



**ANÁLISIS CUALITATIVO DE MATERIALES
ALTERNATIVOS USADOS COMO ESTRUCTURAS DE
SOSTENIMIENTO EN EL PROCESO DE LA MINERÍA
SUBTERRÁNEA**

July Paola Ariza Álvarez
German Duarte Palacios
Andersson Jair Morales Carvajal
Cristian Andres Montes

Universidad EAN
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Industrial
Bogotá, Colombia
2022

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS.....	1
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	1
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
3.	JUSTIFICACIÓN.....	1
4.	MARCO DE REFERENCIA	2
4.1.	DELIMITACIÓN.....	2
4.2.	ANTECEDENTES	2
4.3.	ESTADO DEL ARTE	3
4.4.	MARCO TEÓRICO	5
4.4.1.	CARACTERÍSTICAS Y FACTORES DEL MATERIAL	5
4.4.2.	¿QUÉ SE DEBE TENER EN CUENTA PARA LA FORTIFICACIÓN Y ACUÑAMIENTO DE UNA MINA?	5
4.4.3.	CLASES DE FORTIFICACIÓN	6
4.4.3.1.	ACTIVA O DE REFORZAMIENTO.....	6
4.4.3.2.	PASIVA.....	6
4.4.3.3.	COMBINADA	6
4.4.3.4.	CON MADERA.....	7
4.4.4.	FACTORES SÍSMICOS	7
4.5.	MARCO CONCEPTUAL.....	7
4.6.	MARCO LEGAL	10
5.	BIBLIOGRAFÍA	11

1. INTRODUCCIÓN

La minería es altamente demandante en el consumo de madera, por lo tanto, existe una oportunidad de mercado al proveer una solución a la industria minera con materiales sustitutos de la madera; Así como el ex ministro de ambiente en el 2013 manifestó: "En Colombia, solo en el año 2013 fue deforestada un área de 120.933 hectáreas por causa de actividades entrópicas como la ampliación de la frontera agropecuaria y actividades ilegales relacionadas con la minería y la extracción de madera". Que cumplan los requerimientos estructurales a bajo costo y durabilidad; posiblemente algún polímero reciclado, con un aditivo o un material compuesto. En las explotaciones subterráneas se requieren estructuras que, eviten que las cavidades en las que se realiza el laboreo colapsen. Así mismo, las vías férreas en las cuales se transporta el mineral requieren de madera como parte de la estructura férrea. Por lo tanto, sirven para transmitir al terreno el peso, los esfuerzos laterales y longitudinales generados por tránsito sobre los rieles.

Para desarrollar el proyecto emplearemos como estudio de caso los requerimientos de la empresa minera Acerías Paz del Río, la cual es una empresa ubicada en Belencito, Nobsa - Boyacá, donde se produce acero bajo estándares Certificados de Gestión de la Calidad ICONTEC. Su operación minera está

ubicada en los municipios de Paz de Río (Boyacá) y Ubalá (Cundinamarca) y también cuentan con oficinas administrativas en Bogotá. Paz del Río es la única siderúrgica integrada del país con más de 70 años de experiencia en la explotación y transformación de minerales (hierro, caliza y carbón) para la elaboración de productos de acero. Somos la segunda siderúrgica más grande de Colombia, con una participación del 28% en el mercado siderúrgico.

En la minería subterránea es común ver proyectos en los cuales se realizan estructuras de sostenimiento con madera de pino, roble para las vigas principales y otros materiales; Paz del Rio utiliza árboles de eucalipto, razón por la cual sembró más de 22.000 Hectáreas, pero debido a que su explotación ha aumentado a gran velocidad se considera que la reserva actual durará hasta 2032, y debido a que por lineamientos de las autoridades ambientales no será posible plantar más árboles de esta especie, Paz del Rio está interesado en buscar materiales alternativos que suplan con esta necesidad y cumplan con los estándares de dureza, compresión, resistencia, etc. del eucalipto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Realizar un estudio cualitativo de materiales alternativos a la madera del árbol de eucalipto, el cual es utilizado como material base en las estructuras de sostenimiento, en la minería subterránea para la disminución del impacto de la deforestación.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar materiales y/o productos alternativos que permitan reemplazar el eucalipto en las bases de sostenimiento de estructuras subterráneas en la minería.
- Analizar las cualidades de los materiales identificados con el fin de seleccionar la opción más viable.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica del material seleccionado.

