



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“PROPUESTA DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL SISTEMA WETLAND (HUMEDAL) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS, PARA EL CIERRE DE MINAS DE LA UNIDAD MINERA ANABI S.A.C EN EL DISTRITO DE QUIÑOTA-CUSCO, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autora:

Liz Estela Vargas Vega

Asesor:

MBA. Ing. Alejandro Vildoso Flores

Lima - Perú

2021

Tabla de contenidos

Dedicatoria.....	2
Agradecimiento.....	3
Índice de Tablas	5
Índice de Figuras.....	7
Índice de Ecuaciones.....	9
Resumen.....	10
Abstract.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	44
CAPÍTULO III. RESULTADOS	99
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	118
Recomendaciones	123
Referencias.....	124
Anexos	129

Índice de Tablas

Tabla 1	Clasificación de DAMs. Según acidez	16
Tabla 2	Vía de Acceso al Proyecto – Ruta 1	21
Tabla 3	Vía de Acceso al Proyecto – Ruta 2.	22
Tabla 4	Clasificación de aguas residuales de mina en función al nivel de Ph.....	26
Tabla 5	Tabla de Gumbel.....	28
Tabla 6	Comparación del cálculo de factor de seguridad	34
Tabla 7	Criterio de evaluación de la estabilidad de taludes	34
Tabla 8	Parámetros del Dique I	35
Tabla 9	Parámetros del Dique II	36
Tabla 10	Parámetros del Wetland	37
Tabla 11	Resultados del Análisis de estabilidad geoquímica	45
Tabla 12	Clasificación de aguas	46
Tabla 13	Recopilación de datos – Precipitaciones máximas 24 hr.	47
Tabla 14	Tabla de Gumbel – Modificada	49
Tabla 15	Resumen de cálculo de precipitaciones	50
Tabla 16	Sectorización en la zona tajo	52
Tabla 17	Características del sector	53
Tabla 18	Clasificación de suelo	53
Tabla 19	Descripción del uso de suelo	54
Tabla 20	Sectorización en la zona tajo	55
Tabla 21	Características del sector	56
Tabla 22	Parámetros de diseño	58
Tabla 23	Características de la estructura	59
Tabla 24	Comparación de aceleraciones sísmicas de la zona de estudio.....	64
Tabla 25	Resumen de los parámetros para los diques	66
Tabla 26	Propiedades físicas del suelo	66
Tabla 27	Secciones para el dique I	67

Tabla 28 Secciones para el dique II	70
Tabla 29 Secciones para el dique III.....	73
Tabla 30 Metrado y Presupuesto.....	92
Tabla 31 Resultados del dimensionamiento del desarenador I.....	97
Tabla 32 Resultados del dimensionamiento del desarenador II.....	98
Tabla 33 Porcentajes de reducción de pH y contenidos metálicos de operaciones mineras.....	98
Tabla 34 Resultado final de acidez y metales pesados	99
Tabla 35 Resultados del dimensionamiento del Wetland	99
Tabla 36 Caudales máximos de ingreso – Desarenador I.....	105
Tabla 37 Caudales máximos de ingreso – Desarenador II.....	106
Tabla 38 Parámetros para el cálculo del tiempo de retención.....	107
Tabla 39 Resumen de las comparaciones sísmicas	108
Tabla 40 Resultados del análisis de estabilidad física para el desarenador I – condición estática.....	109
Tabla 41 Resultados del análisis de estabilidad física para el desarenador I – condición pseudoestática	109
Tabla 42 Resultados del análisis de estabilidad física para el desarenador II – condición estática.....	110
Tabla 43 Resultados del análisis de estabilidad física para el desarenador II – condición pseudoestática	110
Tabla 44 Resultados del análisis de estabilidad física para el wetland – condición estática	111
Tabla 45 Resultados del análisis de estabilidad física para el wetland – condición pseudoestática	111
Tabla 46 Resumen de los procesos constructivos según la estructura.....	113
Tabla 47 Resumen de procesos constructivos para la U.M Antamina.....	114
Tabla 48 Resumen de procesos constructivos para la U.M La Zanja	115
Tabla 49 Resumen de procesos constructivos para la U.M Anabi.....	116

