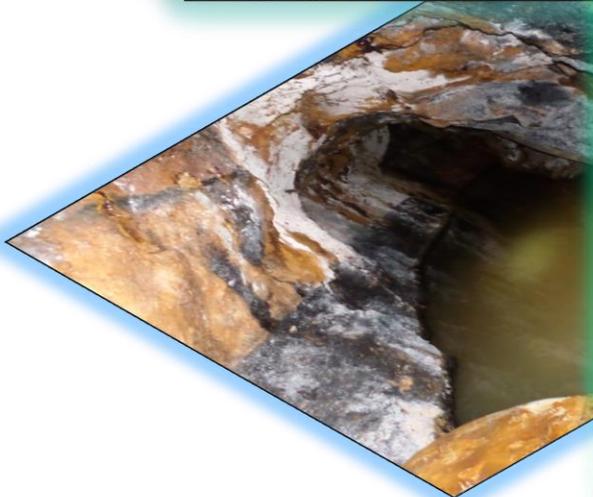


# GUIA PARA LA ELABORACION DEL PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA EN LA MINERÍA DE METALES PRECIOSOS Y CARBÓN

PUEAA



MINMINAS

TODOS POR UN  
NUEVO PAÍS  
PAZ EQUIDAD EDUCACION

upme  
Unidad de Planeación Minero Energética



**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO  
GGC 223, (UPME) CI-002-2015**

**MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA - UNIDAD DE  
PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO**

**Y**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**



**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA**

*comprometida con el desarrollo regional*

**NOVIEMBRE DE 2015**

---



## MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA

Punto de atención presencial: Calle 43 N° 57 - 31 CAN - Bogotá D.C. Colombia,  
PBX: (57) +1 220 0300  
Línea gratuita nacional: 01 8000 910 180  
Código Postal 111321

Ministro:	TOMÁS GONZÁLEZ ESTRADA
Secretaria General Ministerio:	GERMÁN EDUARDO QUINTERO ROJAS
Viceministra:	MARÍA ISABEL ULLOA CRUZ
Director de Formalización Minera:	MÓNICA MARÍA GRAND MARÍN
Supervisor del Contrato:	GILSON LEÓN GONZÁLEZ
Equipo Jurídico:	JUAN JOSÉ PARADA HOLGUÍN



## UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICO – UPME

Sede: Avda. Calle 26 # 69 D-91, Piso 9°. Bogotá, Colombia  
PBX: 57- 1 222 06  
FAX: 57 – 1 221 95 37  
Línea Gratuita Nacional: 0 8000 91 17 29

Director General:	JORGE ALBERTO VALENCIA MARIN
Subdirectora de Minería:	SARA C. CÁRDENAS CASTILLO
Equipo Jurídico:	GUILLERMO GÓMEZ LÓPEZ
Supervisor del Contrato:	CAMILO ALEJANDRO GÓMEZ USUGA

---

## Equipo de Trabajo

<b>Ph.D. Ing. José Luís Marrugo Negrete</b>	Director del Estudio
<b>Ph.D. Ing. José María Iraizoz Fernández</b>	Profesional temático en Ingeniería de Minería
<b>Ph. D. Pablo Higuera Higuera</b>	Profesional temático en Minería y recursos mineros
<b>MSc. Jairo Herrera Arango</b>	Profesional temático en Minería y recursos mineros
<b>Ph.D. Sergi Diez Salvador</b>	Profesional temático en Minería, Experto internacional Minería y Ambiente
<b>Dr. Santiago Español Cano</b>	Profesional en Salud Ocupacional Minera
<b>Ph.D. Ana Carolina Ruíz Hernández</b>	Experto Internacional Geoquímica Isotópica
<b>MSc. Roberth Paternina Uribe</b>	Coordinador Operativo
<b>Ing. Karol Velásquez Barrios</b>	Ingeniera Sanitaria y Ambiental Profesional de Apoyo
<b>MSc. Luis Díaz Vargas</b>	Profesional temático en Economía
<b>MSc. Freddy Young Castro</b>	Profesional en Ambiental
<b>MSc. Iván Urango Cárdenas</b>	Experto en análisis químico
<b>Esp. Juan Carlos Zuñiga</b>	Geólogo Experto en Yacimientos
<b>MSc. José Pinedo Hernández</b>	Experto en Análisis Químico Ambiental
<b>MSc. Saudith Burgos Núñez</b>	Experta en Análisis Químico Ambiental
<b>Norbey Marin Arredondo</b>	Profesional en estadística
<b>Geog. Juan Camilo Ospino</b>	Geógrafo
<b>Geog. Alvaro Ramos Tirado</b>	Geógrafo
<b>Ing. Ivonne Negrete Sierra</b>	Ingeniera Ambiental de apoyo
<b>Ing. Manuel Coy Pertuz</b>	Ingeniero Ambiental de apoyo
<b>Ing. Paola Burgos Arroyo</b>	Ingeniera Ambiental de apoyo
<b>Ing. Zunilda Roca Montalvo</b>	Ingeniera Ambiental de apoyo
<b>Tec. Alexis De León Navarro</b>	Tecnólogo en Producción
<b>Mayra Luna Arcila</b>	Ingeniera Ambiental Practicante
<b>Sully Morelo Figueroa</b>	Ingeniera Ambiental Practicante
<b>Ana Nieves Padilla</b>	Ingeniera Ambiental Practicante
<b>Ing. Jenyfer Márquez Solera</b>	Ingeniera de Minas y Metalurgia
<b>Ing. Alex Lemus Madrid</b>	Ingeniero de Minas y Metalurgia

## Tablas de contenido

### TABLA DE CONTENIDO

<u>CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES</u>	<u>1</u>
1.1 <i>INTRODUCCIÓN</i>	1
1.2 <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	2
1.3 <i>JUSTIFICACIÓN</i>	3
1.4 <i>OBJETIVOS DE LA GUÍA</i>	5
1.4.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	5
1.4.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	5
<u>CAPITULO II. MARCO NORMATIVO</u>	<u>6</u>
<u>CAPITULO III. USOS DE LA GUÍA</u>	<u>9</u>
<u>CAPITULO IV. GUÍA DE ESTRUCTURA Y CONTENIDO PARA LA FORMULACIÓN DE PROGRAMAS DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA (PUEAA), ENFOCADO A LA MINERÍA DE METALES PRECIOSOS Y CARBÓN</u>	<u>11</u>
4.1 <i>INFORMACIÓN PRELIMINAR</i>	11
4.1.1 <i>INTRODUCCIÓN</i>	11
4.1.2 <i>ALCANCES DEL PROGRAMA</i>	11
4.1.3 <i>OBJETIVO</i>	11
4.2 <i>DIAGNÓSTICO GENERAL DEL PROYECTO MINERO</i>	12
4.2.1 <i>INFORMACIÓN GENERAL</i>	12
4.2.2 <i>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</i>	12
4.2.3 <i>CONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA</i>	13
4.2.4 <i>ANÁLISIS DE COMPONENTES DE ACUERDO A LA LEY 373 DE 1997</i>	18
4.3 <i>COMPONENTES PLAN DE ACCION</i>	39
4.4 <i>ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA MANTENER LOS PUEAA</i>	40
4.5 <i>CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES</i>	41
<u>CAPITULO V. GLOSARIO</u>	<u>42</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>44</u>

## Tablas de contenido

---

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de descripción del sistema de abastecimiento. _____	15
Tabla 2. Eficacia, impacto ambiental y efecto funcional de supresores de polvo. _____	34
Tabla 3. Ejemplo de cronograma de ejecución de obras _____	40
Tabla 4. Ejemplo de cronograma de ejecución de costos _____	40
Tabla 5. Ejemplo de Indicadores a alcanzar _____	40

## CAPITULO I. ASPECTOS GENERALES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

La Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico (Minambiente, 2010)<sup>1</sup> establece que “el agua dulce se considera un recurso escaso y por lo tanto, su uso será racional y se basará en el ahorro y uso eficiente” (Principio 6) y, en consecuencia determina la necesidad de optimizar la demanda (Objetivo 2) mediante la gestión integrada del recurso hídrico en los principales sectores productivos (Estrategia 2.2) a través de la implementación de procesos y tecnologías de ahorro y uso eficiente (Estrategia 2.3).

En consonancia con esta política, el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) han unido esfuerzos para elaborar, con el ejercicio de la Universidad de Córdoba, esta guía para la elaboración del programa de uso eficiente y ahorro del agua en la minería de metales preciosos y carbón.

De acuerdo con los registros oficiales de producción minera presentados por Minercol (2001 – 2004), Ingeominas (2005 – 2011) y ANM (2012 – 2014), el 36.5 % (409) de los municipios en el país cuentan con registros de extracción de oro y carbón en los últimos 13 años; adicionalmente, durante el mismo período se evidencia un aumento en los volúmenes minados.

Con tan amplia y creciente participación en la economía nacional, la industria minera precisa de herramientas que contribuyan a mitigar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas en los territorios que la albergan, así como optimizar el uso del mismo, con base a lo observado en cada una de la UPM visitadas, que evidencia que en la zonas en donde hay disponibilidad del recurso los mineros no conocen mucho sobre el uso eficiente del agua y en las zonas donde hay escases estos intentan darle el mejor uso posible.

De igual manera, de acuerdo con la ley 373 de 1997 en su artículo 3 especifica que “...y los demás usuarios del recurso hídrico presentarán para aprobación de las

---

<sup>1</sup> Minambiente. (2010). *Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico*. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial -Minambiente. Bogotá, D.C. Pág. 96, 98, 99

Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, el Programa de Uso Eficiente y Ahorro de Agua...”

Por lo anterior, la presente guía se desarrollara con el fin de proporcionarles a todos las empresas mineras, así como a los funcionarios del estado una herramienta para la elaboración de los Planes de Ahorro y Usos Eficiente del Agua enfocado hacia la minería de metales preciosos y Carbón. Con el fin de darle cumplimiento a la normatividad relacionada así como ayudar a mitigar los impactos generados por este sector sobre el recurso hídrico.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua 2014 –ENA 2014 (IDEAM, 2015)<sup>2</sup> la demanda de agua del sector minero es de 620 m<sup>3</sup> representando una participación de 1,8% de la demanda total del país, siendo las áreas Magdalena - Cauca, Caribe y Pacífico concentran el 98% del uso de agua en minería, sin embargo no se controla el uso del agua realizado por este sector, por lo que consideran que las pérdidas por parte de ellos continuaran en aumento<sup>3</sup>.

Así mismo, para realizar el cálculo de la huella hídrica azul del sector minero, se concentró únicamente en el proceso de extracción de petróleo, y otros subsectores asociados con la minería no fueron incluidos, a causa de la carencia de información y de la poca disponibilidad de la información existente, lo cual no implica que tengan un impacto poco representativo a nivel nacional en términos de agua azul. Por lo anterior, se recomienda identificar este sector como uno de los puntos focales con los cuales es altamente pertinente continuar explorando la aplicación de la huella hídrica<sup>4</sup>.

También el ministerio de minas y energía expone que. *“La actividad minera en Colombia se ha caracterizado a través del tiempo por constituirse como una actividad que presenta condiciones tecnológicas precarias y en muchos casos de subsistencia”*

---

<sup>2</sup> IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua 2014. Instituto de hidrología, meteorología y estudio ambientales - IDEAM. Bogotá, D.C.

