

UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA

Facultad de Ingeniería y Gestión



MEJORA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE SÓLIDOS, BASADO EN EL CICLO DE DEMING, PARA INCREMENTAR LOS INDICADORES OPERACIONALES DEL ÁREA DE ESPESAMIENTO DE RELAVES, EN UNA UNIDAD MINERA DEL DEPARTAMENTO DE JUNÍN – PERÚ

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Presenta el Bachiller

Juan Carlos Amado Cerpa

Presidente: Javier Edilberto Mosqueira Loayza

Asesor: María Elizabeth Labán Salguero

Lector: Carlos Binasco Pérez

Lima – Perú

Agosto de 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

Sres.
CONSEJEROS
Pte.

De nuestra consideración:

Por la presente nos dirigimos a Ustedes para saludarlos e informar al Consejo Universitario sobre el producto académico elaborado por Juan Carlos Amado Cerpa, quien solicita la obtención de su título profesional a través de la sustentación de una tesis.

El producto académico elaborado tiene como título "MEJORA DEL PROCESO DE RECUPERACIÓN DE SÓLIDOS, BASADO EN EL CICLO DE DEMING, PARA INCREMENTAR LOS INDICADORES OPERACIONALES DEL ÁREA DE ESPESAMIENTO DE RELAVES, EN UNA UNIDAD MINERA DEL DEPARTAMENTO DE JUNÍN – PERÚ"

Por tanto, en nuestra condición de Asesor de producto académico y de integrante de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Gestión respectivamente, declaramos que el producto académico de Juan Carlos Amado Cerpa ha sido examinado con el programa antiplagio *Turnitin* para identificar su nivel de coincidencias.

El resultado que arroja el programa es de 12 % de similitud, el cual proviene de fuentes de información que han sido debidamente citadas o reconocidas utilizando las normas del sistema APA.

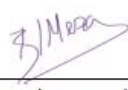

Sin otro particular, quedo de ustedes.

Firmado en Lima, 07 de febrero del 2025

Atentamente,



Maria Elizabeth Labán Salcedo
Asesor

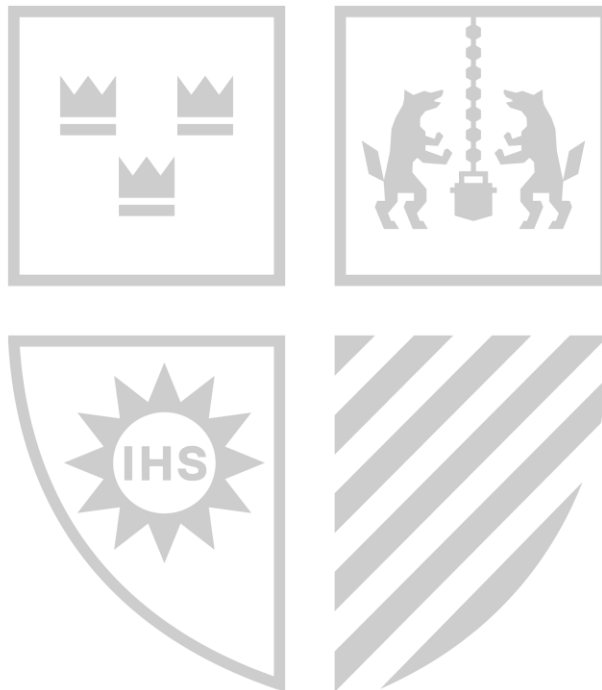
Bernardo Leonardo Meza Guzmán
Presidente
Comisión de Grados y Títulos
Facultad de Ingeniería y gestión

