

JIFI2018
JORNADAS DE INVESTIGACIÓN
ENCUENTRO ACADÉMICO INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA UCV

PROPUESTA DE REDISEÑO DEL MANEJO DE AGUA DE MINA COLOMBIA COMO APORTE A LA GESTIÓN INTEGRAL DE AGUAS, MUNICIPIO EL CALLAO, ESTADO BOLÍVAR

Yllevic Bastidas¹ y Alba Castillo^{1*}

¹ *Departamento de Minas, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.*

*yllevic@gmail.com, albajcastillo@gmail.com.

RESUMEN

Mina Colombia es una de las minas más antiguas ubicadas en territorio venezolano, actualmente cuenta con siete (7) niveles desarrollados y tan sólo dos (2) en explotación, esto debido a que en los últimos años el sistema de bombeo implementado ha presentado fallas críticas, por lo que se ha dejado de desalojar el agua que ingresa a la mina. Al no tener un sistema óptimo que se encargue de extraer el agua a superficie, ésta se ha ido acumulando provocando así la inundación de los niveles más profundos de la mina; actualmente el laboreo entre el nivel 7 y el nivel 5 se encuentran totalmente inundados, es por ello que se plantea la siguiente investigación. El objetivo principal de este trabajo es elaborar una propuesta de rediseño del manejo de aguas de mina Colombia como aporte a la gestión integral de aguas. La metodología empleada es de tipo descriptiva-correlacional bajo el enfoque de la gestión integral. Las actuales estaciones de bombeo en operación no están en condiciones óptimas de captar el volumen de agua para el que fueron diseñados, por lo que se rebosan y el agua escurre por las galerías afectando el laboreo para luego caer por el pozo, funcionando como recarga a la inundación. Actualmente se albergan 610 mil metros cúbicos en los niveles inundados, volumen que se propone sea desalojado con la bomba marca FLYGT ® modelo BS 244 HT ubicada en el pozo a la altura del nivel 5. El rediseño del sistema de drenaje se realizó tomando en cuenta los requerimientos actuales; se proyecta una estación de bombeo en el nivel 4 con bombas en paralelo para extraer el flujo volumétrico proveniente del aforo de la inundación. Para la continuidad operacional, una vez superada la inundación se propone una bomba estacionaria en el nivel 7 y una sumergible en el 442. El agua extraída de mina continuará siendo descargada proporcionalmente entre la quebrada El Tigre y reciclada como agua industrial en la planta de procesamiento mineral. Se recomienda la permanente supervisión y mantenimiento del sistema.

Palabras Clave: bombeo, drenaje, inundación, sumideros, rediseño.

ABSTRACT

Mina Colombia is one of the oldest mines located in Venezuelan territory, currently has 7 developed levels and only 2 in operation, this is because in recent years the implemented pumping system has presented critical failures, which is why it has been stopped evicting the water that enters the mine. By not having an optimal system that is responsible for extracting the water surface, it has been accumulating causing the flooding of the deepest levels of the mine; Currently level 7, level 6 and level 5 are totally flooded, which is why the following investigation is proposed. The main objective of this work is to prepare a proposal for the redesign of the water management of the Colombia mine as a contribution to the integral management of water. The methodology used is descriptive-correlational. The current pumping stations in operation are not in optimal conditions to capture the volume of water for which they were designed, so they overflow and the water drains through the galleries affecting the tillage and then fall down the well, functioning as

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación. Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.
Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053
Telf.: +58 212-605 1644| <http://www.ing.ucv.ve>

a recharge to the flood. Currently, 610, 068,057.41 L are housed in flooded levels, which volume is estimated to be evicted with the FLYGT BS 244 HT pump that integrates the pumping system located in the well at level 5. The redesign of the system considers current requirements.

Keywords: pumping, drainage, flood, drains, redesign.