<sup>3</sup> IDEAM – Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estudio Nacional del Agua ENA 2014. Bogotá, D. C., mayo de 2015. Pág.147

<sup>4</sup> IDEAM. Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográfica en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. Medellín, Abril de 2015. Pág. 155

(MME, 2013)<sup>5</sup>. Hecho que se reiteró en el estudio actual en donde las explotaciones mineras visitadas se caracterizan casi en general por lo siguiente: baja producción con tecnología de explotación minera muy básica; tienen un escaso (o nulo) nivel de control de las aguas que se producen en la mina; desconocimiento técnico en el control de aguas es absoluto, no se producen análisis de las características químicas de las aguas generadas por la mina y en consecuencia tampoco de las de vertido; así como tampoco no existe un control de caudales producidos ni puntual y mucho menos histórico.

De igual manera, luego de realizar las visitas y caracterización de las 58 UPM se evidencio casi que de manera general la falta del manejo adecuado del recurso hídrico, teniendo en cuenta que los proyectos mineros no realizan la contabilización del recurso hídrico, realizan un uso inadecuado o excesivo del mismo, así como cuentan con las redes de distribución ineficientes (muchas fugas).

Todo lo anterior, lleva a la necesidad de darles herramientas a los productores mineros para desarrollar e implementar planes que les permita hacer un uso racional de recurso hídrico, así como les permite identificar tecnologías limpias que les permita de dar cumplimiento a ley 373 de 1997.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

En línea con las preocupaciones expresadas durante la Cumbre del Agua realizada en Budapest en 2013, el IDEAM (2015) expone para Colombia la preocupación global sobre el recurso hídrico, en particular la manifestación de que el problema de escasez hídrica ya se está trasladando de áreas secas a zonas consideradas como con abundancia relativa (IDEAM, 2015, pág. 233). Por este motivo, la gestión hídrica se ha incluido dentro de los ejes fundamentales para los gobiernos actuales.

Por otro lado, el IDEAM (2015) indica que la demanda del sector minero representa el 1.8 % del total nacional, una cifra que parece baja pero que exige el desarrollo de herramientas que reduzcan el uso consuntivo y no consuntivo en los procesos de extracción, beneficio y transformación principalmente.

---

<sup>5</sup> MME. (2013). Guía de normatividad minera: Normativa minera. Ministerio de Minas y Energía -MME. Bogotá, D.C.: Obtenido de: <https://www.minminas.gov.co/normativa-minera>. Pág. 16

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

De acuerdo con IDEAM (2015) la demanda del sector minero representa el 1.8% de la demanda del país, pero es un sector al que aún no se le ha controlado el uso de este recurso, generando que sea usado inadecuadamente y de manera desmedida.

Sin embargo, *“el Código de Minas en su artículo primero, en uno de sus apartes establece... que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible y del fortalecimiento económico y social del país”*.<sup>6</sup>

Por lo cual el Ministerio de Minas y Energía, al elaborar la Política Nacional para la Formalización Minera en Colombia, establece que *“para ser minero formal en Colombia se deberá cumplir una serie de requisitos, que partiendo de una base legal, deberán tener en cuenta aspectos técnicos de la minería y de manejo ambiental, económicos, tributarios, sociales y laborales de la industria..”*<sup>7</sup>

De igual manera, la Ley 373 de 1997 establece en su artículo 3 que: “Cada entidad encargada de prestar los servicios de acueducto, alcantarillado, de riego y drenaje, de producción hidroeléctrica, y los demás usuarios del recurso hídrico presentarán para aprobación de las corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales, el programa de uso eficiente y ahorro de agua”.

Por todo lo anterior, la realización de la Guía para la elaboración de los planes de ahorro y uso eficiente del agua, se convertirá en la herramienta fácil y practica para que los productores mineros de las diferentes escalas productivas y tipos de minería en metales preciosos y carbón, para dar cumplimiento a la Ley 373, y facilitarles su proceso de formalización poco a poco.

---

<sup>6</sup> Op. Cit.

<sup>7</sup> Ministerio de Minas y Energía. Política Nacional para la formalización de la minería en Colombia. Bogotá D.C., julio de 2014: Pág. 43

## 1.4 OBJETIVOS DE LA GUÍA

### 1.4.1. Objetivo general

Elaborar un Guía que se constituirá en un instrumento para la creación de los Planes de Ahorro y Uso Eficiente para la minería de metales preciosos y Carbón, de conformidad con lo establecido en la Ley 373 de 1997 y las normas que la reglamenten, así como establecer las mejores estrategias, directrices y lineamientos a nivel gubernamental y sectorial para implementar las prácticas identificadas tendientes al uso eficiente del agua.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información relacionada con los aspectos a tener en cuenta para la elaboración de los planes de Ahorro y Usos eficiente del agua.
- Establecer las diferentes escalas productivas y tipos de minería de metales preciosos y de carbón los cuales implementaran la guía.
- Adaptar la Guía de ahorro y uso eficiente del agua expedida por el ministerio del Medio Ambiente, en 2002, así como otras guías ambientales para la Producción Más Limpia de diferentes sectores productivos y enfocarlos en la minería de metales preciosos y carbón

## CAPITULO II. MARCO NORMATIVO

Como base legal para la elaboración de la presente guía se tuvieron en cuenta las siguientes Leyes, Decretos y resoluciones:

**Constitución Política de Colombia.** En su Artículo 80 establece que “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. De igual forma, debe prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental”.

**Ley 99 de 1993.** Por medio del cual se define el SINA y crea el ministerio del medio ambiente. En él se consignan orientaciones sobre la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.

En su Artículo 1 establece entre sus principios Generales Ambientales que “El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo”.

**Decreto 2811 de 1974.** Sobre el Código nacional de los recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente, estable:

Artículo 2º. Fundado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los pueblos, este Código tiene por objeto:

1. Lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, mejoramiento y utilización racional de los recursos naturales renovables, según criterios de equidad que aseguran el desarrollo armónico del hombre y de dichos recursos, la disponibilidad permanente de éstos, y la máxima participación social para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros habitantes del territorio Nacional;
2. Prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos;
3. Regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la Administración Pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables y las relaciones que surgen del aprovechamiento y conservación de tales recursos y del ambiente.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

Artículo 146º. Las personas a quienes se otorgue una concesión de agua para la explotación de minerales, además de las previstas en otras normas, deberán sujetarse a las siguientes condiciones:

- a. A la de mantener limpios los cauces donde se arroje la carga o desechos del laboreo para que las aguas no se represen, no se desborden o se contaminen;
- b. A la de no perjudicar la navegación;

Artículo 147º. En el laboreo de minas deberá evitarse la contaminación de las aguas necesarias para una población, un establecimiento público o una o varias empresas agrícolas o industriales.

**Decreto 3930 DE 2010**. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Deroга el Decreto 1594 de 1984, salvo los artículos 20 y 21.

**Ley 373 de 1997**. Por la cual se establece el programa de uso eficiente y ahorro del agua. En él se establece en su Artículo 1 que "...Se entiende por programa para el uso eficiente y ahorro de agua el conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico"

**Decreto 3102 de 1997**. Reglamenta aspectos técnicos sobre instalaciones, equipos, sistemas e implementos de bajo consumo. Define el consumo básico. Establece obligaciones para los usuarios, constructores, urbanizadores y entidades prestadoras del servicio de acueducto.

En su Artículo 2. Define cuales con las obligaciones de los usuarios. "Hacer buen uso del servicio de agua potable y reemplazar aquellos equipos y sistemas que causen fugas de aguas en las instalaciones internas".

**Resolución 1023 de 2005**. Por la cual se adoptan guías ambientales como instrumento de autogestión y autorregulación. En su Artículo 1

**Decreto 2820 del 5 de agosto de 2010**. Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

**Decreto 1575 del 9 de mayo de 2007** expedido por el Ministerio de Salud, establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

**Resolución 2115 del 22 de junio de 2007** señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

## CAPITULO III. USOS DE LA GUÍA

Para la elaboración de la presente guía, se realizó en primera instancia una revisión bibliográfica, con el fin de determinar la exigencia de guías relacionadas con el tema, para lo cual se tuvo en cuenta otras guías elaboradas para otros sectores productivos, como los enunciados a continuación.

- Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua elaborada por el Ministerio de Ambiente<sup>8</sup>.
- Programa de ahorro y uso eficiente del agua para extracción de aceite crudo en el sector palmicultor<sup>9</sup>.
- Guía sectorial de producción más limpia. Hospitales, Clínicas y Centro de Salud<sup>10</sup>.
- Política Nacional de Producción más Limpia.<sup>11</sup>
- Términos de referencia para el programa de uso eficiente y ahorro del agua del sector servicios e institucional.<sup>12</sup>

La guía es estructurada teniendo en cuenta los requerimientos realizados en la Ley 373 de 1997, los cuales son para dar cumplimiento, independientemente del tipo y escala de minería. Sin embargo, en algunos aparte de documento, se diferencian como realizar algunas actividades teniendo en cuenta si es minería de subsistencia, pequeña y mediana minería.

Cada proyecto minero que haya decidido elaborar el Programa de Ahorro y Uso Eficiente del Agua para su proyecto minero, debe tener en cuenta que estos PUEAA se realizan teniendo en cuenta 5 capítulos básicos, divididos en 5 partes, así:

---

<sup>8</sup> Ministerio de Medio Ambiente. Guía de Ahorro y uso eficiente del agua. Diciembre de 2002.

<sup>9</sup> Anaya, Ángela y Calderón Rojas, Dollys. Programa de ahorro y uso eficiente del agua para extracción de aceite crudo en el sector palmicultor. Tesis de grado de especialista. Universidad Pontificia Bolivariana. Floridablanca. 2011

<sup>10</sup> Centro de Producción más Limpia y Tecnologías Limpias. Guía sectorial de producción más limpia. Hospitales, Clínicas y Centro de Salud.

<sup>11</sup> Ministerio de Medio Ambiente. Política Nacional de Producción más Limpia. Bogotá. Agosto de 1997.

<sup>12</sup> Corponariño. Términos de referencia para el programa de uso eficiente y ahorro del agua del sector servicios e institucional. Recuperado de:  
<http://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/terminosdereferenciasectorserviciosinstitucional.pdf>

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

- 1. Información preliminar:** El documento debe contener información preliminar que identifique los alcances y objetivos que quiere cada Proyecto Minero con su PUEAA.
- 2. Diagnostico general del Proyecto minero:** Esta información es para identificar las generalidades del proyecto minero, la descripción del proceso y de todo el sistema de abastecimiento así como su estado.

En este punto también se identifican los aspectos a mejorar con relación a la Ley 373 de 1997, es decir reducción de pérdidas, Reuso del agua, utilización de medidores, consumos básicos y mínimos, aplicación de campañas educativas, implementación de tecnologías de bajo consumo y si es necesaria la protección de zonas de manejo especial dentro del proyecto minero.

- 3. Componentes del Plan de Acción:** Es aquí en donde se definen que programas y proyectos que van a implementar dentro de su proyecto minero, que han sido analizados desde el punto de vista de costos, aspectos técnicos y ambientales y que deben cumplir con las metas propuestas en cada uno de ellos. Es decir, es donde cada proyecto minero teniendo en cuenta el tipo y escala de minería escogerán que proyectos pueden implementar según su capacidad financiera, su producción minera y su infraestructura.
- 4. Aspectos a tener en cuenta para mantener el Plan de Acción:** cada proyecto minero debe tener en cuenta y aplicar unos aspectos que garanticen que la implantación del Plan de Acción perdure durante los años
- 5. Conclusiones y Recomendaciones:** son las conclusiones y recomendaciones que cada proyecto arroja después de la elaboración de cada PUEAA.