*Conforme a lo establecido en el documento de identidad

EPÍGRAFE

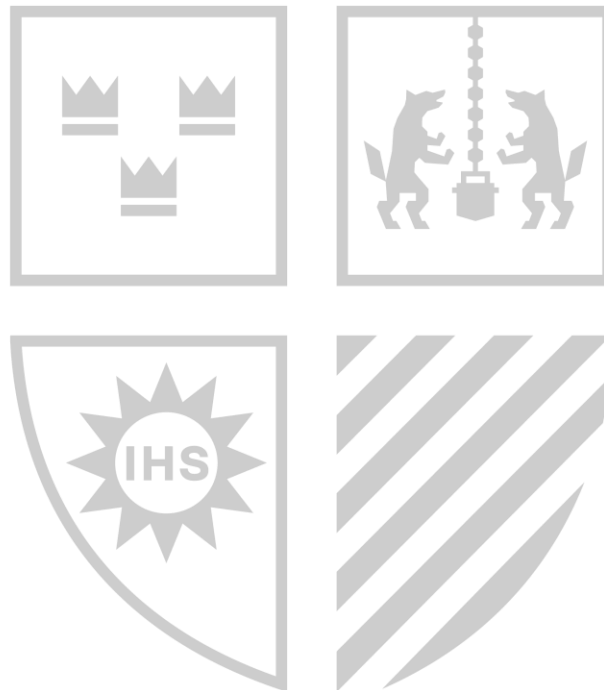
Si mejoras 1% en algo cada día, al final del año serás 37 veces mejor

James Clear – Hábitos atómicos



DEDICATORIA

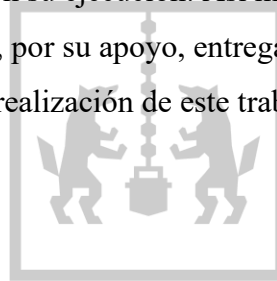
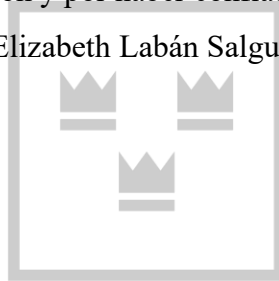
Dedico esta tesis a mi esposa e hijos por ser un soporte y motivación especial para mi persona, por ser mi cable a tierra y la razón principal para ser mejor como persona y profesional



AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad Antonio Ruiz de Montoya, por impartir los conocimientos que me permiten desarrollarme adecuadamente en el campo laboral. Agradezco también a los directivos de la unidad minera donde se implementó la mejora detallada en la presente tesis, en especial al Ing. Alfonso Muñoz Verón por el apoyo y guía constante, por permitirme el uso de la información y por haber confiado en su ejecución. Así mismo, agradezco a mi asesora María Elizabeth Labán Salguero, por su apoyo, entrega y dedicación para la

realización de este trabajo de investigación.



RESUMEN

El presente proyecto de investigación se enfoca en mejorar el proceso de recuperación de sólidos en el área de espesamiento de relaves en una unidad minera del departamento de Junín, Perú. La problemática principal es el bajo contenido de sólidos, afectando la vida útil de la presa de relaves, la producción y los costos operativos.

El objetivo general es implementar el ciclo de Deming para optimizar los indicadores operacionales. Los objetivos específicos incluyen diagnosticar la situación actual, establecer requerimientos técnicos, evaluar el impacto de un sistema experto y determinar la viabilidad económica de la propuesta.

La metodología es de tipo aplicada con un diseño cuasi experimental. La población incluye todos los flujos de relaves procesados entre enero de 2021 y marzo de 2024. La muestra es censal, considerando todos estos flujos.

La propuesta de mejora se estructura en las etapas del ciclo de Deming: Planificar, Hacer, Verificar y Actuar. Las acciones incluyeron la identificación del problema, recolección de datos, análisis de causas, planificación de acciones, implementación y capacitación.

Los resultados indican una mejora significativa en los indicadores: el cumplimiento del objetivo de sólidos aumentó al 88.9%, la recuperación de agua incrementó notablemente y el consumo de floculante se redujo, evidenciando la efectividad de la implementación del sistema experto en el proceso de espesamiento de relaves.

Así mismo, se realizó una evaluación económico financiera logrando un VAN de \$ 339,358.00 y TIR de 42%, lo cual evidencia la rentabilidad de la implementación.