INTRODUCCIÓN

El drenaje de minas es el conjunto de operaciones mediante el cual se impide a las aguas inundar el pozo mediante procedimientos para limitar el flujo de agua al mismo y extraer el agua que es infiltrada. Mina Colombia es un sistema subterráneo para extracción de oro, ubicada en la Concesión 6 y 7 de MINERVEN, Municipio El Callao, estado Bolívar específicamente en la Región Hidrográfica N° 15 Cuyuní en la cuenca del río Yuruari. Está diseñada con siete (7) niveles de extracción y cuenta con la infraestructura necesaria para realizar las operaciones unitarias de minería, mediante el uso de Skip (jaula) en un pozo vertical de 479m de profundidad y mediante una rampa de 1500m. El drenaje de la Mina había sido realizado con un sistema de bombeo mecánico múltiple, constituido por cuatro (4) estaciones de bombeo, ubicadas en los niveles denominados: 1, 4, 7 y 442, en orden descendente. Actualmente se encuentran inundados los niveles 5, 6 y 7, por lo que la extracción de material se lleva a cabo solo por rampa, ello se traduce en una baja eficiencia, incidiendo con el tiempo en el descenso de la producción de oro.

Con el planteamiento de una gestión integral de los caudales disponibles y excedentes que producen la inundación eventual del laboreo minero se analizan los productos de los componentes atmosfera, agua superficial y agua subterránea, para finalmente rediseñar el actual sistema de bombeo de la mina, considerando la situación de los recursos hidrológicos que alimentan al sistema minero, con el propósito de correlacionar los ingresos y egresos hídricos y así completar el balance hídrico.

METODOLOGÍA

Esta investigación es de tipo campo-descriptivo correlacional, con mediciones de diversas variables que engloban el objeto de estudio para su posterior análisis y representación, ya que se llevó a cabo la comparación de la situación actual del drenaje con parámetros que permitan plantear una posible solución. El sujeto de estudio es la mina Colombia de la Empresa y el volumen de agua en la mina, cambiante en el tiempo. La recolección de datos se realizó bajo el enfoque de la gestión integral para ello la investigación se dividió en cuatro (4) etapas: recopilación de material técnico, actividades de campo, procesamiento y diseño, que para llevarlas a cabo se requirió el uso de instrumentos de teledetección: satélite TRMM, el sistema GLDAS y el Servidor Giovanni de la NASA; instrumentos de campo: cronómetro, GPS, cinta métrica y Software: Microsoft Office 2013®, HidroBioV3.0 y AutoCAD Civil 3D 2013® (ver figura 1).

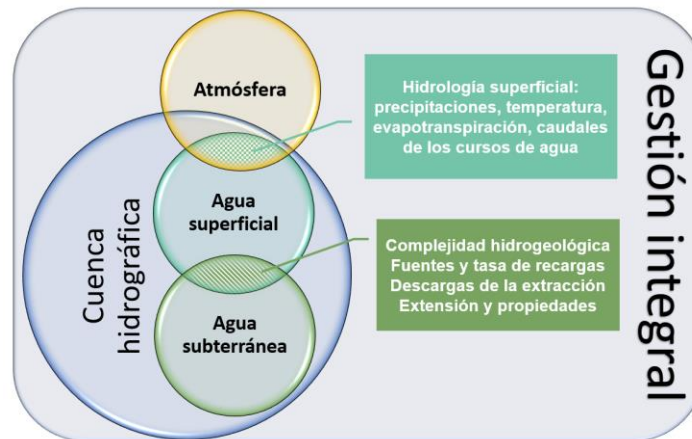


Figura 1. Enfoque de la Gestión integral de agua subterránea. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante el programa AutoCAD Civil 3D se delimitaron las tres sub cuencas que aportan agua al terreno donde se ubica la mina, fueron denominadas 1, 2 y 3 en sentido noreste-sureste (ver figura 2). La sub cuenca 2 de mayor extensión, con un área de 3.157 km², recoge las escorrentías dirigidas hacia el drenaje natural de la quebrada El Tigre, afluente hídrico que corre en sentido Este-Oeste en la superficie de mina Colombia.

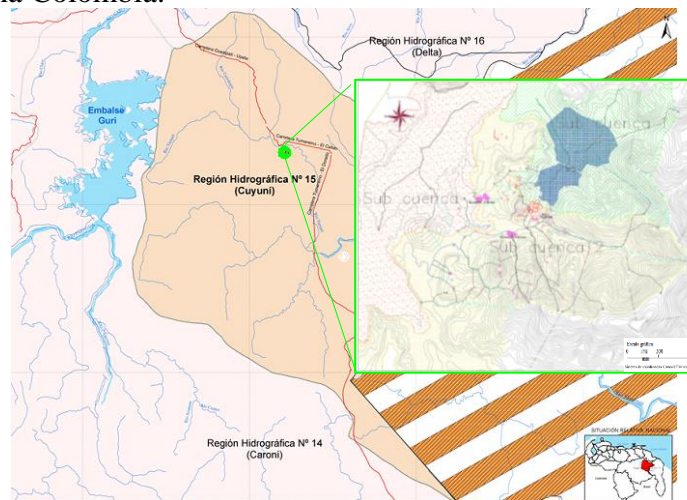
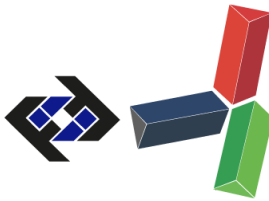


