

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

**“DISEÑO DE MEJORA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS PARA MEJORAR LA DISPOSICION FINAL EN UNA EMPRESA MINERA EN EL NORTE DEL PERU, 2020”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

**Autores:**

Orlando Castrejón Chalán

Alex Silva Silva

**Asesor:**

Ing. Ricardo Fernando Ortega Mestanza

Cajamarca - Perú

2021



## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>1</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>2</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema .....	22
1.3. Objetivos .....	22
1.4. Hipótesis.....	23
<b>CAPÍTULO II. MÉTODO.....</b>	<b>24</b>
2.1. Diseño de investigación .....	24
2.2. Unidad de Análisis, Población y Muestra .....	24
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	25
2.4. Procedimiento de análisis de datos .....	31
2.5. Consideraciones éticas para la presente investigación .....	32
2.6. Matriz de Operacionalización de Variables.....	33
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>36</b>
3.1. Diagnóstico general del área de estudio .....	36
3.2. Cálculo de Indicadores –Variable Independiente – Antes de la mejora .....	52
3.3. Cálculo de Indicadores –Variable Dependiente – Antes de la mejora .....	66
3.4. Matriz de operacionalización de variables con resultados diagnóstico.....	73
3.5. Propuesta de mejora y los planteamientos.....	75
3.2. Cálculo de Indicadores –Variable Independiente – Luego de la mejora .....	82
3.3. Cálculo de Indicadores –Variable Dependiente- Luego de la mejora.....	96
3.6. Matriz de operacionalización de variables -Resultados diagnóstico y mejora	107
3.10. Análisis económico/financiero.....	108
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>116</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>130</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Técnicas de recolección de datos y análisis de datos. -----</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 2: Especificación de las técnicas e instrumentos de recolección de datos -----</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 3: Análisis de datos-----</b>	<b>30</b>
<b>Tabla 4: Procesamiento de datos. -----</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 5: Matriz de Operalización de Variables -----</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 6: Matriz de Priorización de Problemas-----</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 7: Cuadro final que muestra la priorización de problemas-----</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 8: Guía de observación directa -----</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 9: Capacidad de planta-----</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 10: Cálculo de la capacidad de planta-----</b>	<b>55</b>
<b>Tabla 11: Cálculo del diseño de planta normal y extendida -----</b>	<b>56</b>
<b>Tabla 12: Funcionamiento diario y semanal de planta (En Horas y Minutos)-----</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 13: Listado de reportes semanales más comunes en planta-----</b>	<b>57</b>
<b>Tabla 14: Resultados obtenidos para el cálculo de tiempo real de operación.-----</b>	<b>58</b>
<b>Tabla 15: Consumo diario de Óxido de Calcio (Cal)-----</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 16: Consumo diario de Ácido Clorhídrico -----</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 17: Dosificación diaria de Floculante-----</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 18: Consumo diario de Floculante -----</b>	<b>60</b>
<b>Tabla 19: Consumo diario total de reactivos -----</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 20: Parámetros fase Neutralización- Oxidación-----</b>	<b>61</b>
<b>Tabla 21: Variables de Clarificación. -----</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 22: Secuencia de actividades del proceso de Tratamiento de Aguas Acidas-----</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 23: Cuadro de datos para el cálculo -----</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 24: Medición de entrada y salida de flujo diario-----</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 25: Cálculo de la cantidad de lodo evacuado diariamente por la planta -----</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 26: Capacidad de Planta Diseñada y Excedida-----</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 27: Caudal Máximo y Caudal de Emergencia-----</b>	<b>67</b>
<b>Tabla 28: Volumen de aguas ácidas producidas por año-----</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 29: Límites Máximos Permisibles-----</b>	<b>69</b>
<b>Tabla 30: Parámetros para la formación de aguas acidas -----</b>	<b>70</b>
<b>Tabla 31: Análisis Químico DAM – EMH y límites de descarga -----</b>	<b>71</b>
<b>Tabla 32: Toma de muestras en los distintos puntos del proceso. -----</b>	<b>72</b>