Palabras clave: Mejora, espesador, relave, ciclo de Deming, unidad minera.

ABSTRACT

This research project focuses on improving the solids recovery process in the tailings thickening area of a mining unit in the department of Junín, Peru. The main problem is the low solids content, affecting the useful life of the tailings dam, production and operating costs.

The general objective is to implement the Deming cycle to optimize operational indicators. The specific objectives include diagnosing the current situation, establishing technical requirements, evaluating the impact of an expert system and determining the economic feasibility of the proposal.

The methodology is applied with a quasi-experimental design. The population includes all tailings streams processed between January 2021 and March 2024. The sample is census, considering all these flows.

The improvement proposal is structured in the stages of the Deming cycle: Plan, Do, Check and Act. Actions included problem identification, data collection, root cause analysis, action planning, implementation and training.

The results indicate a significant improvement in the indicators: solids target compliance increased to 88.9%, water recovery increased significantly and flocculant consumption was reduced, evidencing the effectiveness of the implementation of the expert system in the tailings thickening process.

Likewise, an economic-financial evaluation was carried out, achieving a VAN of \$339,358.00 and TIR of 42%, which demonstrates the profitability of the implementation.

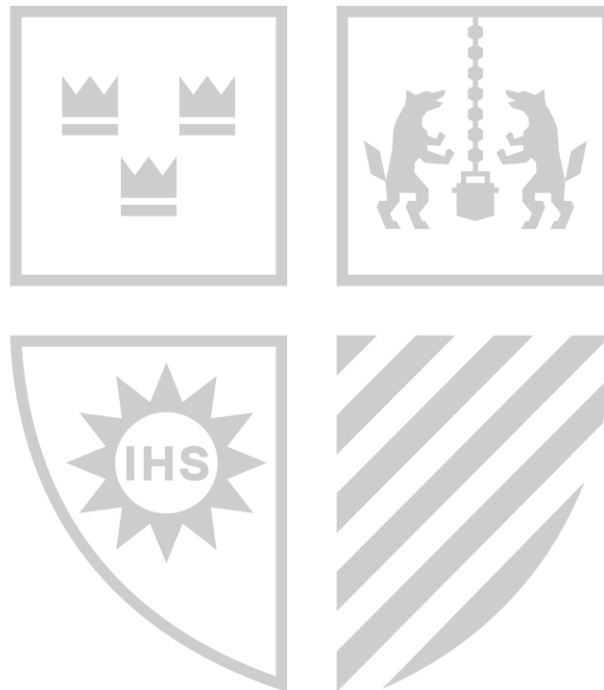
Keywords: Improvement, thickener, tailings, Deming cycle, mining unit.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
ÍNDICE DE TABLAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	13
INTRODUCCIÓN	15
1 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Descripción del problema.....	16
1.2. Problema de investigación	18
1.2.1. Pregunta de investigación	18
1.2.2. Problema general.....	19
1.2.3. Problemas específicos	19
1.3. Objetivos de la investigación	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Variables de la investigación.....	20
1.5. Justificación de la investigación.....	23
1.5.1. Justificación teórica.....	23
1.5.2. Justificación práctica	23
1.5.3. Justificación social	23
1.6. Alcance de la investigación.....	23
1.6.1. Temático.....	23
1.6.2. Espacial	23
1.6.3. Temporal	24
1.7. Viabilidad del estudio.....	24
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25