Figura 2. Región Hidrográfica N°15 Cuyuní y subcuencas de mina Colombia. Fuente: Tomado y modificado de http://siga.geoportalsb.gob.ve/rios_embalses/. Julio, 2017.

Se analizaron la tasa de precipitaciones diaria, mensual y anual captadas por las tres sub cuencas de los registros de lluvia del satélite TRMM de la NASA, obtenidos mediante el servidor Giovanni. En la superficie de la mina ocurren precipitaciones durante todo el año, registrándose las máximas a partir de junio, 236mm/mes en el año 2017, y se mantienen considerables en los meses restantes. La precipitación media anual disminuye cada cuatro (4) años aproximadamente, registrándose la menor durante el año 2003, donde se presentaron precipitaciones medias anuales menores de 1050 mm y la mayor precipitación durante el año 2007, con valores que superan los 1700 mm.



Al igual que con los registros del satélite TRMM, mediante las coordenadas de la superficie de la mina subterránea Colombia se ubicó a través del servidor de la NASA Giovanni, los registros de temperatura del sistema GLDAS. La temperatura media anual ha estado en aumento a partir del año 2008, registrándose la menor durante el año 2002, donde la temperatura media anual registrada fue de 23.925°C y la mayor temperatura durante el año 2017, con valores que superan los 25.9°C. Las precipitaciones son los principales impulsores climáticos de la recarga del agua subterránea, la temperatura y las concentraciones de CO₂ también son importantes ya que afectan a la evapotranspiración y por ende a la porción de precipitaciones que puede drenar hacia los acuíferos a través del perfil del suelo, de esta manera se planteó el estudio del ciclo hidrológico que reúne dichos fenómenos meteorológicos como un conjunto cíclico. Partiendo del conocimiento de las precipitaciones y temperaturas medias mensuales, se calculó la evapotranspiración mensual estimada, a través de la metodología de Thornthwhite con la herramienta HidroBioV30 (Cámara Artigas & Martínez Batlle, 2007) en conjunto con las características de la formación superficial de la zona de estudio, lo que permitió realizar el balance anual del agua en el suelo de mina Colombia desde el año 2000 hasta el 2017. A través del balance hídrico se observó que el exceso de agua (S) que condiciona el valor de la infiltración (I) está estrechamente relacionado con la temperatura media anual (T) y el volumen total de precipitación ya que en los años donde hay un aumento de las precipitaciones y por ende del exceso de humedad (S), como ocurrió en el 2007 (ver figura 3) se registró una temperatura anual de 24°C y la tasa de infiltración 258mm. Además, el registro histórico estudiado indicó que el total de agua infiltrada (I), proveniente de las precipitaciones, en el laboreo Subterráneo de Mina Colombia, desde el año 2000 hasta el 2017 fue de 1,803.39mm.

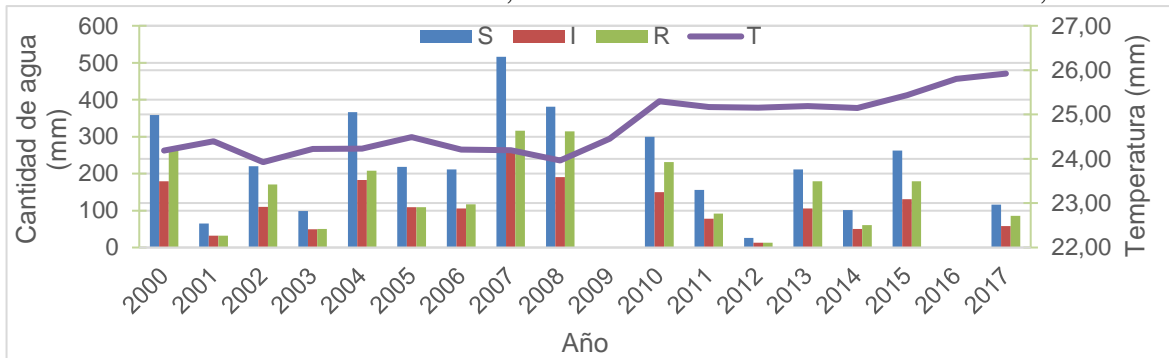


Figura 3. Representación gráfica de la temperatura y los productos del balance hídrico: exceso de humedad, infiltración y escorrentía.