<b>Tabla 33: Resultados de metales totales y disueltos en comparación con la reglamentación DS-004-2017-MINAM.</b>	<b>73</b>
<b>Tabla 34: Resultados de análisis de muestras tratadas actualmente</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 35: Matriz de Operalización de Variables 2 – Resultados del diagnóstico</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 36: Diagrama de procesos para la PTAA luego de la mejora</b>	<b>84</b>
<b>Tabla 37: Capacidad de planta</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 38: Cálculo de la capacidad de planta</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 39: Funcionamiento diario y semanal de planta</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 40: Listado de reportes semanales más comunes en planta</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 41: Resultados obtenidos para el cálculo de tiempo real de operación.</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 42: Consumo diario de Óxido de Calcio o Soda Caustica (Cal)</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 43: Consumo diario de Ácido Clorhídrico</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 44: Consumo diario de Floculante</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 45: Consumo diario total de reactivos</b>	<b>98</b>
<b>Tabla 46: Secuencia de actividades del proceso de Tratamiento de Aguas Acidas</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 47: Cuadro de datos para el cálculo</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 48: Medición de entrada y salida de flujo diario</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 49: Cálculo de la cantidad de lodos (kg) evacuado por la planta</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 50: Capacidad de Planta Diseñada y Excedida</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 51: Caudal Máximo y Caudal de Emergencia</b>	<b>103</b>
<b>Tabla 52: Proyección anual del aumento de caudal de aguas ácidas</b>	<b>104</b>
<b>Tabla 53: Toma de muestras en los distintos puntos del proceso.</b>	<b>105</b>
<b>Tabla 54: Resultados de metales totales y disueltos en comparación con la reglamentación DS-004-2017-MINAM.</b>	<b>107</b>
<b>Tabla 55: Resultados de análisis de muestras tratadas actualmente</b>	<b>108</b>
<b>Tabla 56: Matriz de Operalización de Variables 2 – Resultados diagnóstico y mejora</b>	<b>109</b>
<b>Tabla 57: Costos por procedimientos de ampliación de planta (equipos y herramientas)</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 58: Costos por procedimientos de ampliación de planta</b>	<b>112</b>
<b>Tabla 59: Costos en capacitaciones anuales</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 60: Costos por implementos</b>	<b>113</b>
<b>Tabla 61: Costo en material de registro</b>	<b>114</b>
<b>Tabla 62: Costos por incurrir en la propuesta de mejora</b>	<b>115</b>
<b>Tabla 63: Costos de reparación por mantenimiento correctivo</b>	<b>116</b>
<b>Tabla 64: Costos por no incurrir en la propuesta de mejora</b>	<b>117</b>

<b>Tabla 65: Flujo de caja neto-----</b>	<b>117</b>
<b>Tabla 66: VAN, TIR, IR -----</b>	<b>118</b>
<b>Tabla 67: Matriz de Consistencia -----</b>	<b>135</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Resumen de Sistema de pozas de aguas acidas que maneja la empresa ----</b>	<b>38</b>
<b>Figura 2: Flujograma de proceso de tratamiento de aguas acidas -----</b>	<b>39</b>
<b>Figura 3: Diagrama de Ishikawa -----</b>	<b>44</b>
<b>Figura 4: Propuesta de Solución -----</b>	<b>78</b>
<b>Figura 5: Propuesta de Solución – Ampliación de Planta -----</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1: Diagrama Pareto .....</b>	<b>43</b>
<b>Gráfico 2: Pregunta N° 1 .....</b>	<b>47</b>
<b>Gráfico 3: Pregunta N° 2 .....</b>	<b>47</b>
<b>Gráfico 4: Pregunta N° 3 .....</b>	<b>48</b>
<b>Gráfico 5: Pregunta N° 4 .....</b>	<b>48</b>
<b>Gráfico 6: Pregunta N° 5 .....</b>	<b>49</b>
<b>Gráfico 7: Pregunta N° 6 .....</b>	<b>49</b>
<b>Gráfico 8: Pregunta N° 7 .....</b>	<b>50</b>
<b>Gráfico 9: Pregunta N° 8 .....</b>	<b>50</b>
<b>Gráfico 10: Pregunta N° 9 .....</b>	<b>51</b>
<b>Gráfico 11: Pregunta N° 10 .....</b>	<b>51</b>
<b>Gráfico 12: Ilustración del flujo de aguas acidas tratadas hasta 2020 .....</b>	<b>68</b>
<b>Gráfico 13: Ilustración de la demanda proyectada .....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1: Potencial de hidrógeno .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 2: Capacidad de Planta .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 3: Tiempo Real de Operación (TRO).....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 4: Consumo de Reactivos (CR) .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 5: Efectividad de procesos .....</b>	<b>31</b>
<b>Ecuación 6: Cálculo del Caudal (K).....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Ecuación 7: Eficacia .....</b>	<b>65</b>
<b>Ecuación 8: Eficiencia .....</b>	<b>65</b>