3. JUSTIFICACIÓN

El plástico reciclado es un material el cual se está implementando de una manera más progresiva en la industria ya que su bajo costo de fabricación y los beneficios que aporta como material reutilizable y amigable para el medio ambiente están siendo cada vez más aprovechados. Por este motivo El proyecto es sostenible económica y ambientalmente; siendo una oportunidad de negocio que impacta de manera favorable al medioambiente, sustituyendo el consumo de madera que se utiliza para la fortificación de las minas que explota y explora paz del rio.

En la mayoría de las investigaciones se tiene en cuenta el impacto ambiental que generan las exploraciones mineras a los ecosistemas, sin tener en cuenta además que los materiales utilizados para el proceso de extracción del mineral también afectan los territorios , como lo es en este caso la explotación de los bosques artificiales de la planta de eucalipto la cual es utilizada en su gran mayoría por su bajo costo y características del material para hacer las fortificaciones de las minas, los cuales una vez se acabe la exploración se desechan, sin que se tenga la oportunidad de volver a utilizar el material.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Delimitación

El proyecto pretende mediante la investigación de fuentes académicas, y sobre la base de desarrollo de emprendimiento; aprovechar la oportunidad que surge a partir de la necesidad de la industria minera y más concretamente de Acerías Paz de Río, de identificar, evaluar y si es posible seleccionar más adelante un material alternativo a la madera de eucalipto con el fin de reemplazarlo como material principal en las estructuras de sostenimiento subterráneas. Este ejercicio es una oportunidad de integración del conocimiento visto en las unidades de estudio básicas de comienzo de carrera, tales como la química, biología, entre otras. Así como el conocimiento técnico e ingenieril de la formación nuclear, visto en otras unidades de estudio tales como el diseño de procesos y manufactura, matizado con nuestro ADN de emprendedores que buscan la sostenibilidad, en especial la ambiental.

4.2. Antecedentes

Los polímeros reciclados, los termoplásticos, han venido ganando terreno en su uso como materiales estructurales. Las propiedades mecánicas de los termoplásticos son limitadas dado que solo tienen enlaces covalentes entre carbonos, por lo tanto, las cadenas no están amarradas entre sí, facilitando la

fluencia ante los esfuerzos. Al momento de reciclar estos plásticos, sus cadenas poliméricas se reducen de tamaño, limitando aún más sus propiedades mecánicas. Por lo tanto, en principio las propiedades mecánicas los polímeros están asociadas a su fisicoquímica macromolecular, en particular al tamaño de su cadena polimérica y sus enlaces.

No obstante, la ciencia y la ingeniería ha avanzado en formulaciones y procesos de fabricación mediante los cuales se obtienen bloques y perfilería con materiales reciclados; usados para la construcción de viviendas. En ese sentido, está probada la posibilidad de superar las limitaciones fisicoquímicas inherentes a la fisicoquímica de los termoplásticos.

El eucalipto es un tipo de madera idónea para la utilización en minas subterráneas por su estructura lignocelulosa, compuesta por fibras largas y resistentes.

4.3. Estado del Arte

La posibilidad de encontrar una alternativa al eucalipto ha sido planteada de manera preponderante desde una perspectiva medioambiental. Esto debido a su amplio uso en industrias productivas como la fabricación de papel o la ebanistería que requieren amplias áreas de terreno para su cultivo. Solo en la

península ibérica hay alrededor de 1.200.000 de hectáreas de plantaciones de eucalipto, siendo Galicia y Portugal los lugares con mayor participación (WFC, 2009).

En los bosques de Cantabria, España, ya se han iniciado actividades de sustitución del eucalipto. Para ello se han hecho procedimientos de erradicación manual que inician con la tala del árbol y eliminación de los brotes remanentes con herbicidas. Posteriormente se remueven los tocones por vías mecánicas y se reemplaza por flora autóctona cuyo consumo hídrico es significativamente menor (MMS, 2014).

Colombia no es ajena a esta problemática, en 2013 el director de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Alfred Barresteros, afirmó que “en los últimos 5 años un 70% de los incendios ha ocurrido en zonas con plantas no nativas altamente combustibles como el pino y el eucalipto”. Es por esto que la autoridad ambiental ha emprendido esfuerzos para reemplazar estas especies vegetales en el departamento de Cundinamarca (Diario El Espectador, 2013).

