y debidamente alineada de manera que se evite el desgaste.																			
20	La condición de operación del engranaje y elementos complementarios (piñones y cadena) es óptima.																			
21	Las cubiertas y guardas de protección de los ejes en movimiento están bien ajustadas.																			
22	La nivelación de la base del malacate es la adecuada para garantizar la alineación de cargas con la que se evita un bajo rendimiento del equipo.																			
23	FIRMA DE OPERADOR DEL MALACATE																			
24																				
25																				
26																				
27																				
28	FIRMA DEL INSPECTOR DE SEGURIDAD																			

Fuente: Archivo del SG-SST, Agrocoal SAS 2017.

4.16.3 Capacitaciones ARL

Dando cumplimiento al cronograma de acompañamiento a empresa minera, establecido por Positiva ARL (Administradora de Riesgos Laborales) en la extensión de capacitaciones en temas de salud; se realizó la gestión de logística y organización para el correcto desarrollo de las jornadas programadas por el personal técnico designado por la ARL, dirigidas al personal operativo de todos los bloques de operación minera que responden a los títulos adjudicados a la empresa, a manera de socialización general y con énfasis en la salud del trabajador.

4.17 OTRAS ACTIVIDADES

4.17.1 Acompañamiento a Programa de Formalización Minera

Se realizó el seguimiento y verificación de los componentes técnicos a ser tratados en la jornada de formalización minera programada por el Min Minas para los títulos mineros contiguos 161R y FIU-082, evaluados bajo el concepto de acompañamiento minero con instrumento ambiental, y con el propósito de mejora de condiciones de trabajo y operación.

Este proceso se desarrolló para los componentes ambiental, minero y administrativo, en tres (03) etapas descritas a continuación:

- I. Evaluación en campo de componentes definidos por el expediente, a cargo del comité técnico designado para el título minero.
- II. Verificación de documentos técnicos en archivo de constitución legal de operaciones mineras de la empresa.
- III. Socialización en departamento técnico de los resultados obtenidos en la valoración de campo y oficina, y aclaración de observaciones por componentes.

4.17.2 Representación en Eventos Oficiales

La invitación a eventos oficiales de interés para el gremio minero, justificó la representación del departamento técnico de la empresa en la asistencia a los siguientes foros:

- Foro para la delimitación de páramos desarrollado por la Alcaldía Municipal de Socotá (Boy), Min Ambiente y PNN, con jurisdicción en la provincia de Valderrama (socialización de la Ley de Páramos y su influencia en el sector minero).
- Foro de minería e infraestructura por Boyacá, con motivo de socialización de la gestión de proyectos de desarrollo actuales, influenciados por el sector industrial de la provincia de Valderrama, en el marco del Plan Bicentenario.

5. APORTES DEL TRABAJO

5.1 APORTES COGNITIVOS

5.1.1 Componente Geotécnico

Este componente resultó ser el más completo e influyente en el desarrollo profesional de la práctica desde el conocimiento teórico, toda vez que, los aportes realizados involucraron el control geotécnico de los recursos agua y suelo, e implementación de soluciones técnicas desde la capacidad ingenieril, de brindar la solución favorable a la problemática geológica y ambiental suscitada en terrenos inestables.

5.1.2 Componente Estructural

Estructuralmente el aporte profesional se logró a partir de labores de supervisión técnica y control a la ejecución eficiente de obra y en general a la puesta en marcha de los procesos constructivos, considerando primordialmente la interacción teórica – práctica del conocimiento en el escenario académico y profesional respectivamente.

5.1.3 Componente Hidráulico

El manejo del recurso hídrico en el desarrollo de la actividad minera, se constituyó como un aporte esencial, producto del desarrollo de la práctica profesional, toda vez que este componente determinó el agua y las estructuras hidráulicas requeridas para su uso eficiente, como el principal parámetro a tratar.

5.1.4 Componente Ambiental

El seguimiento realizado a las labores ambientales a cargo, precedieron el aporte profesional a la consolidación del proceso compensatorio ambiental de títulos mineros, liderado por el departamento técnico de la empresa y forjado desde la iniciativa de prácticas mineras sostenibles y la gestión ambiental con los entes fiscalizadores y de control.