## RESUMEN

La presente investigación titulada “Diseño de mejora en el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en una empresa minera en el norte del Perú, 2020; cuyo objetivo principal fue diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final en el año 2020. En efecto, resultó de gran ayuda verificar los diversos procesos de la planta, pues de ellos depende en los resultados de la disposición final o vertimiento al medio ambiente, mejorando la esencia del agua y transformándola en un agua aceptable según los LMP para DAM. La tesis es aplicada a nivel descriptivo, explicativo y transversal, con diseño pre-experimental y emplea un método hipotético – deductivo. La investigación tiene como población los procesos de la PTAA para su análisis del antes y después. Las técnicas usadas para la recolección de datos fueron encuestas, entrevistas, información documentada y la observación directa. Concluyendo finalmente que se logró diseñar y mejorar el proceso de tratamiento de aguas acidas para mejorar la disposición final, a través del rediseño de procesos, uso de formatos de control y la ampliación de planta; obteniendo con ello la mejora de procesos, reactivos, equipos y aspectos de operación de planta.

**Palabras clave:** Procesos, Drenajes ácidos de mina, operación, Oxidación, Neutralización.

## **NOTA DE ACCESO**

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

## REFERENCIAS

- Ruiz, M. D. C. C. (2018). *El atractivo turístico de una de las minas de mercurio más importantes del mundo: el Parque Minero de Almadén (Ciudad Real)*. Cuadernos de Turismo, (21), 9-31.
- Pérez, M. M., & Betancur, A. (2016). Impactos ocasionados por el desarrollo de la actividad minera al entorno natural y situación actual de Colombia. *Sociedad y ambiente*, (10), 95-112.
- Cazar Almeida, A. P. (2015). *Recuperación de compuestos de cianuro de aguas residuales proveniente de la extracción del oro, utilizadas como aguas de riego en la zona minera Zaruma-Portovelo* (Bachelor's thesis, Quito: UCE.).
- Pachón Mahecha, C. T. (2014). *Minería sostenible, el reto*.
- Díaz-Arriaga, F. A. (2014). *Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano*. *Revista de Salud Pública*, 16, 947-957.
- Ubeda, J. C. B., Rubio, R. F., & Serrano, J. V. (2018). *Tratamiento de aguas ácidas. Prevención y reducción de la contaminación*. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (10), 44-47.
- Rosas Blas, R. P., & Carranza Urbina, J. W. (2015). *Estudio técnico para el tratamiento de aguas ácidas en los drenajes de la industria minera*.
- Kirschbaum, A., & Murray, J. (2011). *Minería y aguas ácidas: contaminación y prevención*. *Temas de Biología y Geología del NOA*, 1(1), 40-51.
- Quispe, I. D., & Illesca Chávez, M. G. (2009). *Proceso de neutralización con soda caustica como un método alternativo de tratamiento de aguas acidas para incrementar la calidad de agua en la Compañía Minera Cascaminas SA*.
- Mamani Chipana, W. (2019). *Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la mina*. Universidad Nacional del Altiplano. La Rinconada-Puno.

- Herrera, H. P. (2013). Los pasivos mineros ambientales y los conflictos sociales en Hualgayoc. *Investigaciones sociales*, 17(30), 265-277.
- López Goicochea, J. W. (2013). Tratamiento de aguas ácidas provenientes del Pad de lixiviación con naoh-almidón; en Cía. Minera Sipán S.A.C, durante cierre ambiental. Distrito de Llapa, Cajamarca, Perú, 2011-2012.
- Choque Gonza, Y. (2020). Anteproyecto de mejoramiento y ampliación de la planta de tratamiento de agua de drenaje ácido de mina para la Unidad Minera Coimolache, en el Distrito de Hualgayoc, Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca
- Mego Estela, E. (2016). Evaluación de la oxidación química con el peróxido de hidrógeno y ósmosis inversa en el tratamiento de efluentes de Minera Coimolache.
- Leyva Cojal, W. (2018). Implementación de un equipo deshidratador de lodos para reducir costos en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, Minera Coimolache SA 2017 (Tesis Parcial).
- Ahumada Melendez, J. L., & Benites Horna, R. M. (2019). Diseño de una planta de tratamiento de agua ácida, para los drenajes ácidos de mina en el distrito de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión.
- Aduvire, O. (2018). Dimensionado de sistemas de tratamiento de aguas acidas de mina. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, (5), 1-11.
- Jimenez Huallpa, C. C. (2017). Eficiencia en la remoción del tratamiento de aguas ácidas de mina, mediante neutralización activo con lechada de cal de la Unidad Minera Arasi–Puno.
- Rosas Blas, R. P., & Carranza Urbina, J. W. (2015). Estudio técnico para el tratamiento de aguas ácidas en los drenajes de la industria minera.