

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Aplicación de mejora de métodos para optimizar
el arranque del circuito de molienda y flotación Pb Zn
en Sociedad Minera El Brocal**

Anthony Jhimy Rivera Mayta

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Industrial

Huancayo, 2023

TSP - RIVERA MAYTA ANTHONY JHIMY

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 9% |
| 2 | repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 3 | repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | www.coursehero.com Fuente de Internet | 1% |
| 5 | repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 6 | Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante | <1% |
| 7 | repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet | <1% |
| 8 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1% |
| 9 | cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet | <1% |

| | | |
|----|---|------|
| 10 | bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 11 | nanopdf.com Fuente de Internet | <1 % |
| 12 | laborum.com.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 13 | prezi.com Fuente de Internet | <1 % |
| 14 | repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 15 | Velázquez Gutiérrez López Barbara Berenice. "Importancia de la regulación de los activos virtuales en el sistema financiero mexicano", TESIUNAM, 2022 Publicación | <1 % |
| 16 | repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 17 | www.istockphoto.com Fuente de Internet | <1 % |
| 18 | tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 19 | Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante | <1 % |

repositorio.ucv.edu.pe

20

Fuente de Internet

<1 %

21

bibliotecaunapec.blob.core.windows.net

Fuente de Internet

<1 %

22

patents.google.com

Fuente de Internet

<1 %

23

repositorio.utc.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

24

www.antamina.com

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad de Oviedo

Trabajo del estudiante

<1 %

26

doku.pub

Fuente de Internet

<1 %

27

Submitted to Instituto Especializado de Estudios Superiores Loyola

Trabajo del estudiante

<1 %

28

repositorio.tecnm.mx:8080

Fuente de Internet

<1 %

29

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

repositorio.ucsp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

| | | |
|----|---|------|
| 31 | Submitted to Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid Trabajo del estudiante | <1 % |
| 32 | Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante | <1 % |
| 33 | repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 34 | recursos2.educacion.gob.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 35 | repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 36 | Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante | <1 % |
| 37 | es.scribd.com Fuente de Internet | <1 % |
| 38 | www.yachaytech.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 39 | 1library.co Fuente de Internet | <1 % |
| 40 | repositorio.upsjb.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 41 | www.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|--|------|
| 42 | pueblomartir.wordpress.com Fuente de Internet | <1 % |
| 43 | www.buenastareas.com Fuente de Internet | <1 % |
| 44 | Submitted to EP NBS S.A.C. Trabajo del estudiante | <1 % |
| 45 | Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante | <1 % |
| 46 | aprenderly.com Fuente de Internet | <1 % |
| 47 | dspace.espech.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 48 | repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 49 | Mendoza Monroy Claudia. "Implementación del sistema SIMECELE en el sistema nacional de refinación, principales problemas", TESIUNAM, 2012 Publicación | <1 % |
| 50 | Submitted to utec Trabajo del estudiante | <1 % |
| 51 | pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |

52

"A Self Sustaining Microgrid for Supplying Electrical Load in Rural Areas", 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), 2020

Publicación

<1 %

53

Submitted to Universidad Internacional de la Rioja

Trabajo del estudiante

<1 %

54

www.fundacionauna.org

Fuente de Internet

<1 %

55

www.mtps.gob.sv

Fuente de Internet

<1 %

56

biblioteca.epn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

57

ve.acciontrabajo.com

Fuente de Internet

<1 %

58

www.dspace.espol.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

59

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

60

idoc.pub

Fuente de Internet

<1 %

61

ingenieriaindustrialeasy.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

62

laoferta.com

Fuente de Internet

<1 %

| | | |
|----|--|------|
| 63 | repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 64 | repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 65 | www.abcmedicus.com Fuente de Internet | <1 % |
| 66 | consulta-ruc.com.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 67 | documents.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 68 | fdocuments.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 69 | km.worldbank.org Fuente de Internet | <1 % |
| 70 | repositorio.unan.edu.ni Fuente de Internet | <1 % |
| 71 | www.fluke.com Fuente de Internet | <1 % |
| 72 | www.isotools.org Fuente de Internet | <1 % |
| 73 | www.mspas.gob.sv Fuente de Internet | <1 % |
| 74 | www.prnewswire.com Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|--|------|
| 75 | www.radioformula.com.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 76 | doaj.org Fuente de Internet | <1 % |
| 77 | doi.org Fuente de Internet | <1 % |
| 78 | dokumen.pub Fuente de Internet | <1 % |
| 79 | es.slideshare.net Fuente de Internet | <1 % |
| 80 | help.sap.com Fuente de Internet | <1 % |
| 81 | issuu.com Fuente de Internet | <1 % |
| 82 | news.caribseek.com Fuente de Internet | <1 % |
| 83 | repositorio.uan.edu.co Fuente de Internet | <1 % |
| 84 | repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet | <1 % |
| 85 | repository.unad.edu.co Fuente de Internet | <1 % |
| 86 | sourceforge.net Fuente de Internet | <1 % |