5.2 APORTES A LA COMUNIDAD

5.2.1 Componente Geotécnico

La implementación de acciones que contribuyeron a la estabilidad del deslizamiento existente en la zona alta de operaciones del principal centro de explotación minera de la empresa, fue prioridad en la medida en que se requirió implementar de inmediatez, las medidas de control y prevención del riesgo que garantizaron el resguardo de viviendas familiares, terrenos agrícolas e infraestructura de servicio de la comunidad rural, colindantes con la vía rural de acceso de interés comercial.

5.2.2 Componente Estructural

Los aportes técnicos realizados en este componente, beneficiaron a la comunidad en la medida en que se logró colaborar con la valoración vivienda a vivienda de las causas de afectación estructural que aquejaban el área poblada rural colindante con la actividad minera. De esta manera, en trabajo mancomunado con planeación municipal, se definió el plan de acción y medidas de contingencia, que determinaron la solución a la problemática suscitada.

5.2.3 Componente Hidráulico

El beneficio social de las actividades relacionadas con el recurso hídrico, estuvo enfocado en implementar las medidas técnicas necesarias con el objeto de dar un uso posterior al efluente minero, generando así, soluciones eficientes y sostenibles para el reúso y aprovechamiento del recurso hídrico, en el fortalecimiento de actividades secundarias de interés rural como la agricultura (cultivo de pastos y forrajes para el consumo animal).

5.2.4 Componente Ambiental

De manera general, se definió que la ejecución de las obras civiles que se desarrollaran en la práctica profesional, apuntaban siempre a establecer un control sobre el impacto suscitado por la minería en todo el contexto social y económico involucrado; con lo que se concluye que, en materia ambiental se logró contribuir principalmente con la minimización del riesgo de afectación a centros poblados rurales (unidades de vivienda), acueductos rurales y áreas de conservación de

recursos naturales; esto con el objetivo de prevenir la incidencia de eventos amenazantes como deslizamientos por remoción del suelo e infiltración.

6. IMPACTOS DEL TRABAJO REALIZADO

La implementación y materialización de los conocimientos teórico – prácticos necesarios en el desarrollo del proceso de pasantía realizado, constituyeron los mecanismos y procedimientos técnico a partir de los cuales se fundamentaron los impactos positivos generados a favor de los siguientes aspectos:

- a. *Componente Ambiental.* Ambientalmente, las labores enfocadas a este componente, generaron un impacto positivo de suma importancia y alta favorabilidad, toda vez que, la optimización y aprovechamiento de los recursos naturales involucrados, se hizo desde la planeación y diseño para la posterior ejecución con criterio ingenieril, evitando así la implementación de acciones empíricas en la puesta en marcha de las labores.
- b. *Componente Social y Económico.* Socialmente se apuntó siempre a generar condiciones seguras de transitabilidad y acceso a los centros rurales poblados, evitando así, generar traumatismos en el normal desarrollo de la minería, establecida como la principal actividad comercial y económica, y a brindar soluciones técnicas de aporte a las entidades oficiales encargadas de velar por el bienestar y calidad de vida de la comunidad en contexto del área de explotación minera.
- c. *Componente Organizacional.* El impacto profesional generado a nivel organizacional fue positivo, pese a la necesidad de apoyo en la organización y control de obras civiles como respuesta a requerimientos oficiales, en las que se evidenció un desempeño notable en el mejoramiento de procesos y desarrollo de habilidades, que requerían de la resolución de problemas contra el tiempo.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El proceso de supervisión técnica aplicado al desarrollo de las obras civiles requeridas en las áreas de operación minera, se fundamentó en el control físico de todos los recursos involucrados en la ejecución de las actividades constructivas, con aportes conceptuales de criterio profesional adquiridos en el avance práctico del proyecto.
- La necesidad de atención obligatoria a los requerimientos minero - ambientales impuestos por los entes fiscalizadores nombrados en el desarrollo del informe, involucró de fondo la formulación de obras civiles con factibilidad económica a favor, en función de su costo de ejecución, tiempo y calidad de realización.
- Todas las actividades constructivas que requirieron del apoyo profesional en la elaboración previa de los nuevos diseños técnicos y la optimización de los diseños existentes mayormente de carácter estructural, estuvieron regidas por los lineamientos oficiales de la NSR-10, a partir de la cual se garantizó la responsabilidad civil para la proyección de obras en zonas mineras altamente expuestas al riesgo.
- El seguimiento realizado al marco normativo ambiental y al reglamento interno de seguridad en las labores mineras, estuvo enfocado en la mejora de los procesos que requería el sistema integrado de gestión de la empresa, principalmente en el componente de SST del personal operativo.