Con los registros de precipitación diaria, se realizó la lluvia de diseño que permitió estudiar la máxima precipitación en 24 horas en la zona de estudio, registrada en el año 2017 durante el mes de julio con un valor de 64.67mm. El análisis indicó que existe un 50% de probabilidad de que en el año 2019, la precipitación en 24 horas sea menor o igual a 73.889mm.

La intensidad de la mayor precipitación en 24h estudiadas en la lluvia de diseño permitió calcular el caudal afluente de las sub cuencas hidrográficas que aportan agua al terreno donde se encuentra mina Colombia en los meses identificados con mayor precipitación durante el año 2017, 64.67mm/hr en julio y 40mm/hr en septiembre. Se consideró 10.445 m³/s, el caudal afluente de la subcuenca 2 durante el mes de septiembre 2017, para la correlación, con los valores medidos por Herrera (2017) durante la misma fecha del caudal de agua que ingresa al nivel 1 de la mina.

Las fallas naturales rompen la continuidad de los mantos impermeables y son el camino de entrada de las aguas, ya que una grieta puede dar entrada a aguas superficiales directamente.

Estructuralmente el área de mina Colombia se encuentra atravesada por una serie de fallas geológicas: las fallas Gloria, Isbelia, Santa María y la falla Sur, de las cuales se identificó el plano de la falla inversa Santa María como un medio permeable a las aguas subterráneas a través del cual el agua del caudal afluente de la subcuenca 2 por la que fluye la quebrada El Tigre puede alcanzar niveles profundos en el laboreo subterráneo. La sección del plano integral permitió visualizar el plano y la traza de la falla Santa María y su intersección en superficie con el cauce de la quebrada El Tigre y en subterránea con el sector oeste del nivel 1, lo que en conjunto con el análisis del caudal afluente de la subcuenca 2 en septiembre 2017 y los valores medidos por Herrera (2017) en la misma fecha, se identificó que aproximadamente 0.3% del caudal afluente en superficie de la subcuenca 2 funciona como recarga al sistema subterráneo.

Mina Colombia está conformada por siete niveles, contando desde la superficie 134m hacia el interior de la roca madre se encuentra el nivel 1 y a 50 m de éste se encuentra el nivel 2 y así sucesivamente espaciándose 50m entre ellos hasta el nivel 7. En septiembre 2017, el laboreo entre el nivel 7 y el nivel 5 además de 200m del pozo vertical, albergaban un total de 610,068.06 m³ de agua subterránea (ver tabla 1) con una recarga constante de 79.25 GPM según Herrera (2017) proveniente del nivel 4.

Tabla 1. Volumen de agua almacenada en el laboreo subterráneo, agosto 2017.

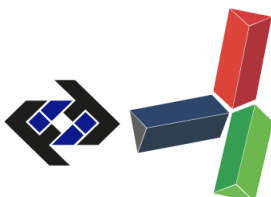
LABOREO	Volumen (m ³)	Volumen (gal)
NIVEL 5	107,782.81	28,476,304.93
CORTE 7	39,251.16	10,370,188.54
CORTE 5	49,873.58	13,176,640.46
CORTE 3	54,398.90	14,372,231.26
CORTE 0	43,317.24	44,920,706.04
NIVEL 6	142,115.26	37,546,965.00
NIVEL 7	170,362.45	45,009,893.15
POZO	2,966.65	783,792.12
VOLUMEN TOTAL	610,068.06	194,656,721.51

Fuente: Tomado y modificado de Bastidas (2017).