En el capítulo siguiente se describen los ítems que componen cada parte del documento y se especifican algunas técnicas o estrategias que se pueden aplicar en cada uno de los programas definidos dentro del Plan de Acción del PUEAA de proyecto minero.

## **CAPITULO IV. GUÍA DE ESTRUCTURA Y CONTENIDO PARA LA FORMULACIÓN DE PROGRAMAS DE USO EFICIENTE Y AHORRO DE AGUA (PUEAA), ENFOCADO A LA MINERÍA DE METALES PRECIOSOS Y CARBÓN**

### **4.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR**

#### **4.1.1 Introducción**

Todo documento debe hacer una introducción que indique las generalidades del proyecto minero, tiempo de operación, descripción del proceso minero, por qué consideran la realización del PUEAA, y que creen conseguir con este, así como que avances o acciones han aplicado dentro del proyecto en relación al uso eficiente y ahorro del agua.

#### **4.1.2 Alcances del programa**

Definir hasta donde son los alcances del programa tanto a nivel interno y dentro del sector minero.

#### **4.1.3 Objetivo**

##### **4.1.3.1 Objetivo General**

Definir el objetivo general de PUEAA en cada proyecto minero.

##### **4.1.3.2 Objetivos Específicos**

Definir los objetivos particulares, tanto técnicos y ambientales del PUEAA del proyecto minero, tendientes a alcanzar lo estipulado en la Ley 373 de 97.

## 4.2 DIAGNÓSTICO GENERAL DEL PROYECTO MINERO

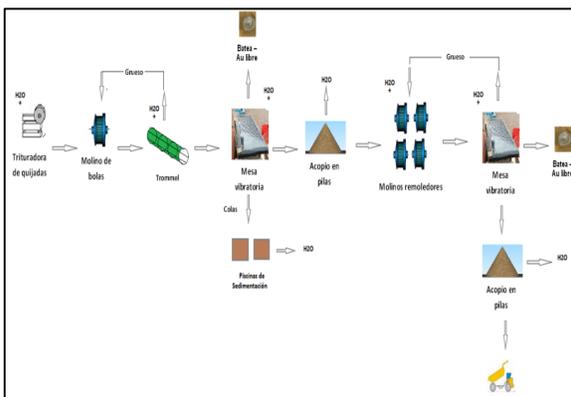
### 4.2.1 Información general

En primer lugar se debe realizar una identificación y breve descripción del proyecto. Así como que aspectos han realizado con respecto al tema y que problema se han detectado dentro del proyecto minero.

Como mínimo hay que tener en cuenta la siguiente información:

- Nombre del proyecto minero
- Título minero:
- Nombre del representante legal de la empresa o proyecto
- C.C./NIT.
- Dirección del proyecto minero y municipio
- Localización georeferenciada de la empresa o proyecto
- No. telefónico y celular
- Concepto de uso de suelo
- No. de empleados dentro de la empresa tanto administrativos y operativos
- Jornada laboral (hora/día)
- Tiempo de producción (hora/día)
- Toneladas de material producido

### 4.2.2 Descripción del proceso



Ejemplo proceso minero

En este ítem es necesario describir todo lo relacionado con el proceso minero, es decir caracterizar el proceso desde la etapa de extracción hasta el beneficio del mineral de los metales preciosos y carbón teniendo en cuenta las tecnologías utilizadas en sus operaciones unitarias.

Es necesario elaborar un diagrama de flujo de todos los materiales utilizados en el proyecto minero desde que entran hasta que sale del proceso.

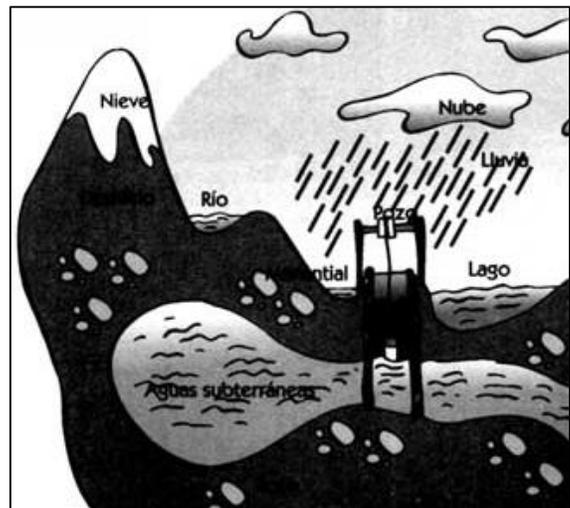
### 4.2.3 Conocimiento e identificación del sistema

En esta etapa cada proyecto minero realiza un análisis, que permite identificar su situación actual, teniendo en cuenta el uso del recurso hídrico. De estar compuestas por los siguientes análisis:

#### 4.2.3.1 Fuentes abastecedoras

Cada proyecto minero debe especificar el tipo o tipos de fuente de abastecimiento, especificando lo siguiente:

- Nombre de la(s) fuente(s) abastecedora(s) de la empresa.
- Localización.
- Descripción cualitativa y cuantitativa del estado actual.
- Detallar si se han realizado actividades frente al cuidado de la fuente abastecedora.
- Especificar si se está utilizando aguas superficiales, lluvias y/o subterráneas detallando el método de extracción o manejo en el caso que aplique.
- Especificar si cuenta con la concesión para el abastecimiento y caudal otorgado.



Fuentes de abastecimiento

En caso de que el proyecto minero esté conectado a un sistema de acueducto, debe suministrar la siguiente información:

- Nombre del sistema de acueducto.
- Nombre de la empresa o Junta administradora de acueducto y representante legal.
- Nombre de la(s) fuente(s) abastecedora(s) del acueducto.
- Consumo promedio del último año facturado por la empresa.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

#### **4.2.3.2 Identificación del sistema de abastecimiento**

En esta etapa se debe identificar cada componente del sistema de distribución de agua, como mínimo incluir la siguiente información.

- a. Identificación de las entradas y salidas de agua.
- b. Identificación de los elementos de distribución del sistema de abastecimiento: tuberías de distribución, medidores, almacenamiento, extracción.
- c. Identificación de los procesos unitarios de las etapas de extracción y beneficio del metal precioso y carbón que requieren el uso del agua, así como los otros procesos como servicios administrativos, domésticos, residuales y para consumo.



Redes de distribución

- d. Contabilización de los suministros medidos como los no medidos en cada uno de los procesos identificados.
- e. Identificación de los puntos del sistema donde el agua puede ser extraída, calidad y cantidad de agua requerida en cada proceso.
- f. Elaboración de los planos de las obras hidráulicas, redes de abastecimiento, tomas, longitud de instalaciones, ubicación de válvulas de control y puntos de consumo.

#### **4.2.3.3 Descripción del sistema de abastecimiento**

En este ítem el proyecto minero debe realizar una descripción detallada del sistema de distribución de agua, integrando todo lo identificado en el ítem anterior, de la siguiente manera:

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
 INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
 CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

**Tabla 1. Ejemplo de descripción del sistema de abastecimiento.**

Componente	Georeferenciación			Dimensiones	Material	Estado actual detallando problemas en las unidades del sistema
	x	y	h			
Captación						
Aducción						
Sistema de extracción						
Tanque de almacenamiento						
Conducción						
Válvulas, accesorios (grifos, llaves, etc)	Cantidad					
Macro medición o sistema de medición						
Redes de distribución internas						
Otros componentes identificados						

Esto se debe realizar con cada una de las fuentes abastecedoras con las que cuente el proyecto minero.

#### **4.2.3.4 Definición del sistema de abastecimiento**

Una vez identificado y descrito el sistema de abastecimiento hay que proceder a confirmar la información, por lo cual se debe:

- Realizar una inspección visual del sistema para compararlo con los planos y diagramas de las instalaciones hidráulicas o si es necesario llevar a cabo nuevos levantamientos.
- Revisión de contadores existentes o instalación de los que se necesiten y tengan la capacidad financiera.
- Determinar consumos horarios, diarios, mensuales y anuales.
- Actualización constante de la información.
- Realizar la medición de entradas, salidas y consumos de agua.

#### **4.2.3.5 Elaboración de croquis, planos o mapas**

Ya con la información recolectada y verificada, se procede a elaborar un plano o croquis actualizado del sistema de abastecimiento con todos los componentes identificados.

#### 4.2.3.6 Realizar mediciones

En esta etapa se deben medir todos los flujos de entrada y salida del sistema. Es recomendable que se tengan instalados medidores.

Para la Gran minería y mediana minería, en esta etapa hay que realizar un programa de lectura por lo menos dos veces al día, antes de iniciar las labores en la mina y otra al terminar la jornada laboral, durante varias semanas consecutivas todos los días (incluidos los fines de semana).

En caso de no contar con medidores se pueden utilizar realizar aforo volumétrico o utilizar métodos indirectos para determinar los caudales.



Aforos de caudal

En este caso, las mediciones deben realizarse en cada uno de los procesos unitarios cada vez que se utilice el recurso hídrico. Es necesario determinar los volúmenes que se consumen en cada actividad de los procesos mineros o donde se realice la utilización del recurso hídrico durante toda la jornada laboral todos los días por varias semanas.

Estas lecturas deben quedar registradas para poder establecer un flujo base tanto diurnos como nocturnos.

#### 4.2.3.7 Detección de fugas

Es necesario realizar las inspecciones constantes para detectar y corregir cualquier fuga que se presente dentro del sistema de abastecimiento, aunque esta sea menor.

Para detectar estas fugas es recomendable hacer un programa para realizar inspección a la red de distribución y a cada uno de los dispositivos que se encuentren en el proyecto minero, como inodoros, lavamanos, grifos, etc.

En estos recorridos deben tener en cuenta que las fugas que se presentan pueden ser visibles o no visibles. Las fugas visibles se detectan fácilmente haciendo un recorrido a

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

lo largo de todo el sistema de distribución de agua y la fuga se detecta al observar el lugar en donde aflore el agua o si esta humedecido el terreno.



Fugas en las tuberías

Para la detección de fugas no visibles, es a las que hay prestarle más atención, porque no son detectables a simple vista y se presentan por más tiempo hasta que son ubicadas y reparadas.

Las fugas de agua en tuberías producen sonidos característicos, que es posible detectar con equipo especializado. Entre los equipos utilizados usualmente para detectar estas fugas encontramos un “correlador” (equipo electrónico que calcula velocidades del sonido) y un audífono para amplificar sonidos (geófonos).<sup>13</sup>

Estos equipos normalmente los tienen las empresas de acueducto, por lo que no se considera necesario comprarlos sino solicitar el servicio a este tipo de empresa si es posible.

#### **4.2.3.8 Balance de agua.**

En este aparte se busca es identificar que la suma que se emplea en todas las operaciones del proyecto minero sean igual que el agua que entra al sistema. Si este balance no es exacto, se deben realizarse todas las verificaciones (medidores, lecturas, aforos, fugas) necesarias para que el balance sea lo más exacto posible.