8. GLOSARIO

- + ANISÓTROPO: Condición marcada por propiedades variables según la dirección en la que se evalúe.
- + APUNTALAR: Poner puntales a una cosa para reforzarla o para que no se derrumbe.
- + BACHE: Desnivel en el suelo o en el pavimento, producido por la pérdida o hundimiento de la capa superficial.
- + BANQUETAS: Superficie de talud estabilizada a partir del corte y relleno de materiales propios.
- + BOTADERO: Área de disposición final definida para el manejo de estériles, con la adopción de medidas de prevención y mitigación de impactos ambientales.
- + CURADO: Proceso por medio del cual el concreto endurece y adquiere resistencia, una vez colocado en su posición final.
- + DEPÓSITO COLUVIAL: Acumulación de materiales meteorizados y transportados por la acción de la gravedad.
- + DES: Capacidad especial de disipación de energía.
- + DESENCOFRADO: Desmantelamiento del encofrado que contiene el concreto y que se realiza una vez que este haya endurecido.
- + DIACLASAS: Fracturas o fisuras en una masa rocosa en la que no se observa un movimiento relativo de sus lados.
- + DUCTILIDAD: Propiedad de aquellos materiales que, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sin llegar a romperse.
- + EFLUENTE MINERO: Curso de agua proveniente de la operación minera, principalmente en el proceso de extracción.
- + EMPRADIZACIÓN: Introducir capa de cobertura vegetal en terreno dispuesto a ser convertido en prado.

- ✚ ENTIBADO: Acciones y estructuras de sostenimiento que sirven para mantener abiertos los espacios de las minas con una sección suficiente para la circulación del personal, del aire y el tráfico de equipos.
- ✚ ESTRIBOS: Barras o alambre doblados que abrazan el refuerzo longitudinal. Aceptable en forma de círculo, rectángulo, u otra forma poligonal sin esquinas reentrantes.
- ✚ HIDROSIEMBRA: Técnica que consiste en la proyección sobre el terreno de una mezcla de fertilizantes. De uso frecuente en la restauración de taludes, minas y canteras.
- ✚ IRRIGACIÓN: Conjunto de dispositivos capaces de aportar, de forma artificial y ordenada, el caudal de aguas sobre los terrenos más necesitados, con la finalidad de obtener una producción agrícola eficiente.
- ✚ LODAZAL: Sección crítica de transitabilidad en vías, especialmente en época de invierno, pese a la acumulación de agua excesiva y condiciones deficientes de drenaje.
- ✚ MACIZO ROCOSO: Conjunto de los bloques de matriz rocosa y de discontinuidades. Mecánicamente son medios heterogéneos, por lo que su clasificación es fundamental en la ingeniería geológica.
- ✚ REVEGETACIÓN: Práctica que consiste en devolver el equilibrio o restaurar la cubierta vegetal de una zona donde sus formaciones vegetales originales están degradadas o alteradas.
- ✚ RIGIDIZACIÓN ESTRUCTURAL: Aplicación de métodos técnicos para el reforzamiento de estructuras y sus elementos involucrados.
- ✚ SEDIMENTACIÓN: Se trata de una operación de separación sólido-fluido en la que las partículas sólidas de una suspensión, más densas que el fluido, se separan de éste por la acción de la gravedad. Es una operación controlada por la transferencia de cantidad de movimiento.
- ✚ SOCAVAMIENTO: Excavación de terreno sin suponer alteración o afectación de elementos en contexto.
- ✚ SUBSIDENCIA: Manifestación en superficie de mecanismos subsuperficiales de deformación, principalmente hundimientos.