Como se especifica en la tabla a continuación, en cada nivel funciona una estación de bombeo asociada a un sumidero en cuestión con excepción del nivel 7 y 442 por la eventual inundación. Actualmente hay un total de siete (7) bombas operativas y dos (2) fuera de servicio. Basándonos en las mediciones de Bastidas (2017) los caudales de las bombas oscilan entre 50 y 850 GPM aproximadamente. Por otra parte, las capacidades de captación de los sumideros están entre 1.300 y 407 mil galones, este último denominado La Virgen. En el pozo vertical, a 50m del nivel 4, una bomba sumergible marca Grindex® modelo MEGA H extrae de la altura de la inundación en el nivel 5 840.33GPM al sumidero 4 y según Herrera (2017) por el pozo ingresa 79.25gpm al laboreo inundado (ver tabla 2).

Respecto al agua extraída por el sistema de bombeo a superficie, durante el levantamiento hidrológico se ubicaron dos (2) zonas de descargas: la primera, denominada “tanquilla” es la libre salida del agua bombeada del sumidero 4 a superficie, escurre sobre el terreno y descarga en el cauce de la quebrada El Tigre, produciendo la contaminación de éste cuya evaluación no es objetivo de esta investigación, y la segunda es el “tanque azul” ubicado a un costado de los tanques espesadores de la planta de procesamiento.

Tabla 2. Sistema de bombeo operativo a septiembre 2017.



Nivel	SUMIDEROS				BOMBAS				
	Sumidero	Volumen de captación (gal)	Caudal medido que ingresa		Caudal medido que extrae		Eficiencia (%)	Régimen de trabajo	Altura (m)
			Fuente	(gpm)	Bomba	(gpm)			
1	1	1349.92	Galería principal y Anillo 1-3	96.45	KSB 50/5	182.84	98.83%	Sumidero 1 a Superficie	134
	La Virgen	407231,79	Sector Este y Oeste	1,505.46	KSB 125/4	48.84	3.05%	Sumidero	134
			Bomba 125/4 Nivel 4	1,275.00	KSB 125/4	482.16	30.14%	La Virgen a Superficie	
Auxiliar	1743.54	Sector Oeste	531.48	Grindex Minette	-	-	Sumidero Auxiliar a Sumidero La Virgen	-	
4	4	46108.59	Niveles superiores, Nivel propio, Bomba MEGA H en el pozo	272.54	KSB 80/4	488.02	64.44%	Sumidero 4 a Superficie	284
			Bomba MEGA H en el pozo	840.33	KSB 125/4	805.57	53.70%	Sumidero 4 a Sumidero La Virgen	150
				-	-	KSB 125/4	No operativo	-	-
5	Pozo vertical y laboreos inundados	-	Niveles superiores	79.25	MEGA H	840.33	84.03%	Pozo (Nivel 5) a Sumidero 4	50
7	7	94607.94	Inundados al momento de la medición				-	Sumidero 7 a Sumidero 4	150
442	442	198129.04					-	Sumidero 442 a Sumidero 7	50

Fuente: Tomado y modificado de Bastidas (2017), Herrera (2017) y López (2005).

En el diagnóstico de la situación actual (septiembre 2017) del sistema de bombeo encargado de extraer el volumen de agua que ingresa y el ya presente en los laboreos inundados, se puede apreciar que el sistema no satisface el requerimiento existente, en la estación del nivel cuatro(4) solo la mitad de las bombas están operativas, y no trabajan a una eficiencia mínima de 70% considerando el constante ingreso de agua al sumidero 4, proveniente de la bomba encargada de extraer el agua de la inundación, ésta estación de bombeo debe ser la más robusta de todo el sistema en general, por lo que es evidente la necesidad de diseñar una configuración del sistema y una planificación a seguir dentro de los lineamientos del manejo integral de aguas para satisfacer el requerimiento actual.

Las obras destinadas para el manejo integral de aguas de mina deben ser dimensionadas de acuerdo al caudal de diseño, el cual se tomó de los valores medidos por Bastidas (2017), (ver tabla 2) del flujo volumétrico que ingresa a los sumideros de cada estación de bombeo de mina Colombia, caudales que a su vez se relacionan con los medidos por Herrera (2017) del agua que ingresa al nivel 1 y cuatro (4), como se mencionó anteriormente evidencian la relación analizada entre los recursos hídricos superficiales y el drenaje subterráneo, además que son valores medidos en agosto y septiembre 2017, meses en los que se registran las máximas precipitaciones en la superficie de la mina.