Índice de Figuras

Figura 1 Estructura del sistema en forma de serpentin	20
Figura 2 Mapa de Ubicación Unidad Minera ANABI.....	22
Figura 3 Curva de precipitaciones máximas vs periodos de retorno.	50
Figura 4 Sectorización de escorrentía	51
Figura 5 Mapa de Zonificación Sísmica	61
Figura 6 Mapa de isoaceleraciones para 50 años.....	62
Figura 7 Ubicación de la zona de evaluación de peligro sísmico	63
Figura 8 Análisis para una probabilidad de excedencia de 10%	64
Figura 9 Vista en planta del desarenador I – Dique I	67
Figura 10 Sección A-A' del dique I para condición estática	68
Figura 11 Sección A-A' del dique I para condición pseudoestática.....	68
Figura 12 Sección B-B' del dique I para condición estática	69
Figura 13 Sección B-B' del dique I para condición pseudoestática	69
Figura 14 Vista en planta del desarenador II – Dique II.....	70
Figura 15 Sección A-A' del dique II para condición estática.....	71
Figura 16 Sección A-A' del dique II para condición pseudoestática	71
Figura 17 Sección B-B' del dique II para condición estática	72
Figura 18 Sección B-B' del dique II para condición pseudoestática.....	72
Figura 19 Vista en planta del wetland – Dique III.....	73
Figura 20 Sección A-A' para el dique III en condición estática.....	74
Figura 21 Sección A-A' para el dique III en condición pseudoestática	74
Figura 22 Sección B-B' para el dique III en condición estática	75
Figura 23 Sección B-B' para el dique III en condición pseudoestática.....	75
Figura 24 Vista general del terreno antes del proyecto. Autoría propia.	76
Figura 25 Instalación de gaviones.....	78
Figura 26 Subdrenaje al pie del dique.....	79
Figura 27 Subrenaje por debajo del dique	80

Figura 28 Vista en planta del desarenador I.....	81
Figura 29 Vista en planta del desarenador II y el sistema wetland.....	82
Figura 30 Secuencia lógica de programación del desarenador I – parte I.....	83
Figura 31 Secuencia lógica de programación del desarenador I – parte II.....	84
Figura 32 Secuencia lógica de programación del desarenador II.....	85
Figura 33 Secuencia lógica de programación del desarenador wetland – parte I.....	86
Figura 34 Secuencia lógica de programación del desarenador wetland – parte II.....	87
Figura 35 Diagrama de Gantt para la construcción del sistema wetland – parte I.....	88
Figura 36 Diagrama de Gantt para la construcción del sistema wetland – parte II.....	89
Figura 37 Diagrama de Gantt para la construcción del sistema wetland – parte III.....	90
Figura 38 Diagrama de Gantt para la construcción del sistema wetland – parte IV.....	91
Figura 39 Sistema de tratamiento de aguas acidas.....	100
Figura 40 Vista en planta del desarenador II – escala 1:750.....	101
Figura 41 Vista del perfil del dique I – Escala 1:500.....	101
Figura 42 Vista en planta del desarenador II – escala 1:750.....	102
Figura 43 Vista del vertedero del dique II – escala 1:150.....	102
Figura 44 Sección del dique II - Ingreso de las aguas al wetland.....	103
Figura 45 Vista en planta de wetland – escala 1:750.....	103
Figura 46 Sección del dique III - Salida de las aguas al wetland.....	104
Figura 47 Vista de detalle del gavión.....	104
Figura 48 Caudales vs. Periodo de retorno para el Desarenador I.....	105
Figura 49 Caudales vs. Periodo de retorno para el Desarenador II.....	106
Figura 50 Comparación del Fs. en condiciones estáticas y pseudoestáticas para el dique I.....	110
Figura 51 Comparación del Fs. en condiciones estáticas y pseudoestáticas para el dique II.....	111
Figura 52 Comparación del Fs. en condiciones estáticas y pseudoestáticas para el wetland.....	112
Figura 53 Porcentaje de remoción según las Unidades Mineras.....	116

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Media	27
Ecuación 2 Desviación estándar (S)	27
Ecuación 3 Parámetros de la función Gumbel	27
Ecuación 4 Cálculo de la variable reducida	28
Ecuación 5 Cálculo de Precipitación	28
Ecuación 6 Factor Reductor (KA)	28
Ecuación 7 Precipitación máxima corregida.....	29
Ecuación 8 Tiempo de concentración (Tc)	29
Ecuación 9 Intensidad de lluvia	29
Ecuación 10 Coeficiente de esorrentía (C).....	29
Ecuación 11 Coeficiente de uniformidad (K)	30
Ecuación 12 Caudal máximo anual (Q)	30
Ecuación 13 Carga de entrada.....	30
Ecuación 14 Superficie mínima	31
Ecuación 15 Tiempo de retención.....	31
Ecuación 16 Caudal medio (Q).....	31
Ecuación 17 Flujo de humedal.....	32