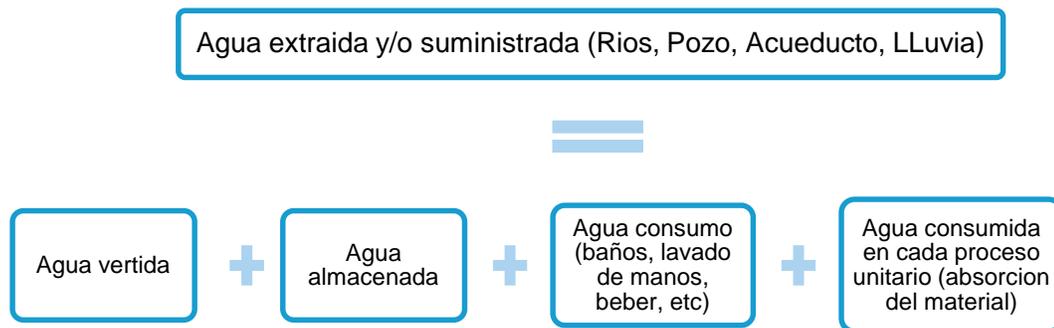
“En un balance, tanto las entradas (ingresos), como las salidas (egresos), deben estar bien identificadas; esto quiere decir que se debe saber con precisión de dónde proviene cada cantidad del total, así como el uso que se le dio a cada una de las cantidades que conforman el egreso total, respectivamente; de tal manera que el ingreso total debe ser igual al egreso total más la variación en el almacenamiento (esta variación puede ser

<sup>13</sup> Veracruz, Xalapa Enríquez. Manual para el Uso Eficiente del Agua en las Instalaciones de la Universidad Veracruzana. Monografía para obtener el título de Ingeniero Civil. Universidad Veracruzana. Xalapa 2013. Recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/35066/1/ortegabarradasherminio.pdf>

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
 INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
 CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

positiva o negativa). De esta forma, la realización de un balance tiene como finalidad analizar si existen pérdidas, cuáles fueron sus causas y de qué manera se pueden reducir algunos gastos para maximizar las utilidades o el beneficio”<sup>14</sup>.

Por ejemplo, en un proyecto de minería de oro simple, que no cuenta con recirculación, un balance de agua se haría teniendo en cuenta el siguiente esquema:



Por lo tanto, al realizar la sumatoria de todos estos datos, la diferencia encontrada son las pérdidas que se están presentando en el proceso y las que hay que tratar de reducir.

#### **4.2.4 Análisis de componentes de acuerdo a la ley 373 de 1997**

En este ítem se busca categorizar los procesos o sistemas en donde se dan los mayores consumos de agua y compararlos con otros consumos a nivel nacional e internacional, así como con los requerimientos de calidad y técnicos mínimos de cada proceso.

Es decir, de acuerdo a el diagnostico que se hizo a todo el sistema, se debeb identificar los puntos en donde se están presentado los mayores consumos de agua, esos consumos compararlos con otros que se presenten en otras minas a nivel nacional e internacional, y determinar si hay posibilidades de realizar cambios a ese proceso que

<sup>14</sup> Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Manual para el uso eficiente y racional del agua. ¡Utiliza sólo la necesaria!. México 2003

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

no afecte los criterios técnicos de funcionamiento y de calidad mínimos que se requieren.

Es por esos, que en este ítem cada proyecto minero seleccionan las opciones viables teniendo en cuenta los costos, implicaciones técnicas y ambientales, es decir definen cuales son los programas que deben y/o pueden implementar dentro de su proyecto minero, que objetivo específico tiene cada programa, como lo van a hacer (metodología), con que recurso (pueden hacer la inversión económica que se requiere), etc.

Todos los programas que el proyecto minero va a definir tienen que tener en cuenta que vaya enfocado a cumplir con los fundamentos de un PUEAA, de acuerdo a la ley 373 de 1997.

Cada uno de estos fundamentos se puede convertir en un Programa para su PUEAA, de acuerdo a que requiera cada proyecto minero, como se muestran a continuación.

#### **4.2.4.1 Reducción de pérdidas**

Dentro de las estrategias que se pueden manejar para la reducción de pérdidas de agua dentro de la minería de metales preciosos y carbón se encuentran las siguientes:

- a. Gestión de la infraestructura. Por lo cual se debe realizar una inspección de toda la red, para verificar su estado y realizar los cambios que sean necesarios.
- b. Control activo de detección de fugas tanto visibles como no visibles.
- c. Instalación de válvulas de control en todas las entradas al sistema.
- d. Control de rebose de tanques de almacenamiento.
- e. Control de las presiones en la red de distribución.



Instalación de  
válvulas de control

En este programa es necesario definir las metas anuales que se esperan cumplir con su implementación.

#### **4.2.4.2 Reuso y reciclaje obligatoria del Agua**

Una estrategia fundamental para realizar la minimización de uso del recurso hídrico (disminuir el consumo de agua fresca) es maximizar el reuso del agua dentro de sus

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

procesos unitarios y entiéndase por reuso del agua como el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas en actividad diferente a la que las originó.

Esta técnica se puede aplicar una vez se haya verificado la calidad del afluente y se ser necesario la aplicación de un tratamiento químico o físico.

Para lograr una correcta aplicación del programa de reuso de agua es conveniente seguir los siguientes pasos:

- Identificación de las oportunidades de reciclaje de agua.
- Evaluación de la mínima calidad del agua necesitada para un uso que se le quiere destinar.
- Evaluación de la degradación de la calidad del agua resultante de su uso.
- Determinación de los pasos de tratamiento, si son necesarios, que se pueden requerir para preparar el agua para su reciclaje.

Las aguas que se recomiendan reusar dentro de los procesos mineros en

- Agua de minas.
- Agua de relaves.
- Aguas de piscinas de sedimentación para el caso de la minería de metales preciosos.
- Lagunas o Albercas de sedimentación para el caso de la minería de carbón.
- Agua lluvias.

Esta agua puede ser utilizada en otros procesos mineros de acuerdo a los estándares de calidad requeridos por cada proceso, así como riego de calle, cultivos aledaños o usos domésticos dentro de la mina.

También es conveniente estudiar la implementar un modelo de recirculación del agua en las operaciones unitarias que tengan la posibilidad, que conlleve a la reducción del consumo de agua.

#### **4.2.4.3 Medidores de consumo**

La utilización de los medidores de consumo en sistema de captación o sistemas de suministro de agua (superficial, subterráneo, reuso, acueducto, etc), así como el agua de mina es fundamental para determinar la cantidad de agua que entra en el proyecto minero y es con esta información que se lograr realizar un control de ellas.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

Es por eso que se recomienda que los proyectos mineros implementen un programa de instalación de medidores, especialmente en la mediana y gran minería.



Medidores de consumo

En cuanto a la minería de subsistencia y pequeña minería, en donde los consumos de agua y el material procesado o producido son muy bajos, así como su capacidad de adquisición, para lograr hacer un control sin instalar medidores, es recomendable establecer, en conjunto con la Autoridad Ambiental, unos límites de consumos de agua y a partir de este, realizar un monitoreo periódico para garantizar que estos consumos no se hayan accedido.

Lo importante mantener un control sobre la cantidad de agua consumida, ya que “Si no lo puedes medir, no lo puedes controlar”.

#### **4.2.4.4 Consumos básicos y mínimos**

Teniendo en cuenta que el consumo de agua dentro de los proyectos mineros no son iguales, debido a que los procesos unitarios implementados y el número de veces que se aplican dentro de ellos cambian, aun en un mismo distrito minero, la definición de consumos básicos y mínimos en cada uno de ellos aspectos a tener en cuenta.

Por lo tanto y con el fin de cumplir con lo contemplado en la Ley 373 de 1997 en su Art. 7 que especifica que *“Es deber de la comisión reguladora de agua potable y saneamiento básico, de las corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales, de acuerdo a sus competencias, establecer consumos básicos en función de los usos del agua, desincentivar los consumos máximos de cada usuario y establecer los procedimientos, las tarifas y las medidas a tomar para aquellos consumidores que sobrepasen el consumo máximo fijado”*., se sugiere que el momento de presentar las estrategias dentro del plan de acción, cada proyecto minero debe proponer unos consumos básicos y mínimos teniendo en cuenta las mediciones efectuadas al momento de realizar el diagnóstico del sistema de abastecimiento.

Estos consumos propuestos serán objeto de aprobación por parte de la autoridad ambiental que realice la revisión del PUEAA del proyecto minero.

#### 4.2.4.5 Campañas educativas a los usuarios

Estas campañas deben estar encaminadas a todos los trabajadores de los proyectos mineros y a los demás usuarios que hagan uso de las mismas fuentes hídricas, con el fin de despertar el interés en ellos y despertando comportamientos que propicien la aplicación y acogida de programas y proyectos propuestos en el Plan de acción del PUEAA.

Estas campañas educativas pueden utilizar las siguientes actividades:

- Implementación de afiches y carteleras con información asociada al ahorro del agua en proyecto minero.
- Talleres de sensibilización con relación a la importancia del ahorro y uso eficiente del agua a los trabajadores.
- Capacitación y educación en el uso eficiente del recurso hídrico en el ámbito laboral y otros.
- Socializar los resultados conseguidos con la aplicación del PUEAA.
- Colocar buzones de sugerencia para que todos trabajadores del proyecto minero.

En cada proyecto minero es necesario establecer la persona encargada de realizar la implementación del PUEAA y es esta persona la responsable de realizar las campañas educativas y de socialización.

Es recomendable establecer un cronograma que estipule cada una de las actividades a realizar, a que personal va enfocado, y el tiempo que se va invertir en dicha actividad, para evitar improvisaciones.

En la gran minería y mediana minería, en donde el personal es mayor y el tipo de actividades que realizan son diferentes (administrativas, operativas, etc.) es recomendable, en ciertos talleres, separarlos por grupos para hacer especial énfasis en aquellas actividades que cada grupo consume agua.

Para lograr que los cambios que se quieren aplicar dentro del proyecto minero sean rápidamente asimilados por el personal es necesario que estas actividades se realicen en periodos cortos (2 o 3 veces al mes) sin que esto afecte las operaciones de cada proyecto minero.



Folletos y plegables

#### 4.2.4.6 Tecnologías de bajo consumo de agua

Dentro de los proyectos mineros hay que tener en cuenta las actividades en las que se da la utilización del recurso hídrico. Estos usos se dan especialmente en los procesos de beneficio del mineral precioso y carbón y dentro de la zona de casinos y administración.

De acuerdo a esto, a continuación se describen el tipo de tecnología que podrían aplicar teniendo en cuenta las zonas en donde se van a implementar, el tipo de minería a la que pertenece el proyecto minero, la escala minera, la capacidad de inversión con la que cuenten y las instalaciones actuales.

##### a. Tecnologías de bajo consumo para sanitarios y usos domésticos

Dentro de las tecnologías que se pueden instalar en cada dispositivo tenemos:

- Orinales: Instalar sensores infrarrojos y Valvular ahorradoras
- Duchas: Reductores de caudal o instalar duchas de bajo consumo
- Grifos o llaves: Airadores o perlizadores, regulador de caudal, o se puede optar por instalar grifos con temporizadores o sensores infrarrojos.
- Bebederos: Instalarles restrictores de caudal o con válvulas de tiempo.

Muchas veces la utilización de tecnologías ahorradores no es suficiente, si no se cambian algunos hábitos, entre los que se puede tener en cuenta los siguientes:

- Reducir los tiempos de demanda de agua, especialmente los de consumo doméstico y lavado de maquinaria, equipos e implementos de trabajo.
- Cerrar los grifos o regaderas al enjabonarnos.
- El regadío de caminos debe cubrir como mínimo la mitad del ancho del camino, se debe efectuar en horas de baja evaporación y de alto tráfico vehicular. También se pueden construir superficies asfálticas o realizar estabilización química de los caminos.