Para el requerimiento actual, que incluye los laboreos inundados y la constante recarga, mediante el estudio de conservación de la energía con la ecuación de Bernoulli se diseñó un sistema de bombeo para la estación ubicada en el nivel 4, con una bomba sumergible FLYGT BS 244 HT acoplada a un sistema de mangueras de 4" que descargue permanentemente en el sumidero 4 toda el agua que bombeará de la inundación, la cual a su vez se proyectó sea extraída a superficie por un sistema en paralelo de dos (2) bombas KSB 80/4 mediante un caudal de 970 GPM además de

una bomba KSB 125/4 con un sistema de tuberías de 4" que extraerá al sumidero La Virgen un caudal de 610gpm.

Del estudio de conservación de la energía (ecuación de Bernoulli), asumiendo como caudal de recarga el medido por Herrera (2017) de 79.25gpm, con fines de continuidad operacional, una vez superada la inundación se propone un sistema compuesto de una bomba sumergible marca GRINDEX modelo MATADOR H encargada de bombear agua del sumidero 442 al sumidero 7, donde se plantea incluir una bomba marca KSB modelo MEGANORM 50-160 con un diámetro del rotor de 153 que extraerá, en un régimen de trabajo de 12 horas, 330gpm del sumidero 7 al sumidero 4, donde se proyecta mantener el sistema anteriormente descrito. (ver figura 4). Es importante mencionar que debido al basamento teórico de la mecánica de los fluidos que explica que el caudal extraído por una bomba aumenta a medida que la carga hidrostática del sistema (H) disminuye, en el diseño propuesto se mantiene el sistema múltiple integrado por cuatro estaciones de bombeo, ya que de esta manera se trabaja con la menor altura de trabajo posible pero se preserva el mayor flujo volumétrico a extraer por la bomba, que es la finalidad para evitar futuras inundaciones.

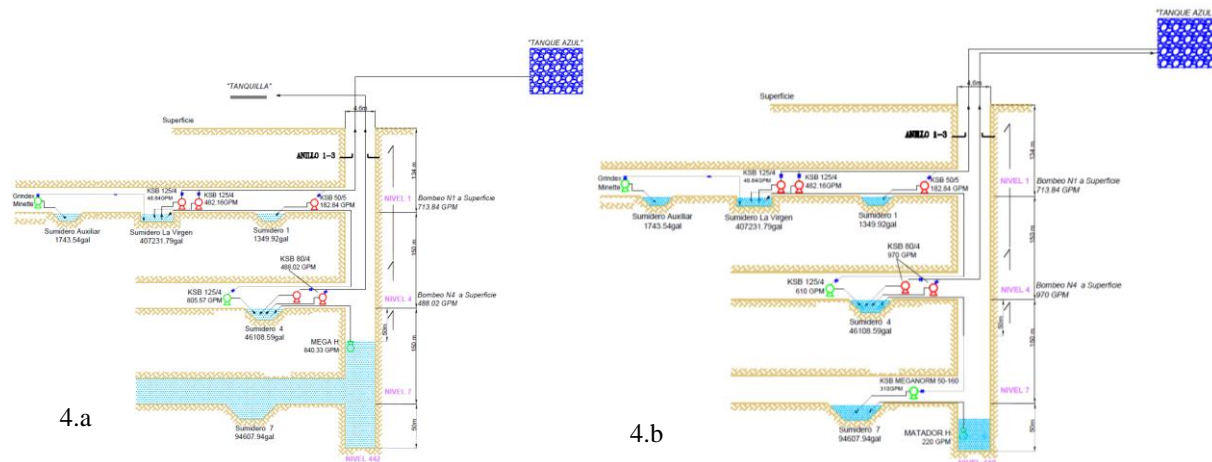


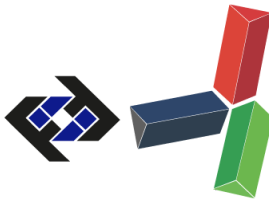
Figura 4. 4.a Sistema de bombeo operativo, 4.b Sistema de bombeo final propuesto. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

El análisis de las tasas de precipitación diaria, mensual y anual indican que en la superficie de mina Colombia ocurren precipitaciones durante todo el año, registrándose las máximas en junio, julio y agosto y en los meses restantes y además permitió el estudio de la lluvia de diseño mediante el análisis de la máxima precipitación en 24 horas en la zona de estudio, registrada en el año 2017 durante el mes de julio con un valor de 64.647mm. Se observó que existe un 50% de probabilidad de que en el año 2019, la precipitación en 24 horas sea menor o igual a 73.8896 mm.