- ✚ SUELO METEORIZADO: Condición del suelo determinada por la desintegración y descomposición de las rocas de la superficie o cerca de ella.
- ✚ TERRACEO DE BANCO: Práctica mecánica de conservación de suelo y agua, que consiste en construir terraplenes o escalones formados por cortes y rellenos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno.
- ✚ TESTEROS: Tapas o tablas que dan forma a los elementos estructurales.
- ✚ TRINCHO: Espacio delimitado por un terraplén de tierra, con el propósito de detener el flujo de grandes cantidades de roca y tierra y disminuir su velocidad.
- ✚ VOLUMETRÍA: Proceso que permite medir y establecer volúmenes.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTETA MOLINA, Oswaldo R. (2002). Propuesta técnica y económica del diseño estructural de placa de contrapiso. Barranquilla: Sistema nacional de capacitación municipal UE.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (2005). Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada. Bogotá: Forec.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (2010). Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10 Título H – Estudios geotécnicos. Bogotá: Autor.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (2010). Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10 Título A – Requisitos generales de diseño y construcción sismoresistente. Bogotá: Autor.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (2010). Reglamento colombiano de construcción sismoresistente NSR-10 Título B – Cargas. Bogotá: Autor.

BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis (2000). Elementos de drenaje superficial. Valencia: Autor.

CÁMARA COLOMBIANA DE INFRAESTRUCTURA (2010). Tarifas de arrendamiento para equipos de construcción. [En línea]. <https://www.infraestructura.org.co/tarifas/Manual_Uusuario.pdf>

CESEL INGENIEROS (2006). Informe final para el plan de cierre de pasivos ambientales de la compañía minera Aruntani SAC. Arequipa: Asociación civil labor.

HOEK, D. y BROWN, E.T (1986). Excavaciones subterráneas en roca. Naucalpán de Juárez: Calypso S.A. (Orig. 1985).

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (2004). Código colombiano de fontanería. Bogotá: Icontec.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (2006). Manual para la inspección visual de pavimentos. [En línea]. <<https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/manuales-de-inspeccion-de-obras/664-manual-para-la-inspeccion-visual-de-pavimentos-rigidos/file>>

JOJOA, M. Jaime (2004). Manual para el cálculo de la presión minera en túneles de pequeña sección en minas de carbón. Tunja: UPTC.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE (2014). Resolución 1207 por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales industriales tratadas. Bogotá: Autor.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA (2015). Decreto 1886 - Reglamento de seguridad en labores mineras subterráneas. Bogotá: Autor.

SHENG, T.C (2000). Terrace System Design and Application Using Computers. In Laflen et al., ed: Soil Erosion and Dryland Farming: pp.381-390. CRC Press. Boca Raton Florida.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime (2005). Deslizamientos y técnicas de remediación. Bucaramanga: Ingeniería de suelos Ltda.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA (2014). Determinación de módulos de consumo de agua para los sectores industrial, pecuario, agrícola, energético y de servicios en jurisdicción. Tunja: Corpoboyacá.

10. ANEXOS

- Anexo 1.** Aparte de PMA título minero DLH-081 - Geología local
- Anexo 2.** Auto de requerimientos ambientales exigidos por Corpoboyacá
- Anexo 3.** Aparte del PMA título minero 161R – Evaluación geotécnica
- Anexo 4.** Ficha técnica de perfil H Americano – WF ASTM A 6/A 6M-07
- Anexo 5.** Formato adaptado para la evaluación de daños en carreteras
- Anexo 6.** Formato adaptado de localización de daños en carreteras
- Anexo 7.** Hoja de cálculo de presupuesto de placa huella
- Anexo 8.** Registro fotográfico del inventario de viviendas valoradas
- Anexo 9.** Proc. técnico para la reparación y reforzamiento de construcciones
- Anexo 10.** Constitución legal de predio para proyecto de vivienda – IGAC
- Anexo 11.** Requisitos para la presentación de LC – Planeación Mpal
- Anexo 12.** Resultados de análisis de muestra de agua
- Anexo 13.** Plano de diseño del sistema de tratamiento de aguas mineras
- Anexo 14.** Formato de presentación de datos de caracterización del suelo
- Anexo 15.** Formato de presentación de datos de prueba de infiltración
- Anexo 16.** Hoja de cálculo memorias de cálculo estructural de alcantarilla
- Anexo 17.** Bitácoras
- Anexo 18.** Convenio