2.1.	Antecedentes de la Investigación	25
2.2.	Bases teóricas	27
2.2.1.	Mejora de procesos	29
2.2.2.	Proceso de recuperación de sólidos.....	30
2.2.3.	Ciclo de Deming	36
2.2.4.	Indicadores operacionales	38
2.2.5.	Herramientas de calidad.....	42
3	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	49
3.1.	Tipo de investigación	49
3.2.	Diseño de la investigación.....	49
3.3.	Población y muestra	49
3.3.1.	Descripción de la población	49
3.3.2.	Selección de la muestra	49
3.3.3.	Unidad de investigación.....	50
3.4.	Recolección de datos.....	50
3.5.	Diseño de instrumentos	50
3.6.	Procesamiento y análisis de los datos	50
4	CAPÍTULO IV: DESARROLLO Y RESULTADOS DE LA MEJORA	51
4.1.	Diagnóstico situacional	52
4.1.1.	Descripción del proceso actual.....	52
4.1.2.	Porcentaje de sólidos en descarga	62
4.1.3.	Recuperación de agua	63
4.1.4.	Consumo de floculante.....	64
4.1.5.	Identificación de aspectos, evaluación y control de impactos amb.	65
4.1.6.	Identificación de causa raíz del problema	68
4.2.	Implementación de la mejora	69
4.2.1.	Identificación de alternativas de solución	69
4.2.2.	Especificaciones técnicas de la mejora	72
4.2.3.	Implementación y puesta en marcha de la mejora	79
4.2.4.	Capacitación y entrenamiento sobre la mejora	87
4.2.5.	Resultados de la implementación del ciclo de Deming	88

4.2.6. Estandarización de la mejora.....	95
4.3. Análisis económico financiero de la mejora	98
4.3.1. Análisis costo beneficio de la implementación del sistema experto	98
4.3.2. Indicadores económico-financieros	101
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	21
Tabla 2 Matriz de consistencia	22
Tabla 3 Principales equipos del área de espesamiento de relaves.....	59
Tabla 4 Características de los espesadores de relaves	61
Tabla 5 Porcentaje de sólido en descarga.....	62
Tabla 6 Agua recuperada por m ³ /mes.....	63
Tabla 7 Consumo de floculante en unidades y peso	64
Tabla 8 Carácter de acuerdo al aspecto e impacto ambiental	65
Tabla 9 Escala de variables de evaluación del impacto.....	66
Tabla 10 Rango de significancia Ambiental.....	67
Tabla 11 Matriz de ident. de asp. y evaluación de impactos ambientales.....	67
Tabla 12 Análisis de los 5 por qué.....	69
Tabla 13 Rangos de matriz de restricciones.....	71
Tabla 14 Matriz de restricciones - evaluación	71
Tabla 15 SmartDiver: Especificaciones técnicas	72
Tabla 16 Porcentaje de sólido en descarga después de la mejora.....	89
Tabla 17 Agua recuperada por m ³ /mes después de la mejora.....	91
Tabla 18 Eva. del consumo de floculante antes y después de la mejora	92
Tabla 19 Consumo de floculante en unidades y peso después de la mejora ...	93
Tabla 20 Matriz de evaluación de impactos amb. después de la mejora	95
Tabla 21 Inversión total.....	98
Tabla 22 Preparación e implementación de la mejora.....	98
Tabla 23 Consumo promedio mensual de Floculante	99
Tabla 24 Ahorro mensual de floculante después de la mejora.....	99
Tabla 25 Agua recuperada promedio mensual por año	100
Tabla 26 Ahorro en el consumo de agua mensual después de la mejora	100
Tabla 27 Tasa de Inflación Anual - Perú.....	101
Tabla 28 Flujo de caja	100
Tabla 29 Flujo de caja incremental.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Capacidad del proceso de descarga de sólidos en espesadores.....</i>	17
Figura 2	<i>Promedio mensual de la descarga de sólidos en espesadores.....</i>	18
Figura 3	<i>Bases teóricas – organizador gráfico</i>	28
Figura 4	<i>Etapas de la mejora de procesos</i>	29
Figura 5	<i>Proceso de recuperación de sólidos en espesador</i>	31
Figura 6	<i>Espesador de relaves</i>	32
Figura 7	<i>Partes del espesador de relaves</i>	33
Figura 8	<i>Bomba vertical</i>	34
Figura 9	<i>Bomba centrífuga</i>	34
Figura 10	<i>Bomba sumidero</i>	35
Figura 11	<i>Ciclo de Deming.....</i>	36
Figura 12	<i>Importancia del ciclo de Deming.....</i>	38
Figura 13	<i>Relación % de sólidos vs Relavera</i>	39
Figura 14	<i>Relación de recuperación de agua vs relavera.....</i>	40
Figura 15	<i>Zonas de sedimentación por acción de floculante</i>	41
Figura 16	<i>Floculante en polvo.....</i>	42
Figura 17	<i>Símbolos del diagrama de flujo</i>	42
Figura 18	<i>Diagrama de Ishikawa</i>	43
Figura 19	<i>Histograma.....</i>	44
Figura 20	<i>Matriz de restricciones.....</i>	46
Figura 21	<i>Diagrama de ubicación general</i>	53
Figura 22	<i>Vista superior de los espesadores y bombas GEHO.....</i>	54
Figura 23	<i>Alimentación a los muestreadores</i>	55
Figura 24	<i>Mezcla de floculante</i>	56
Figura 25	<i>Mezclador.....</i>	56
Figura 26	<i>Alimentación al feedwell.....</i>	57
Figura 27	<i>Feedwell</i>	57
Figura 28	<i>Descarga del overflow de los espesadores de relaves</i>	58