Sistema de doble descarga y regulador de volumen de inodoros

## b. Tecnologías para optimizar el uso del recurso hídrico en la minería de Oro

A continuación se realiza una descripción de las alternativas tecnológicas que se van a proponer para optimizar el uso del recurso hídrico en las operaciones unitarias de beneficio de metales preciosos:

- **Trituración:** Las tecnologías usadas para la conminución del material trabajan por vía seca en su mayoría y se propondrán las siguientes:



– **Trituradora de quijadas:** “Utilizada en trituración primaria y secundaria, esta es gruesa y media. Recibe su nombre por el movimiento que realiza su placa de trituradora con respecto a su placa fija, similar a una mandíbula al masticar. El motor de la máquina produce un movimiento oscilatorio en una de las placas, misma que está colocada de manera diagonal. El mineral es introducido por la parte superior de la trituradora, que tiene una cavidad amplia que se reduce. El movimiento oscilatorio y la presión que la placa ejerce sobre los minerales al hacerlos chocar con

la placa fija provocan que las rocas se fragmenten.”<sup>15</sup>

- **Trituradora de impacto:** Se compone principalmente de chasis, rotor, la transmisión del rotor y las placas de impacto. Las trituradoras de impacto son mecánicas, por machacar los materiales usando la energía de impacto. En primer lugar, los materiales entran en la cámara de trituración desde la boca de alimentación. El rotor se rueda a alta velocidad cuando trabaja la máquina. Los materiales serán despedazados por el impacto con el martillo del rotor, y serán tirados a la placa de impacto. Así repite el proceso y los materiales serán machacados repetidamente. Los productos finales serán descargados hasta que corresponden la granularidad necesitada. Para cambiar la granularidad y la forma de los productos finales, se puede ajustar el intersticio entre la placa de impacto y el rotor. Por la forma como está dispuesta, los trituradoras de impacto

<sup>15</sup> Martínez Carillo (2012). Trituración y Molienda. Curso Procesamiento de Minerales - Maestría en Ciencia y Tecnología de la Metalurgia.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

de eje vertical anulan prácticamente la posibilidad de atascos, garantizando un funcionamiento fluido de las líneas de producción.<sup>16</sup>

- **Molienda:** Las tecnologías usadas para la molienda del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:

- **Molino de Bolas:** “Este equipo de molienda continua es un tambor cilíndrico, forrado interiormente con camisas o placas de acero endurecidas, en su interior una parte del volumen está cargado con bolas de acero al manganeso las cuales sirven de cuerpos moledores, y otra parte se destina para el mineral y para el agua; la carga del mineral a procesar se realiza a través de una tolva de finos; durante el proceso de molienda es necesario agregar continuamente agua para que se mantenga una relación de pulpas de 1:4 hasta 1:7. Al girar el molino se producen esfuerzos de desgaste y de impacto sobre el mineral procesado reduciendo el tamaño de las partículas. La molienda con molinos de bolas permite trabajar de una manera continua, controlar los parámetros de molienda y disminuir los costos por tonelada molida; los molinos de bolas no se encuentran en todas las plantas de beneficio”.<sup>17</sup>



- **Molino chileno:** “Son equipos conformados por “[...] hasta 4 ruedas de acero que giran alrededor de un eje y sobre una pista denominada circo, la cual está recubierta por material de acero endurecido. La carga se aplica directamente al molino de forma manual y la rotación de las masas en el circo produce atrición y abrasión de las partículas, las que abandonan el molino a través de una malla de clasificación. El molino chileno puede tener rendimientos de hasta 20 t/día, pero

<sup>16</sup> Martínez Carillo (2012). Trituración y Molienda. Curso Procesamiento de Minerales - Maestría en Ciencia y Tecnología de la Metalurgia.

<sup>17</sup> MinAmbiente. (2012). *Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala*. Bogotá: proyecto: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

su operación es discontinua y necesita de alto flujo de agua para su operación.”  
18

- **Molino de martillos:** Es adecuado para aplastar todo tipo de materiales duros y frágiles. El componente principal de trabajo del equipo es su rotor que está compuesto por el eje, el disco, eje principal pasador y cabeza de martillo. El rotor motivado por el electromotor hace revolución a alta velocidad en la cavidad de trituración. Las materias primas entran en la máquina desde la entrada superior y son aplastadas, impactadas, cortadas y molidas a polvos por el martillo a alta velocidad. Por debajo del rotor, se encuentra la placa de tamiz, de la cual los materiales –después de la molienda– más pequeños que el tamaño de la pantalla fluyen hacia fuera, mientras que los más grandes que el tamaño de la pantalla se detendrán en ella para recibir trituración y corte. Finalmente, se descarga fuera de la máquina desde la placa de pantalla.<sup>19</sup>
- **Clasificación:** Las tecnologías usadas para la clasificación del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:
  - **Trommel:** Es un cilindro de malla utilizada para separar los materiales por tamaño. También usado para la limpieza del material. “La intensidad de lavado está ligada al tiempo de permanencia del material y varía con el diseño de las bocas, longitud del cilindro, largueros de elevación, paletas de retención o avance.”[...] “Suele tener un consumo de agua en m<sup>3</sup>/h, de 1 a 2 veces el caudal de alimentación en T/h.”<sup>20</sup>

---

<sup>18</sup> MinAmbiente. (2012). *Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala*. Bogotá: proyecto: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

<sup>19</sup> SBM. (2007). Funcionamiento de un molino de martillos. Recuperado el 29 de 07 de 2005, de <http://molinochile.com/Soluciones/funcionamiento-de-un-molino-de-martillos.html>

<sup>20</sup> ARITEMA. (2014). *Trommel de lavado. Aplicaciones y descripción*. Recuperado el 3 de 8 de 2015, de [http://www.aritema.es/pdf/Catalogo\\_TROMEL\\_LAVADOR.pdf](http://www.aritema.es/pdf/Catalogo_TROMEL_LAVADOR.pdf)

- **Tornillo helicoidal:** Se trata de tornillos helicoidales a los que un motorreductor imprime un movimiento rotatorio. Según sus dimensiones y su modo de empleo (en posición horizontal, vertical u oblicua), van montados en un carter acanalado o cilíndrico. Estos transportadores son ampliamente utilizados para mover materiales pulverizados granulares, no corrosivos y no abrasivos, cuando la capacidad es moderada, la distancia no es mayor de 60 metros y la trayectoria no tiene demasiada pendiente. El transportador consta esencialmente de una artesa, cerrada o abierta, dentro de la cual gira un eje, macizo o hueco, alrededor del cual se enrolla una espira en forma de hélice. Este conjunto de ejes y espiras gira accionado por un motor y con una caja de reducción de engranajes, generalmente cónicos. La carga se efectúa por la boca de carga, bien



manualmente o por medio de un dispositivo dosificador que va colocado en la tolva de llenado, procurando que el material no caiga desde altura excesiva. El giro del eje es el que efectúa el transporte del material, que se descarga por la parte inferior por medio de un orificio (boca de descarga), practicado en la artesa, que suele ir provisto de una trampilla de cierre regulable, siendo posible la existencia de varios puntos de descarga, generalmente sólo en instalaciones fijas, ya que en las portátiles, la entrada está situada en un extremo, y la salida en el otro.<sup>21</sup>

- **Hidrociclón:** el funcionamiento teórico de estos equipos es el siguiente: “La suspensión de alimentación forma un torbellino primario a lo largo de la superficie interior de la pared de las partes cilíndrica y cónica, dirigiéndose al exterior a través del vértice cónico. Al ser éste estrecho, solamente una parte de la corriente es evacuada como flujo inferior (underflow), transportando las partículas gruesas o inclusive todos los sólidos con ella. La mayoría del líquido (que ha sido limpiado por la sedimentación de los sólidos en el torbellino primario, o bien que transporta las partículas finas sobrantes con él), es forzado a abandonar el ciclón a través de la tobera del flujo superior (overflow) formando un torbellino secundario ascendente alrededor del núcleo de la carcasa. En el interior del núcleo se crea una depresión, que recoge todo el aire que ha sido transportado como burbujas o disuelto en el agua de alimentación.”<sup>22</sup>

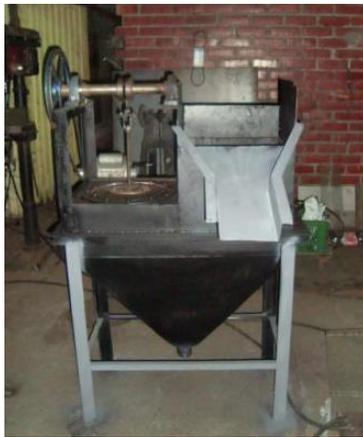
<sup>21</sup> Restrepo Baena, O. J. (2009). Curso Metalurgia Extractiva - Apuntes . Universidad Nacional - Facultad de Minas

<sup>22</sup> Trawinski, H. (1975). *Aplicaciones y Funcionamiento Práctico de los Hidrociclones*.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

- **Concentración:** Las tecnologías usadas para la concentración del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:

- **Canalón:** “[...] Está formado por un canal fabricado en lámina y recubierto por textiles, encima de ellos se coloca una malla expandida o unos rifles, que permiten realizar golpes de agua y concentrar los minerales. [...] Opera con pendientes entre el 10% - 12%, la cual es regulada por la cantidad de agua que corre sobre él; la capacidad de este elemento es muy variable y se adecúa fácilmente a la cantidad de mineral a beneficiar. [...]. Los canalones trabajan eficientemente con pulpas en relación de 1 parte de mineral por 10 de agua (1:10) y se debe recoger continuamente el concentrado cada vez que se observe saturación del mismo canal.”<sup>23</sup> En una operación continua la pulpa de salida suele tener porcentaje de sólidos en peso de entre 3% y 4%.<sup>24</sup>



- **Jig:** es un equipo de concentración gravimétrica muy utilizado en la minería de minerales pesados (estaño, wolframio, etc.) y también en la minería aurífera. El jig permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación del líquido producida por diferentes medios. En la minería aurífera los componentes pesados están constituidos por el oro y diferentes sulfuros (o por arenas negras en la minería aluvial), en tanto que los livianos son cuarzo y

<sup>23</sup> MinAmbiente. (2012). *SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA*. Bogotá: PROYECTO: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

<sup>24</sup> León Wong, J. (1999). Situación actual de la mediana minería en el Ecuador. Cambio de sistema de producción en la mina Bonanza. *Tesis de Grado*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

diferentes tipos de roca.<sup>25</sup> En cuanto al uso de agua los rangos óptimos de trabajo de la densidad de pulpa de alimentación suelen estar entre 35% - 40% sólidos. Así mismo, para una alimentación de referencia de unas 25 ton/h de sólidos el caudal de agua de elutriación suele estar entre el rango de 300-600 L/min.<sup>26</sup>

- **Mesa vibratoria:** “Son equipos de concentración que actúan a través de superficies con movimientos acelerados asimétricos, combinados muchas veces con el principio de escurrimiento laminar. Este equipo dispone de un mecanismo que proporciona un movimiento de vibración lateral diferenciado en sentido transversal del flujo de la pulpa, que causa el desplazamiento de las partículas a lo largo de los rifles. El consumo de agua de estos equipos teóricamente suele estar en el rango 38 a 83 L/min (alimentación) y 11 a 45 L/min (lavado)”.<sup>27</sup>



- **Celdas de flotación:** El proceso de flotación tiene por objetivo la separación de especies minerales de interés mediante la adhesión a burbujas de aire. Los principios básicos en que se fundamenta el proceso de la flotación son la hidrofobicidad del mineral que permite la adherencia de las partículas sólidas a las burbujas de aire y la formación de una espuma estable sobre la superficie del agua que permite mantener las partículas sobre la superficie. Para que el proceso sea efectivo se requiere la adición de reactivos: colectores, depresores, activadores y modificadores, cuyas acciones principales son inducir e inhibir hidrofobicidad de las partículas y darle estabilidad a la espuma formada. En la parte superior se concentrará la espuma que contiene los minerales de interés finamente molinos y en la parte inferior descargan las colas resultantes del proceso, en cuanto al consumo de agua la relación de pulpas que se maneja

<sup>25</sup> Pavez Miqueles, O. (2004). Apuntes Concentración de Minerales II. Universidad de Atacama - Facultad de Ingeniería.