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo diseñar la propuesta estructural del sistema Wetland, para optimizar el tratamiento de aguas acidas del proceso de cierre de mina de la Unidad minera ANABI S.A.C. en el distrito de Quiñota departamento de Cusco, 2019.

Actualmente la Unidad Minera Anabí S.A.C ubicado en el distrito Quiñota provincia de Chumbivilca departamento de Cusco, se encuentra en estado de cierre final, por lo que busca implementar sistema wetland para el tratamiento de aguas acidas. El método de investigación empleado es de tipo descriptivo de diseño no experimental – transversal. La población se constituye por la Unidad Minera Anabi S.A.C en el distrito de Quiñota – Cusco y la muestra está constituido por la zona del Tajo Abierto Huisamarca. En conclusión, el diseño planteado para el sistema wetland consiste de un desarenador I con una capacidad de almacenamiento de 4,016.23 m³, un desarenador II con capacidad de almacenamiento de 5,138.94 m³ y también presenta un wetland con un volumen efectivo de 9,504.00 m³ además de un área de superficie útil de 13,771.21 m² que influyen en la supresión de acidez y eliminación de metales como parte del tratamiento de las aguas acidas. Obteniendo de manera teórica el porcentaje de remoción de 57.8% para la supresión de acidez y 82.7%, 75.3% para la eliminación de metales (Fe y Mn) se obtienen mediante el promedio entre los resultados presentados por las empresas mineras según la experiencia en el tratamiento de aguas acidas.

Palabras clave: Wetland, drenaje de aguas acidas y sistema de tratamientos.

Abstract

The present investigation has objective of this research is to design the structural proposal of the wetland system, to optimize the acidic water treatment of the mine closure process of the Anabi S.A.C. in the district of Quiñota department of Cusco, 2019. Currently the Unidad Minera Anabi S.A.C located in the Quiñota district, Chumbivilca province, Cusco department, is in a state of final closure, so it seeks to implement a wetland system for the treatment of acidic water. The research method used is of a descriptive type of non-experimental design - cross-sectional. The population is constituted by the Unidad Minera Anabi S.A.C in the district of Quiñota - Cusco and the sample is constituted by the Huisamarca Open Pit area. In conclusion, the design proposed for the wetland system consists of a sand trap I with a storage capacity of 4,016.23 m³, a sand trap II with a storage capacity of 5,138.94 m³ and also presents a wetland with an effective volume of 9,504.00 m³ apart from an area of useful surface of 13,771.21 m² that influence in the suppression of acidity and elimination of metals as part of the treatment of acidic waters. Obtaining in a theoretical way the removal percentage of 57.8% for the suppression of acidity and 82.7%, 75.3% for the elimination of metals (Fe and Mn) are obtained by means of the average between the results presented by mining companies according to the experience in the treatment of acidic waters.

Keywords: Wetland, acid water drainage and treatment system.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.