Figura 29	<i>Descarga del underflow de los espesadores de relaves</i>	59
Figura 30	<i>Espesador de alta capacidad</i>	60
Figura 31	<i>Porcentaje de sólido en descarga</i>	63
Figura 32	<i>Agua recuperada</i>	64
Figura 33	<i>Consumo de floculante peso</i>	65
Figura 34	<i>Diagrama de Ishikawa del problema</i>	68
Figura 35	<i>SmartDiver: hardware</i>	73
Figura 36	<i>Funcionamiento del smartdiver en el espesador</i>	74
Figura 37	<i>Componentes del sistema SmartDiver</i>	75
Figura 38	<i>Estrategia de control de sistema experto</i>	76
Figura 39	<i>Esquema de interacción de sistema experto espesador y DCS</i>	77
Figura 40	<i>Reglas difusas de control para operar velocidad de bomba</i>	78
Figura 41	<i>Reglas difusas de control para operar la dosis de floculante</i>	79
Figura 42	<i>Gantt de implementación del sistema experto espesadores</i>	80
Figura 43	<i>SmartDiver Espesador 1 - 255-AIT-11310</i>	81
Figura 44	<i>SmartDiver Espesador 2 - 255-AIT-11311</i>	81
Figura 45	<i>SmartDiver Espesador 3 - 255-AIT-11312</i>	82
Figura 46	<i>SmartDiver Espesador 4 - 255-AIT-11313</i>	82
Figura 47	<i>Interfaz gráfica del sistema experto de relaves</i>	83
Figura 48	<i>Captura de pantalla de la region Network Cluster</i>	84
Figura 49	<i>Captura de pantalla de la caja Server Information</i>	85
Figura 50	<i>Captura de pantalla de la caja Slave Information</i>	85
Figura 51	<i>Captura de pantalla de inicio como client</i>	86
Figura 52	<i>Captura de pantalla de la ventana guardar y restaurar</i>	86
Figura 53	<i>Diagrama de comandos disponibles para el control de versión</i>	87
Figura 54	<i>Capacitación al personal sobre manejo del sistema experto</i>	88
Figura 55	<i>Porcentaje de sólido en descarga después de la mejora</i>	90
Figura 56	<i>Agua recuperada después de la mejora</i>	92
Figura 57	<i>Consumo de floculante en unid. y peso después de la mejora</i>	94
Figura 58	<i>Instructivo para operación de espesadores con sistema experto</i> ...	96
Figura 59	<i>Estandar de operación de espesadores de relaves</i>	96
Figura 60	<i>Guía de instalación del sistema experto</i>	97
Figura 61	<i>Manual Básico de entrenamiento de sistema experto</i>	97