La Unidad de Planeación Minero Energética en su Plan de Sustitución Progresiva de la Leña, publicado en 2019, resalta la importancia de reducir el consumo de madera tanto en sus usos domésticos como industriales ya que su el proceso para

su obtención es el principal catalizador para la deforestación y degradación de los bosques intertropicales, las cuales a su vez producen cerca del 20% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial (UPME, 2019).

4.4. Marco Teórico

4.4.1. Características y factores del material

Al nivel microscópico el tallo del eucalipto está formado por células rectangulares y cuadradas cubiertas por una cutícula gruesa. La corteza está formada por hasta doce capas de células del parénquima con forma redondeada lo cual le brindan a la madera la dureza y a su vez flexibilidad necesaria para que en caso de movimientos o vibraciones que tenga la tierra al nivel subterráneo las vigas o arcos puedan soportar de manera adecuada, minimizando la posible deformación o fractura del material, las fibras de la corteza pueden medir alrededor de 5-6 μm de diámetro; la mayoría de las celdas están llenas de compuestos fenólicos.

4.4.2. ¿Qué se debe tener en cuenta para la fortificación y acuífamiento de una mina?

- Mantener las labores seguras y con una sección y dimensiones suficientes para la circulación del personal, equipos y aire.
- Impedir el desmoronamiento de material fracturado.

- Mantener la cohesión de los terrenos.

4.4.3. Clases de fortificación

4.4.3.1. Activa o de reforzamiento

Este tipo de fortificación se caracteriza por cambiar el aspecto físico de la roca cuidando los distintos tipos de esfuerzos y fuerzas que intervienen en esta para hacer que se auto soportable.

4.4.3.2. Pasiva

Es aquella que por razones de seguridad es utilizada cuando no se aplica ninguna carga externa al momento de la instalación y los métodos para realizar su estructura es la enmaderación, marcos metálicos duros o rígidos el hormigón, o armados en concreto.

4.4.3.3. Combinada

Es la fortificación o estructura más confiable, pero a su vez más costosa ya que requiere o se compone de cualquier tipo de material dependiendo el estado de humedad, presión y profundidad de excavación para esta se utilizan técnicas en madera, hierro hormigón y concreto con soportes de anclaje los cuales se deben ubicar de manera sistemática y uniformes.

4.4.3.4. Con madera

Es una de las más usadas debido a su bajo costo y facilidad de instalación y desinstalación, claro que es una de las más perjudiciales para el medio ambiente y ecosistema.

4.4.4. Factores sísmicos

Según datos recopilados desde la página de INGEOMINAS el ente encargado a nivel nacional del estudio de suelos y actividad sísmica en el país, el último informe el cual data que en el mes de diciembre del año 2020 se registraron 1998 eventos de los cuales 1884 se presentaron a nivel local, 27 eventos se presentaron en la región 63 eventos en el océano pacifico, 12 eventos en el mar caribe y 12 eventos por actividades volcánicas. Se estima que de los eventos totales 23 se determinaron como destacados por su magnitud y zona de complejidad.

4.5. Marco Conceptual

Minería: La minería es una actividad económica, en la cual se realiza la extracción y explotación de minerales, que se encuentran en el suelo y subsuelo.

Deforestación: Es un proceso en el cual normalmente por acciones humanas, se destruye o se agota una superficie forestal.

Resistencia mecánica: Es la de los cuerpos o materiales para resistir fuerzas aplicadas sin quebrarse.

Sostenimiento con madera: Con este se mantiene abiertas las exploraciones mineras para compensar el equilibrio inestable de las rocas.

Estructura: Se refiere a la disposición de madera y otros materiales para sostener las explotaciones mineras.

Simulación: Herramienta para, con ayuda de aplicaciones, softwares y/o modelos matemáticos caracterizar y probar la resistencia de los materiales.

Ley ambiental: Es una normativa creada para cuidar y preservar el entorno ambiental.

Corteza: Es la parte exterior de la raíz, tronco y ramas de los árboles, la cual es creada por varias capas de fibra vegetal.

Humedad: Agua o vapor de agua que se adhiere o impregna a un cuerpo en la atmosfera.

Compresión: Es un proceso físico o mecánico en el que se somete un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas, y en este se puede disminuir el volumen del cuerpo.