Referencias

- Aduviere, O. (2006). *Tratamiento de Aguas Acidas de Mina*. Madrid: Instituto Geologico.
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje acido de mina generación y tratamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Arellano, H. A. (19 de Marzo de 2015). *Prezi*. Obtenido de <https://prezi.com/ng1mwdqrqxcj/disenio-pre-experimental/>
- Blacktogleen. (4 de Agosto de 2020). *Blacktogleen*. Obtenido de <https://blacktogleen.com/2020/08/tecnicas-sostenibles-para-el-tratamiento-de-agua-acida-de-mina/>
- Cadorin, L., Carissimi, E., & Jorge, R. (Septiembre de 2007). Avance en el tratamiento de aguas acidas de minas. *Scientia et Technica Año XIII*(36), 1-2.
- Chaparro Leal, L. T. (17 de 02 de 2015). Drenaje Acido de Mina Formación y Manejo . *ESAICA*, 1(1), 53-57.
- Cravotta Charles, A. (1 de Mayo de 2007). Passive aerobic treatment of net-alkaline, iron-laden drainage from a flooded underground anthracite mine. *Mine Water Environ*(26), 128-149. doi:10.1007/s10230-007-002-8
- DCR Ingenieros S.R.L. (2007). *Estudio de peligro sismico proyecto Anabi*. Lima.
- De la Cruz, C. E. (2006). Mitigacion de drenaje acido en minas subterraneas aplicando fangos. Caso: mina Orcopampa. *FIGMMG*, 9(17), 69-74.
- Denegri, M. J., & Jose, I. (2020). Tratamiento de Drenaje Acido de minas Mediante Humedales Artificiales. *Revista Biotempo*, 345-369. doi:10.31381/biotempo.v17i2.3349
- Espinoza, R. M., Hidalgo, M. A., & Delgado, D. R. (27 de Noviembre de 2016). Diseño de un sistema de tratamiento para el drenaje acido de mina basado en el proceso de lodos de alta densidad (HDS). *Ingeniería*, 20(2), 64-75.
- Estudios Mineros del Perú. (Octubre de 2011). El ciclo de la Minería. *Sociedad Nacional de Minería Petroleo y Energia*(51), 4.

- Ettner, D. (1999). *Pilot scale constructed wetland for the removal of nickel from tailings drainage*. IMWA Congress Mine, Water; Environment. Southern Norway.
- GEOSAI. (17 de Febrero de 2016). *Soluciones Ambientales*. Obtenido de <https://www.geosai.com/geomembrana-hdpe/>
- Gonzales de vallejo, L. I. (2004). *Ingenieria Geologica*. Madrid: Isabel Capella.
- Guia para el diseño y construccion de un humedal construido con flujos subsuperficiales*. (2000). U.S. EPA - Region 6: United States.
- Guzman Borie, C. (2015). Test ABA, potencial de neutralizacion. *AGQ Labs*, 1-2.
- Handbook for Constructed Wetlans Receiving Acid Mine Drainage*. (1990). Colorado: School of Mines.
- Hedin, R., & Nairn, R. (1993). Contaminant removal capabilities of wetlands constructed to treat coal mine drainage. *CRC Press*, 187-195.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Vol. Sexta Edición). Bogota: MC GRAW.
- Huaranga, M. F., & Rimaranchin, V. P. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero - metalúrgicos utilizando, metodos pasivos y activos en sistemas experimentales. *SCIENDO*, 18(2), 20-29.
- Hurtado de Barrera, J. (2012). *Metodología de la investigación, guía para una compresion holistica de la ciencia*. Bogotá: Ediciones Quirón - Sypal.
- ICOG, C. O. (17 de Octubre de 2016). *Tierra y Tecnologia*. Obtenido de <https://www.icog.es/TyT/index.php/2016/10/slide-la-mejor-aplicacion-estabilidad-taludes/>
- Inga, B. E. (2011). *Tratamiento de efluentes por el metodo de pantanos artificiales (wetland)*. Lima: Universidad Nacional de Ingenieria.
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (Julio de 2018). Minería. *MINERIA*(490), 84.
- Jage, C. (2011). Passive Treatment of Acid-Mine Drainage. *Virginia Cooperative Extension*, 5-6.

- Jurado Garayar, D. D. (2016). *Diseño Piloto del sistema de tratamiento pasivo de infiltraciones provenientes del deposito de material inadecuado de minera La Zanja, Perú*. Manresa: Escola Politecnica Superior d'Enginyeria de Manresa.
- Jurado, G. D. (2016). Diseño piloto del sistema de tratamiento pasivo de infiltraciones provenientes del deposito de material inadecuado de minera la zanja, Perú. *Masteres y Doctorado*, 89.
- Lopez, P. E., & Baretino, F. D. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina. *Boletin Geologico y Minero*, 1-19.
- Lopez, P. E., Baretino, F. D., & Osvaldo, A. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina. *Boletin Geologico y Minero*, 1-19.
- Macias Suarez, F., Caraballo Monge, M., Nieto Liñan, J. M., & Ayora Ibañez, C. (Septiembre de 2010). Tratamiento pasivo piloto de un drenaje acido de mina con Alta Carga Metalica en Monte Romero (Faja Piritica Iberica. *Sociedad española de minerologia*(13), 143-144.
- Macias, F., Rotting, T. S., Nieto, M. j., Ayora, C., & Caraballo, M. A. (28 de Mayo de 2010). Tratamiento pasivo con un sustrato alcalino disperso de drenajes acidos de mina con alta carga metálica en la cuenca del rio Odiel (Faja Pirítica Ibérica, SO España). *GOGACETA*, 11-114.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Hidrología Hidráulica y Drenaje*. Lima.
- Monografias plus. (s.f.). *Monografias plus*. Obtenido de <https://www.monografias.com/docs/Aguas-acidas-P3YHMG7VFNS5#:~:text=Son%20aguas%20que%20se%20producen,relaves%2C%20ba suras%20municipales%2C%20etc>.
- Ordoñez, A. (Julio de 1994). *A successive alkalinity producing system (RAPS) as operational unit in a hybrid passive treatment system for acid mine drainage*. Oviedo: Mine, Water & Environment. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/267707168_A_SUCCESSIVE_ALKALINITY_P