<sup>26</sup> Alvarez Q., A. (2006). Tecnología de la concentración centrífuga - Notas de Curso. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Ingeniería

<sup>27</sup> Pavez Miqueles (2004). Apuntes Concentración de Minerales II.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

para el procesamiento de mineral es de 1:3 o hasta 1:4; es decir 3 a 4 partes de agua por una de mineral.<sup>28</sup>

- **Knelson:** El concentrador recupera partículas de oro de tamaños que van desde ¼” hasta aproximadamente 1 micrón, este concentrador consiste de un cono perforado con anillos internos y que gira a alta velocidad. La alimentación, que en general debe ser inferior a 1/4”, es introducida como pulpa (20-40% sólidos en peso) por un conducto localizado en la parte central de la base del cono. Las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas para las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono. Se forma un lecho de volumen constante en los anillos, los cuales retienen las partículas más pesadas, mientras que, las más livianas son expulsadas del lecho y arrastradas por arriba de los anillos para el área de descarga de relaves en la parte superior del cono.<sup>29</sup>
- **Falcon:** El concentrador Falcon consiste de un bolo cilíndrico -cónico que gira a alta velocidad en el interior de una camisa fija cuya función es coleccionar el relave. La pulpa se alimenta en el fondo del cono, es acelerada y se va estratificando a medida que asciende en el rotor. Dependiendo del tipo de modelos de serie del concentrador que se trate (Serie SB o Serie), las partículas serán sometidas a 200 g o 300 g, y el proceso de concentración en el bolo se realizará de acuerdo a un procedimiento diferente, en forma discontinua o continua.<sup>30</sup>
- **Lixiviación:** Las tecnologías usadas para la lixiviación del material trabajan en vía húmeda y son las siguientes:

---

<sup>28</sup> Bustamante, M. O. (2013). Flotación de Minerales - Apuntes de Curso. Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas.

<sup>29</sup> Universidad de Atacama (2007). Concentradores centrífugos-Concentrador Falcon y Knelson.

<sup>30</sup> Universidad de Atacama (2007). Concentradores centrífugos-Concentrador Falcon y Knelson.



– **Tanque de cianuración (Agitación):** “En este tipo de operación la pulpa se mantiene en movimiento con el objetivo de acelerar el proceso de disolución y exposición de las partículas metálicas a la acción del agente disolvente. Suele ser proceso continuo donde carga nuevo material mientras se recoge el ya procesado. El proceso suele durar alrededor de 18 horas. Sin embargo, conforme la relación costo beneficio de cada operación este tiempo

puede aumentarse. Existen básicamente dos tipos de tanques: agitadores mecánicos que utilizan impulsores metálicos para transmitir movimiento a la pulpa y agitadores neumáticos que utilizan el bombeo de aire en la base del tanque para dar suspensión a la pulpa, este último considera un beneficio extra la cantidad de aire suministrado al proceso. En este el recurso hídrico recibe una cantidad importante de reactivos químicos, por lo que es indispensable el tratamiento de las colas producidas previo su vertimiento”.<sup>31</sup> El consumo de agua en el proceso de cianuración depende exclusivamente de la cantidad de material que se vaya a procesar, debido a que en el proceso se maneja una relación de pulpa Líquido/Sólido de 2:1 y esta puede llegar a variar dependiendo de las condiciones químicas del mineral llegando a ser en algunas ocasiones de 5:1. “Suelen manejarse densidades de pulpa en volumen entre 35%-50% de sólidos dependiendo de condiciones como peso específico, tamaño de partícula y presencia de minerales que aumenten la viscosidad de la pulpa”.<sup>32</sup>

- **Recuperación de oro:** La mayoría de las tecnologías usadas en la recuperación de oro no tienen un consumo de agua, solo el clarificador y siempre está agua es la proveniente del proceso de cianuración, por su parte en los esperadores lo que se busca es retirar agua para espesar la pulpa, las tecnologías son las siguientes:

<sup>31</sup> Lara Monge (2005). Procesos de Cianuración. Subproyecto "Asistencia técnica y capacitación para el desarrollo técnico de Amalar".

<sup>32</sup> Romero, A., & Flores, S. (2010). La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, Vol. 12, N.º 24, 133-140.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

- **Clarificador:** Un tanque o cubeta en los que se mantiene por un período de tiempo una solución, permitiendo que los sólidos en suspensión remanentes se asienten con el fin de obtener una solución más limpia<sup>33</sup>.
- **Filtro prensa:** Es un sistema de filtración por presión. Consisten en una serie de placas y marcos alternados con una tela filtrante a cada lado de las placas, estas tienen incisiones con forma de canales para drenar el filtrado en cada una. Están concebidos para suspensiones cargadas que forman una torta, están formados por una serie de platos verticales yuxtapuestos alternativamente con armazones huecos en los cuales se acumula la torta. El soporte de filtración está formado por telas que sujetan los platos acanalados. El filtrado fluye tras cruzar el tejido filtrante por las conducciones adecuadas<sup>34</sup>.
- **Espesador:** Se utiliza para retirar el agua de una pulpa; es decir, para espesarlo. Toda la estructura es metálica y trabaja bajo el principio de gravedad o sedimentación, pues los sólidos se decantan y el agua se mantiene y descarga por arriba<sup>35</sup>.

### **c. Tecnologías para optimizar el uso del recurso hídrico en la minería de Carbón**

A continuación, se aborda por separado cada uno de estas operaciones unitarias donde se involucra la demanda del recurso hídrico, haciendo una descripción de cada una de ellas y las alternativas tecnológicas que se proponen para lograr la optimización del agua en los proyectos carboníferos estudiados.

- **Riego de vías:** Esta actividad se hace con el fin controlar la emisión de partículas finas de material que se levantan por el tránsito constante de maquinaria (principalmente de transporte) sobre las vías de una operación a cielo abierto. “El polvo es hoy una de las principales amenazas para la minería. Su carácter furtivo pone en riesgo la salud de las personas y la seguridad operacional, así como la continuidad del proyecto. Sin un adecuado sistema de monitoreo y control de polvo,

---

<sup>33</sup> MinMinas. (2003). Glosario Minero.

<sup>34</sup> Ministerio de minas y energía (2006). “técnicas de para la extracción aurífera, proceso de cianuración y amalgamación”.

<sup>35</sup> MinAmbiente. (2012). *SINOPSIS NACIONAL DE LA MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA*. Bogotá: PROYECTO: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

una gran cantidad de material particulado fino compromete la salud de los operadores e impacta negativamente en el desempeño de los equipos, afectando la productividad de la operación” (Rada J & Cruz M, 2013)<sup>36</sup>.

El riego de vías representa el mayor consumo de agua en las minas donde se ejecuta, por lo tanto es la actividad de mayor interés en cuanto optimizar el uso del recurso hídrico se refiere. Una reducción porcentual en el consumo ligado al riego de vías se traduce en un ahorro de miles de metros cúbicos de agua al año para operaciones pequeñas.

El uso de agua para controlar la emisión de polvo es común en la minería nacional. Sin embargo, esta no es precisamente la sustancia ideal para dicha tarea. “La aplicación de agua como supresor de polvo es una solución de corto plazo y opera a partir de la aglomeración de partículas en la superficie. Dependiendo de la temperatura y humedad tiene una eficiencia relativa de rango acotado entre 30 minutos y 12 horas. El porcentaje de control de polvo del agua en caminos ha sido estimado en un 40%. Su capacidad de controlar polvo decrece desde 100% a 0% en muy corto tiempo, especialmente si el clima es caluroso y seco. [...] Por otra parte, no evita la elevación de partículas más finas que se generan, ya que el agua no encapsula el camino. A su vez, el sobrerriego facilita la formación de barro, lo que dificulta la limpieza y mantenciones de equipos, genera erosión acelerada y determina mayores cortes en neumáticos, ya que afila cantos de roca” (Rada J & Cruz M, 2013)<sup>37</sup>.



En regiones mineras donde la disponibilidad del recurso hídrico es limitada, como zonas desérticas por ejemplo, es usual el uso de supresores de polvo alternativos. En la Tabla 2 se presenta un resumen de los supresores documentados, la eficacia del mismo y los efectos que genera sobre el entorno minero.

<sup>36</sup> Rada J, R., & Cruz M, R. (Junio de 2013). *Prácticas para suprimir el polvo*. Minería Chilena.

<sup>37</sup> Rada J, R., & Cruz M, R. (Junio de 2013). *Prácticas para suprimir el polvo*. Minería Chilena.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

**Tabla 2. Eficacia, impacto ambiental y efecto funcional de supresores de polvo.**

<b>Tipo de Supresor</b>	<b>Eficacia en control de polvo e impacto ambiental</b>	<b>Efecto funcional sobre operación</b>
<b>Agua</b>	50% (2 l/m <sup>2</sup> mes) Lixivia componentes del suelo. Zonas áridas de alta salinidad cambian pH de napas subterráneas	Sobrerriego daña neumáticos. Permite circulación inmediata. Genera barro.
<b>Cloruro de calcio</b>	<i>Cloruro de calcio 55%</i>	Corrosión de vehículos, Infraestructura vial y hormigón. Superficies resbaladizas cuando se humedecen (Higroscópicos). Seca gomas, caucho y revestimientos en equipos. No es complementario con riego de agua para controlar polvo.
<b>Cloruro de magnesio</b>	Cloruro de magnesio 77% Contaminación de napas subterráneas por cloruro arrastrado por el agua a través del suelo. Altamente solubles. Modifican pH y salinidad del medio acuoso. Alta concentración salina puede ser tóxica para las plantas y seres vivos. Concentración por sobre los 400 ppm es tóxica para ciertas especies de peces, y sobre los 1.830 mg/l es mortal para microorganismos y crustáceos.	
<b>No bituminosos (Lignosulfonato)</b>	63%. 7.300 mg/l afecta peces y 2.500 mg/l puede afectar colon en roedores. Produce ulceración y pérdida de peso en animales pequeños. Reducción de la actividad biológica en el agua, debido a la contaminación por lignosulfonatos.	Con baja humedad y alta temperatura es más efectivo que cloruros. <i>Mancha equipos y vehículos durante su aplicación.</i>
<b>No bituminosos (Aceites vegetales y melazas)</b>	84%. Reducción de la actividad biológica producto de la decoloración del agua.	Mayoritariamente son higroscópicos.  Se lavan con el agua y no impermeabilizan el camino.
<b>Orgánicos bituminosos (Emulsión asfáltica)</b>	95%  <i>Gran capacidad impermeabilizante</i>	Considerado supresor de larga duración. Mancha vehículos durante aplicación. Alta resistencia al rodado y tensión de carga. Reduce ciclos de riego y permite reparación del camino sobre riego.
<b>Polímeros sintéticos</b>	40-50%. Incrementa la fuerza de tracción del suelo. Fuerza depende de un tiempo de curado.	<i>No permite circulación inmediata.</i>
<b>Emulsión con polímero (promedio)</b>	Inicial 96%, 3 meses 84%, <i>Después de 11 meses 67%</i>	<i>No soporta alto tonelaje.</i>
<b>Estabilizador de suelo biocatalítico</b>	Inicial 33%, después de 3 meses 0% La vegetación no se restablece en áreas tratadas.	Solo compacta. No permite reparación ni reaplicación. Se debe rehacer una vez saturado o combinar con otro supresor.