Pudrición: Es un fenómeno biológico en el cual se realiza la descomposición de un cuerpo o materia orgánica.

Vida útil: Periodo de tiempo en el que la materia prima puede resistir y almacenarse sin perder sus propiedades.

Plan Manejo Ambiental. Es un conjunto de actividades y/o acciones, producto de una previa evaluación ambiental, orientado a prevenir, mitigar o corregir el impacto ambiental generado por el desarrollo del proyecto.

Medidas de Mitigación. Acciones dirigidas a minimizar el impacto negativo de un proyecto o actividad causada sobre el medio ambiente.

Análisis de riesgo. Hace referencia a la evaluación de circunstancias contingencias que puedan presentarse durante la ejecución de un proyecto, obra o actividad que podrían generar peligro o daño a la salud humana, al ambiente o a los recursos naturales.

4.6. Marco legal

Para determinar la factibilidad de determinado material, debemos tener en cuenta las normas técnicas que establecen los protocolos y estándares que rigen los ensayos mecánicos de los materiales. A través de las cuales es posible caracterizar y conocer las propiedades mecánicas de los materiales, tales como el límite elástico o el esfuerzo máximo de ruptura. Por lo tanto, es importante tener presente las propiedades de la madera, en particular del eucalipto. La madera de eucalipto tiene una densidad de $0,73 \text{ gr/cm}^3$ y una resistencia a la flexión de 1.200 kg/cm^2 . Es once veces más ligera pero dos veces más débil que el acero.(J. M. Madariaga).

En cuanto a los aceros, que es el otro material empleado frecuentemente en las estructuras su especificación es el acero ASTM A-36 el cual tiene un esfuerzo de fluencia mínimo de 36 ksi (2530 kg/cm^2), y un esfuerzo de ruptura en tensión de 58 ksi (4080 kg/cm^2). El siguiente cuadro presenta las normas ASTM bajo las cuales debemos asimilar las pruebas y ensayos del material sustituto.

5. BIBLIOGRAFÍA

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 2005. *Términos de Referencia para la Elaboración del Plan de Manejo Ambiental (PMA) para Explotación de Materiales de Construcción.*

Departamento de Seguridad Minera. 2010. *Guía metodológica de seguridad para sistemas de fortificación y acuñadura.* Chile.

Diario El Espectador. 2013. *CAR propone sustituir pinos y eucaliptos en zonas de alto riesgo de incendios.* Recuperado de: <https://www.elespectador.com/noticias/bogota/car-propone-sustituir-pinos-y-eucaliptos-en-zonas-de-alto-riesgo-de-incendios/>

García M.C., 2012. *Informe de gestión.* Bogotá: Grupo Edición Agencia Nacional Minera.

Mancomunidad de Municipios Sostenibles. 2014. *Manual de Sustitución de Eucalipto por Bosque Autóctono.* Recuperado de: <https://bosquesdecantabria.org/wordpress/wp-content/uploads/2015/11/MANUAL-DE-SUSTITUCION-DE-EUCALIPTO-POR-BOSQUE-AUT%C3%93CTONO-resumen-web-incompleto.pdf>

República de Colombia, Ministerio de Minas. 2012. *Censo Minero Departamental Colombiano.*

Revista Brasileira de Farmacognosia. 2019. *Comparative leaf morpho-anatomy of six species of Eucalyptus cultivated in Brazil*. Recuperado de: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1016/j.bjp.2018.04.006.pdf>

Servicio Geologico colombiano. 2020. Boletín de sismos. Recuperado de: </www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Boletines%20Sismicidad/Bolet%C3%ADn%20Diciembre%20de%202020.pdf>

Sistema Nacional de Información Minero Colombiano, SIMCO. 2013. *Producción y exportaciones de carbón relacionada con producción de carbón por departamentos*. Recuperado de: www.simco.gov.co

Sonami. 2016. *Guía de fortificación y acuñadura para pequeña minería*. Recuperado de: www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/7.fortificacion-acunadura.pdf

Unidad de Planeación Minero-Energética. 2019. *Plan de Sustitución Progresiva de Leña*. Recuperado de https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/Plan_sustitucion_progresiva_Leña.pdf

World Forestry Congress. 2009. *Global Eucalyptus Map*. Recuperado de <https://enb.iisd.org/events/xiii-world-forestry-congress-wfc-2009/summary-report-18-23-october-2009>