RODUCING_SYSTEM_SAPS_AS_OPERATIONAL_UNIT_IN_A_HYBRID_PASSIVE _TREATMENT_SYSTEM_FOR_ACID_MINE_DRAINAGE

- Pamo, L. E., Aduvire, O., & Baretino, D. (2002). Tratamiento pasivos de drenaje acido de mina: estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geologico y Minero*, 113(1), 3-21.
- Pérez, A. M. (29 de Septiembre de 2017). *Parque y Grama*. Obtenido de <https://www.parqueygrama.com/gavion-definicion-y-usos/>
- Pinedo, V. J. (2010). *Neutralización de aguas acidas de mina por pantanos artificiales*. Lima.
- PIRAMID- Consortium. (2003). *Passive in-situ remediation of acidic mine / industrial drainage*. Reino Unido: PIRAMID.
- Ramírez, S. B., Coello, V. A., & Menéndez, A. J. (2017). Tratamiento por flotacion del drenaje acido de mina grande de cobre. *MAMYM*(3), 24-34.
- Rey, V. L. (2007). *Tratamiento de agua por medio de humedales artificiales (wetland)*. Tucush: Compañía Minera Antamina S.A.
- Rimarachin Varas, P., & Huaranga Moreno, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero - metalurgicos utilizando, metodos pasivos y activos en sistemas experimentales. *SCIENDO*, 18(2), 20-29.
- Rocas y Minerales. (2 de Febrero de 2018). *Rocas y Minerales*. Obtenido de <https://www.rocasyminales.net/caliza/>
- Salazar Giraldo, J. P., Hernandez Angel, M. L., & Arnago Ruiz, A. d. (2012). Alternativas de tratamientos de las aguas de los drenajes acidos de minas: una revisión. *Investigacion y Ciencia Final*, 347-366.
- Sobolewski, A. (1996). The Journal of Ecosystem Restoration. *Ecological Enginerring*, 259-271.
- Stracuzzi, S. P., & Pestana, F. M. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas: FEDUPEL. Obtenido de <https://es.calameo.com/read/000628576f51732890350>
- Suarez, D. J. (8 de Marzo de 2013). *erosion.com.co*. Obtenido de <https://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>
- U.S.EPA. (1998). *Constructed wetlands teatment*. Engineering Bulletin.

Unidad Minera Yanacocha. (s.f.). *Yanacocha*. Obtenido de [http://www.yanacocha.com/plan-de-cierre-de-minas/#:~:text=El%20Cierre%20de%20Minas%20es,lo%20dispuesto%20por%20la%20le y%20\(](http://www.yanacocha.com/plan-de-cierre-de-minas/#:~:text=El%20Cierre%20de%20Minas%20es,lo%20dispuesto%20por%20la%20le y%20()

Younger, P. (1997). *the longevity of minewater pollution: a basis for decision- making*. The Science of the total Environment.

Zambrano, P. C. (2009). *Capitulo 5 Modelo general de diseño para humedales*.

Zamora, E. G., Zamora, M. V., & Gorrity, P. M. (2015). Propuesta de tratamiento de las aguas acidas de la mina Milluni mediante drenes anoxicos calizos. *Revista Metalúrgica*(36), 33-44.

Zarza, L. F. (2021). *IAGUA*. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-dique-y-cual-es-funcion>

Zipper, C. R. (2015). Passive tratment of Acid - Mine Drainage. *Powell River Project*, 1-14.