Fuente: (Rada J & Cruz M, 2013)<sup>38</sup>.

<sup>38</sup> Rada J, R., & Cruz M, R. (Junio de 2013). *Prácticas para suprimir el polvo*. Minería Chilena.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

Cada tipo de sustancia tiene una eficiencia propia y genera sobre el escenario de la operación unos efectos diversos. La selección de un compuesto en particular dependerá también de las condiciones de cada UPM para la adquisición y manejo logístico del mismo.



- **Humectación de pilas de carbón:** “[...] Es un método efectivo para evitar la emisión de partículas por la acción del viento, Sin embargo la humectación genera lixiviados, erosión y arrastre de partículas en las pilas, por lo que se requiere que la humectación sea calculada para mantener una humedad constante sin excesos de agua” (UPME)<sup>39</sup>. Así mismo, tiene como objetivo prevenir la formación de

incendios a partir del auto-calentamiento y combustión espontánea del carbón.

En la operación de humectación interactúan varios fenómenos cuya dinámica es compleja. Sin embargo, se da una breve explicación de cada uno:

*Mojabilidad:* Es la facilidad con que un sólido puede estar en contacto con un fluido en términos de área superficial, en este caso particular hablamos de agua. La mojabilidad refleja como entran en contacto el fluido y sólido involucrados, si el primero recubre totalmente la superficie del segundo o si por el contrario forma gotas minimizando su contacto (Schlumberger , 2007)<sup>40</sup>.

*Auto-calentamiento:* “Este término se refiere al aumento de temperatura en un medio debido a la generación de calor interno proveniente de un proceso químico o físico que toma lugar dentro del mismo. En las pilas de carbón los principales procesos que ocurren simultáneamente son la transferencia de calor (internamente generado) y humedad (evaporación) al ambiente” (Hooman & Maas, 2014)<sup>41</sup>.

<sup>39</sup>UPME. (s.f.). *Manejo Ambiental Fase de Operación*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Manejo Ambiental de Emisiones Atmosféricas y Ruido:  
[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas2.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas2.htm)

<sup>40</sup>Schlumberger . (2007). Fundamentos de Mojabilidad. *Oilfield Review*.

<sup>41</sup>Hooman, K., & Maas, U. (2014). Theoretical analysis of coal stockpile self-heating. *Fire Safety Journal*(67), 107-112.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

*Combustión Espontánea:* “En pilas de carbón hace alusión al proceso físico y químico de fuga térmica. El cual es iniciado como auto-calentamiento, causado por una reacción de oxidación exotérmica a baja temperatura. Si el calor generado por la reacción no se disipa adecuadamente en el ambiente circundante la temperatura seguirá aumentando hasta entrar a un rango donde la pila alcanza la fuga térmica y entonces sufre ignición espontánea” (Hong-qing, Ze-yang, Bo, & Yu-ze, 2013)<sup>42</sup>. El proceso descrito es el que interesa prevenir puesto que representa una condición insegura para las operaciones y además la pérdida de las condiciones de calidad del producto a despachar.

La humectación del carbón tiene como objetivo aumentar el contenido de humedad en la pila que se relaciona directamente con la tasa de evaporación y con la temperatura requerida para el secado (Hong-qing et al, 2013)<sup>43</sup>.

Entre algunas de las variables que influyen en el proceso de combustión dentro de una pila encontramos: la velocidad del viento, la concentración de oxígeno, la altura de la pila, la porosidad del carbón y el ángulo de reposo de la pila (Hong-qing et al, 2013). Algunos parámetros tienen mayor relevancia que otros, y por supuesto, otros salen del control humano pues están ligados a las condiciones naturales del recurso mineral y de la zona geográfica donde se localiza la UPM. En este documento se hace énfasis en el efecto de la velocidad del viento, la altura y ángulo de la pila construida.

La velocidad del viento ciertamente no es una condición sobre la que pueda ejercerse control, pero es posible mitigar su efecto sobre el material acopiado. La velocidad del viento tiene una relación directa con la tasa promedio de la reacción de oxidación (mencionada antes): al disminuir la primera, la segunda se retrasa (Hong-qing et al, 2013). En este sentido, “[...] es necesario aislar las pilas de la acción viento, construyendo barreras artificiales o naturales constituidos por franjas de vegetación” (UPME)<sup>44</sup>.

---

<sup>42</sup> Hong-qing, Z., Ze-yang, S., Bo, T., & Yu-ze, H. (2013). Numerical investigation and theoretical prediction of self-ignition characteristics of coarse coal stockpiles. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 236-244.

<sup>43</sup> Hong-qing, Z., Ze-yang, S., Bo, T., & Yu-ze, H. (2013). Numerical investigation and theoretical prediction of self-ignition characteristics of coarse coal stockpiles. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 236-244.

<sup>44</sup> UPME. (s.f.). *Manejo Ambiental Fase de Operación*. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Manejo Ambiental de Emisiones Atmosféricas y Ruido:

[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas2.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas2.htm)

CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL

Por otra parte, la altura de la pila influye en la temperatura máxima alcanzada (así como la rapidez con que esta se alcanza). En el estudio llevado a cabo por (Hong-qing et al, 2013)<sup>45</sup> los resultados arrojan que reducir de 9 a 5 metros la altura de la pila reduce la tasa con que aumenta la temperatura interna de esta, de igual forma, el efecto se magnifica con la reducción de la altura por debajo de 5 metros. Este mismo estudio valora la influencia del ángulo de reposo de la pila, pero concluye que la influencia del mismo sobre el fenómeno de auto-calentamiento y combustión no es tan relevante como los demás factores tomados en cuenta.

El control de la combustión espontánea en pilas de carbón debe entonces complementarse con la implementación de medidas auxiliares a la humectación del material, como las descritas brevemente con anterioridad, por ejemplo.

También se propone implementar tecnologías para esta humectación como los son los aspersores de agua, en este sistema el agua para que se disperse en gotas de distinto tamaño debe salir a presión por orificios y boquillas (aspersores).<sup>46</sup>

- **Lavado de carbón:** “Disminución del porcentaje de cenizas e impurezas para minimizar los impactos ambientales negativos asociados con la combustión del carbón. El proceso puede ser en húmedo, según tamaño y forma, o en seco, según las diferencias en densidad y fricción” (UPME, 2005)<sup>47</sup>

La operación de lavado no se observa en ninguna de las UPM visitadas pues las condiciones naturales de los mantos, junto con su mezcla, permiten satisfacer los requerimientos de calidad de los clientes. Sin embargo, esta debe tomarse en cuenta pues se hace una afectación directa al recurso hídrico que sale del proceso con un aumento del contenido de material particulado, cenizas (del carbón) y otros contaminantes que estén asociados.

Para el mejor aprovechamiento del agua utilizada en un proceso de lavado, se recomienda su captación y almacenamiento una vez sale del mismo. Esto con el fin darle el manejo adecuado para recuperar su calidad y eventualmente ser reingresada al sistema generando un ciclo de recirculación. Debe medirse el cambio en las condiciones de calidad del recurso hídrico para seleccionar los tratamientos

---

<sup>45</sup> Hong-qing, Z., Ze-yang, S., Bo, T., & Yu-ze, H. (2013). Numerical investigation and theoretical prediction of self-ignition characteristics of coarse coal stockpiles. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26, 236-244.

<sup>46</sup> Riego por aspersión. Recuperado el 05 de 11 de 2015 de:  
[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE\\_RIOS/26/sisriego/rieasp.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/26/sisriego/rieasp.htm)

<sup>47</sup> UPME. (2005). *La cadena del carbón*. Bogotá.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

pertinentes y así mismo conocer las condiciones en que se recibe y eventualmente se vierte el agua utilizada.

En cuanto al tema del agua que sale de la mina, esta se hace mediante la operación unitaria de desagüe se hace dentro del proceso de extracción. Si bien es considerada una actividad auxiliar, su ejecución es trascendental para evitar inundaciones en los túneles, y en consecuencia, prevenir accidentes y bloqueo de vías de acceso y transporte. Depende de la ubicación del depósito, la disposición de los mantos y de cómo se construyan los túneles para su explotación. El desagüe se hace utilizando bombas de achique o mediante la implementación de un sistema de drenaje que aproveche la gravedad. En la mayoría de casos se combinan ambos métodos.

La manera de ejecutar eficientemente esta actividad es tomándola en cuenta dentro del planeamiento minero, este “[...] tiene como finalidad la obtención de la mejor proyección del uso de los recursos minerales disponibles, y además es una actividad capaz de ajustarse a eventuales cambios en el transcurrir del tiempo” (Franco Sepúlveda, Branch Bedoya, & Jaramillo Álvarez, 2012)<sup>48</sup>. Dicho ejercicio debe hacerse basado en un conocimiento adecuado del depósito, la geología local y particularmente las condiciones hidrológicas de la zona donde está establecida la UPM. Esto implica saber además cómo se drenaran las aguas fuera de la excavación, el tamaño aproximado del caudal a extraer y qué uso se le dará al fluido una vez esté fuera de la excavación.

Posterior a un tratamiento, esta agua de mina se puede aprovechar para otras actividades complementarias que se encuentren dentro del proyecto minero ya sea el riego de matas, lavado de equipos y maquinaria, entre otras.

#### **4.2.4.7 Protección de zonas de manejo especial**

Dentro del PUEAA deben especificar si los proyectos mineros se encuentran ubicados en zonas de manejo especial como zonas de páramo, bosques de niebla y áreas de influencia de nacimientos de acuíferos y de estrellas fluviales.

---

<sup>48</sup> Franco Sepúlveda, G., Branch Bedoya, J. W., & Jaramillo Álvarez, P. (julio de 2012). PLANEAMIENTO DE MINAS A CIELO ABIERTO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA. *Boletín Ciencias de la Tierra*(31), 107 - 113.

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

Estas zonas se les debe realizar los estudios necesarios para establecer su verdadera capacidad de oferta de bienes y servicios ambientales, para iniciar un proceso de recuperación, protección y conservación dentro del Plan de Acción del PUEAA.

Protección de acuíferos. los trabajos deberán ir encaminados al conocimiento de los diferentes procesos que originan la contaminación de las aguas dentro del modelo hidrogeológico (suelo, zona saturada y zona no saturada) y en sus posibilidades de corrección. Seguimiento de la calidad química de las aguas, Inventario de actividades y/o instalaciones potencialmente contaminantes del agua subterránea, Tratamiento



informático de los datos inventariados, Desarrollo de nuevas tecnologías (Utilización de técnicas isotópicas, Muestreo y caracterización de la zona no saturada y Desarrollo de instrumentación en sondeos de conductividad y temperatura) y Medidas preventivas, como establecimiento de perímetros de protección en captaciones para aprovechamiento, Cartografía de vulnerabilidad de las aguas subterráneas frente a vertidos en superficie y metodología frente a emergencias creadas por vertidos accidentales .