Fueron realizados los balances hídricos, en la ventana de tiempo comprendida entre el año 2000 al 2017, empleando la metodología de Thornwite, lo que permitió completar el balance de agua proveniente de la precipitación sobre la superficie de mina Colombia, con los registros de precipitación del satélite TRMM y los registros de temperatura del sistema GLDAS de la NASA, debido a que la mina no posee una estación meteorológica. El registro histórico de los balances hídricos estudiados indicó que el total de agua infiltrada (I), proveniente de las precipitaciones, en el laboreo Subterráneo de Mina Colombia, desde el año 2000 hasta el 2017 fue de 1,803.39 mm.

El caudal afluente de las subcuencas hidrográficas que aportan agua al terreno donde se encuentra



mina Colombia se calculó con la intensidad de la mayor precipitación en 24 horas registradas en los meses identificados con mayor precipitación durante el año 2017, 64.67mm/hr en julio y 40mm/hr en septiembre. Se consideró 10.445 m³/s, el caudal afluente de la subcuenca 2 durante el mes de septiembre 2017, para la correlación, con los valores medidos por Herrera (2017) durante la misma fecha del caudal de agua que ingresa al nivel 1 de la mina.

Se identificó el plano de la falla inversa Santa María como un medio permeable a las aguas subterráneas a través del cual el agua del caudal afluente de la subcuenca 2 por la que fluye la quebrada El Tigre puede alcanzar niveles profundos en el laboreo subterráneo. Se identificó que aproximadamente 0.3% del caudal afluente en superficie de la subcuenca 2 funciona como recarga al sistema subterráneo.

El laboreo entre los niveles cinco (5) y siete (7) de mina Colombia en septiembre 2017 albergaban un total de 610,068.06 m³ de agua subterránea con una recarga constante de 79.25 GPM proveniente del nivel 4.

El sistema de bombeo de mina Colombia es múltiple, compuesto por cuatro (4) estaciones de bombeo distribuidas entre los niveles uno (1), cuatro (4), siete (7) y en el nivel 442, de los cuales están operativos los dos primeros, en conjunto con una bomba sumergible a la altura de la inundación en septiembre 2017, a 50m del nivel 4. Su diagnóstico indicó que no satisface el requerimiento existente ya que en el nivel 4 solo la mitad de las bombas están operativas.

Para el requerimiento actual, que incluye los laboreos inundados y la constante recarga se diseñó un sistema de bombeo para la estación ubicada en el nivel 4, con una bomba sumergible marca FLYGT modelo BS 244 HT que descargue en el sumidero 4 y un sistema en paralelo de dos (2) bombas marca KSB una modelo 80/4 y otra modelo 125/4. Después de satisfacer el requerimiento actual se propone un sistema de bombeo para el nivel 442 y el nivel 7 con un régimen de trabajo de 12 horas, distribuidas 4 horas en cada turno.

REFERENCIAS

Bastidas, Y. (2017). Minería de Campo. Diagnóstico del sistema de bombeo de Mina Colombia, MINERVEN, Municipio El Callao, Estado Bolívar.

Cámara Artigas, R., & Martínez Batlle, J. R. (2007). Plantilla para el cálculo del balance hídrico y el diagrama bioclimático: su aplicación a estudios de hidrología y geobotánica. Sevilla, España: Equipo de Trabajo Estudios Tropicales y Cooperación al Desarrollo del Grupo de Investigación Cuaternario y Geomorfología (PAI RNM-273).

Giovanni, NASA. (07 de Julio de 2018). Obtenido de <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/doc/UsersManualworkingdocument.docx.html#h.wlbft0x3lt51>

HERRERA, J. (2017). Minería de Campo. Cuantificación de caudales que ingresan en los niveles 1 y 4 de la mina Colombia, MINERVEN, El Callao, Estado Bolívar. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

LÓPEZ, C (2005). Diseño de un método de explotación para la Mina Colombia, CVG Minerven, El Callao, Estado Bolívar. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Precipitation Measurement Missions, NASA. (Julio de 2018). Obtenido de <https://pmm.nasa.gov/trmm>

Siga Geoportal (julio 2017). http://siga.geoportalsb.gob.ve/rios_embalses/

Thornthwaite, C., & Mather, J. (1955). The Water Balance. *Climatology*, 1-104.

Çengel y Cimbala (2012). Mecánica de fluidos. Fundamentos y aplicaciones.