#### **4.3 COMPONENTES PLAN DE ACCION**

Se deben formular programas con proyección a los siguientes 5 años, enfocados en los fundamentos del Ahorro y uso eficiente del agua, los cuales deben contener cada uno:

- Proyecto
- Objetivos
- Descripción del proyecto
- Actividades a desarrollar
- Tiempo de ejecución
- Presupuestos,
- Responsables de su ejecución y
- Metas de cumplimiento e indicador

De igual manera cada proyecto debe contener cronogramas de actividades, costos y metas, de la siguiente manera:

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

**Tabla 3. Ejemplo de cronograma de ejecución de obras**

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE OBRAS											
Proyecto	Actividades	Proceso de ejecución de las actividades									
		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
		Obras a desarrollar	%	Obras a desarrollar	%	Obras a desarrollar	%	Obras a desarrollar	%	Obras a desarrollar	%
P 1	Act. 1										
	Act. 2										
	Act. 3										

**Tabla 4. Ejemplo de cronograma de ejecución de costos**

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE COSTOS											
Proyecto	Actividades	Proceso de ejecución de las actividades									
		Año 1		Año 2		Año 3		Año 4		Año 5	
		Valor a Ejecutar	%	Valor a Ejecutar	%	Valor a Ejecutar	%	Valor a Ejecutar	%	Valor a Ejecutar	%
P 1	Act. 1										
	Act. 2										
	Act. 3										

**Tabla 5. Ejemplo de Indicadores a alcanzar**

INDICADOR - META A ALCANZAR					
Item	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
	% de reducción de pérdidas				
Meta propuesta					

**4.4 ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA MANTENER LOS PUEAA**

Se debe tener en cuenta que a pesar de que las actividades o proyectos propuestos se estipulan para un periodo, este en un proceso que nunca debe acabar, por lo que debe ser una actividad continua y permanente.

Para lograr esta continuidad el programa debe establecer lo siguiente:

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

**Un programa de mantenimiento preventivo:** que consiste en revisar continuamente todo el sistema y así evitar pérdidas. Será necesario establecer cronogramas de revisiones, capacitar al personal, elaborar manuales, etc.

**Mantener las soluciones del PUEAA.** Difundiendo los resultados entre todo el personal del proyecto minero, realizando campañas de sensibilización frente a la importancia de uso racional del recurso hídrico en la zona, entre otras.

#### **4.5 CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES**

Establecer que conclusiones y recomendaciones aporta la elaboración del PUEAA dentro del proyecto minero y la comunidad aledaña.

## CAPITULO V. GLOSARIO

A partir de criterios técnicos de expertos en minería se diseñó una clasificación de propósito específico para esta investigación de cuatro rangos basada en la capacidad de procesamiento de material minado por unidad de tiempo más que soportada en el área otorgada por el título minero dado que esta no evidencia los aspectos productivos ni la extensión efectivamente intervenida:

Oro de filón: 1) subsistencia, hasta 1 t/día; 2) pequeña minería, hasta 150 t/día; 3) mediana minería, hasta 300 t/día y; 4) gran minería, mayor que 300 t/día.

Oro aluvial: 1) subsistencia, hasta 550 m<sup>3</sup>/día; 2) pequeña minería, hasta 2200 m<sup>3</sup>/día; 3) mediana minería, hasta 5500 m<sup>3</sup>/día y; 4) gran minería, mayor que 5500 m<sup>3</sup>/día.

Carbón: 1) subsistencia, hasta 500 t/mes; 2) pequeña minería, hasta 10.000 t/mes; 3) mediana minería, hasta 50.000 t/mes y; 3) gran minería, mayor que 50.000 t/mes

Los conceptos básicos a tener en cuenta con la presente guía son los siguientes:

**Aducción:** son tuberías usadas para transportar los caudales desde la obra de captación hasta los tanques de almacenamiento o la planta de tratamiento

**Aforo:** determinación del caudal que pasa por una sección definida

**Captación:** La práctica de recolectar y almacenar agua de una variedad de fuentes para uso benéfico

**Caudal:** volumen de agua por unidad de tiempo. Normalmente medido en litros por segundo (L/s)

**Conminución:** es un término general utilizado para indicar la reducción de tamaño de un material y que puede ser aplicado sin importar el mecanismo de fractura involucrado.

**Consumos:** la cantidad de agua que utilizan para satisfacer las necesidades diarias de consumo, aseo, limpieza, riego, etc.

**Demanda:** volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

**Fuente abastecedora:** es el espacio natural desde el cual se derivan los caudales demandados por la población a ser abastecida. Deben ser básicamente permanentes y suficientes, pudiendo ser superficiales y subterráneas, suministrando el agua por gravedad o por bombeo.

**PUEAA:** Programa de Ahorro y uso eficiente del agua.

**Recirculación:** Es volver a impulsar la circulación del agua dentro de un mismo circuito o sistema.

**Reuso:** Es el aprovechamiento del agua previamente utilizada, una o más veces en alguna actividad para suplir las necesidades en otras operaciones.

**Tanque de almacenamiento:** son depósitos para almacenar agua con el propósito de compensar variaciones de consumo, atender situaciones de emergencias como incendios, atender interrupciones de servicio y para prever diseños más económicos del sistema.

**UPM:** Unidades de producción minera.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Q., A. Tecnología de la concentración centrífuga - Notas de Curso. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés - Facultad de Ingeniería. 2006
- Anaya, Ángela y Calderón Rojas, Dollys. Programa de ahorro y uso eficiente del agua para extracción de aceite crudo en el sector palmicultor. Tesis de grado de especialista. Universidad Pontificia Bolivariana. Floridablanca. 2011
- ARITEMA. Tromel de lavado. Aplicaciones y descripción. 2014. Recuperado el 3 de 8 de 2015, de [http://www.aritema.es/pdf/Catalogo\\_TROMEL\\_LAVADOR.pdf](http://www.aritema.es/pdf/Catalogo_TROMEL_LAVADOR.pdf)
- Bustamante, M. O. Flotación de Minerales - Apuntes de Curso. Medellín: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Minas. 2013,
- Centro de Producción más Limpia y Tecnologías Limpias. Guía sectorial de producción más limpia. Hospitales, Clínicas y Centro de Salud.
- Corponariño. TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA EL PROGRAMA DE USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA DEL SECTOR SERVICIOS E INSTITUCIONAL. Recuperado de: <http://corponarino.gov.co/expedientes/calidadambiental/terminosdereferenciasectorserviciosinstitucional.pdf>
- Franco Sepúlveda, G., Branch Bedoya, J. W., & Jaramillo Álvarez, P. PLANEAMIENTO DE MINAS A CIELO ABIERTO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA. Boletín Ciencias de la Tierra (31), 107 - 113. Julio 2012
- Gonzales Castrilo, Aura y Acevedo Morelo, Yuli. Diseño del programa de ahorro y uso eficiente del agua en la Escuela de Cadetes de Policía Francisco de Paula Santander Bogotá D.C. Tesis de grado, Universidad Manuel Beltrán. Bogota 2010.
- Hong-qing, Z., Ze-yang, S., Bo, T., & Yu-ze, H. Numerical investigation and theoretical prediction of self-ignition characteristics of coarse coal stockpiles. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26, 236-244. 2013
- Hooman, K., & Maas, U. Theoretical analysis of coal stockpile self-heating. Fire Safety Journal (67), 107-112. 2014
- IDEAM – Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Estudio Nacional del Agua ENA 2014. Bogotá, D. C., mayo de 2015

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015**  
**INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL**  
**CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

- IDEAM. Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográfica en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. Medellín, Abril de 2015
- Lara Monge. Procesos de Cianuración. Subproyecto "Asistencia técnica y capacitación para el desarrollo técnico de Amalar". 2005
- León Wong, J. Situación actual de la mediana minería en el Ecuador. Cambio de sistema de producción en la mina Bonanza. Tesis de Grado. 1999. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral
- Ministerio de Medio Ambiente. Sinopsis Nacional De La Minería Aurífera Artesanal Y De Pequeña Escala. Bogotá: Proyecto: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala. 2002
- Ministerio de Medio Ambiente. Guía de Ahorro y uso eficiente del agua. Diciembre de 2002.
- Ministerio de Medio Ambiente. Política Nacional de Producción más Limpia. Bogotá. Agosto de 1997.
- Ministerio De Minas Y Energía - Ministerio Del Medio Ambiente. Guía Minero Ambiental 4 Beneficio y Transformación
- Ministerio De Minas Y Energía - Ministerio Del Medio Ambiente. Guía Minero Ambiental de Exploración
- Ministerio De Minas Y Energía - Ministerio Del Medio Ambiente. Guía Minero Ambiental de Explotación
- Ministerio de minas y energía. "técnicas de para la extracción aurífera, proceso de cianuración y amalgamación". 2006
- Ministerio de Minas y Energía. Normatividad Minera
- Ministerio de Minas y Energía. Política Nacional Para La Formalización De La Minería En Colombia. Bogotá D.C., julio de 2014
- Ministerio Minas y Energía. Glosario Minero. 2003.
- Pavez Miqueles, O. Apuntes Concentración de Minerales II. Universidad de Atacama - Facultad de Ingeniería. 2004
- Rada J, R., & Cruz M, R. Prácticas para suprimir el polvo. Minería Chilena. Junio de 2013

**CONTRATO INTERADMINISTRATIVO GGC No 223 – 2015  
INCIDENCIA REAL DE LA MINERÍA DEL CARBÓN, DEL ORO Y DEL USO DE MERCURIO EN LA CALIDAD AMBIENTAL  
CON ÉNFASIS ESPECIAL EN EL RECURSO HÍDRICO - DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA PLANEACIÓN SECTORIAL**

- Restrepo Baena, O. J. Curso Metalurgia Extractiva - Apuntes. 2009. Universidad Nacional - Facultad de Minas
- Riego por aspersión. Recuperado el 05 de 11 de 2015 de:  
[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE\\_RIOS/26/sisriego/rieasp.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2003/ENTRE_RIOS/26/sisriego/rieasp.htm)
- Romero, A., & Flores, S. La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Vol. 12, N.º 24, 133-140. 2010
- SBM. Funcionamiento de un molino de martillos. 2007. Recuperado el 29 de 07 de 2005, de <http://molinochile.com/Solutions/funcionamiento-de-un-molino-de-martillos.html>
- Schlumberger. Fundamentos de Mojabilidad. Oilfield Review. 2007
- Trawinski, H. Aplicaciones y Funcionamiento Práctico de los Hidrociclones. 1975
- Universidad de Atacama. Concentradores centrífugos-Concentrador Falcon y Knelson. 2007.
- Universidad Pedagógica Nacional. Guía para el uso y ahorro eficiente del agua. Recuperado de:  
[http://www.pedagogica.edu.co/admin/docs/1280248516guia\\_ahorro\\_de\\_agua\\_upn.pdf](http://www.pedagogica.edu.co/admin/docs/1280248516guia_ahorro_de_agua_upn.pdf)
- UPME. (s.f.). Manejo Ambiental Fase de Operación. Recuperado el 22 de 10 de 2015, de Manejo Ambiental de Emisiones Atmosféricas y Ruido:  
[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/m edidas2.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/m edidas2.htm)
- UPME. La cadena del carbón. Bogotá. 2005
- Zambrano Contreras, Camilo Andrés. Guía para la formulación de programas de uso eficiente y ahorro de agua (PUEAA), en el sector industrial y/o productivo, dentro de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca – CAR. Tesis de grado de especialista. Escuela Superior De Administración Pública. Bogotá. 2009