| | | |
|----|---|------|
| 87 | www.dropbox.com Fuente de Internet | <1 % |
| 88 | www.fundacion-ica.org.mx Fuente de Internet | <1 % |
| 89 | www.keyfora.com Fuente de Internet | <1 % |
| 90 | www.ucab.edu.ve Fuente de Internet | <1 % |
| 91 | baixardoc.com Fuente de Internet | <1 % |
| 92 | Briseño Miranda Cesar, Pastrana Roque Miguel Ángel. "Simulación y control de un equipo de bombeo mediante un PLC Siemens S7-200", TESIUNAM, 2005 Publicación | <1 % |
| 93 | qdoc.tips Fuente de Internet | <1 % |

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA | 13 |
| 1.1. Datos generales de la institución | 13 |
| 1.2. Actividades principales de la empresa | 14 |
| 1.3. Reseña histórica de la empresa..... | 15 |
| 1.4. Organigrama de la empresa..... | 16 |
| 1.5. Visión y misión de la empresa | 18 |
| 1.5.1. Visión | 18 |
| 1.5.2. Misión | 18 |
| 1.6. Bases legales o documentos administrativos..... | 18 |
| 1.7. Descripción del área donde se realizan las actividades profesionales..... | 19 |
| 1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa..... | 20 |
| CAPÍTULO 2. ASPECTOS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES .. | 22 |
| 2.1. Antecedentes o diagnóstico situacional..... | 22 |
| 2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional | 24 |
| 2.2.1. Seleccionar | 24 |
| 2.2.2. Registrar | 25 |
| 2.2.3. Examinar | 26 |
| 2.2.4. Establecer y evaluar | 28 |
| 2.2.5. Definir | 29 |
| 2.3. Objetivos de la actividad profesional..... | 31 |
| 2.3.1. General | 31 |
| 2.3.2. Específicos | 31 |
| 2.4. Justificación de la actividad profesional..... | 31 |
| 2.5. Resultados esperados | 33 |
| 2.5.1. Resultados cuantitativos proyectados..... | 33 |
| 2.5.2. Resultados cualitativos proyectados..... | 36 |
| CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO..... | 38 |
| 3.1 Bases teóricas de las metodologías o actividades realizadas..... | 38 |
| 3.1.1 Antecedentes internacionales | 38 |
| 3.1.2 Antecedentes nacionales | 38 |
| 3.2. Mejora de métodos | 39 |
| 3.2.1. Terminología utilizadas en la SMEB | 44 |

| | | |
|--|---|------------|
| 3.2.2. | Diagrama de Pareto..... | 45 |
| 3.2.3. | Diagrama Ishikawa o causa efecto..... | 46 |
| 3.2.4. | Sistema de control industrial | 47 |
| 3.2.5. | Bus de campo | 49 |
| 3.2.6. | La pirámide de automatización..... | 51 |
| 3.2.7. | Red de campo Profibus | 52 |
| 3.2.8. | Motor de inducción..... | 53 |
| 3.2.9. | Tipos de arranque de motores de inducción | 54 |
| 3.2.10. | CCM (centro de control de motores) | 58 |
| 3.2.11. | Sistema de Automatización System800xA | 58 |
| 3.2.12. | Topología System800xA | 60 |
| 3.2.13. | Metodología aplicada para el desarrollo de la solución | 62 |
| CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PROFESIONALES | | 64 |
| 4.1.2. | Alcance de las actividades profesionales | 65 |
| 4.2. | Aspectos técnicos de la actividad profesional | 67 |
| 4.2.1. | Metodologías..... | 67 |
| 4.2.2. | Técnicas | 68 |
| 4.2.3. | Instrumentos..... | 68 |
| 4.2.4. | Equipos y materiales utilizados en el desarrollo de las actividades | 69 |
| 4.3. | Ejecución de las actividades profesionales | 70 |
| 4.3.1. | Cronograma de actividades realizadas | 70 |
| 4.3.2. | Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales | 72 |
| CAPÍTULO 5. RESULTADOS | | 109 |
| 5.1. | Resultados finales de las actividades realizadas | 109 |
| 5.1.1. | Resultados cuantitativos reales..... | 111 |
| 5.1.2. | Resultados cualitativos reales..... | 111 |
| 5.3. | Logros alcanzados | 115 |
| 5.3. | Dificultades encontradas | 115 |
| 5.4. | Planteamiento de mejoras | 115 |
| 5.4.1. | Metodologías propuestas | 118 |
| 5.4.2. | Descripción de la implementación..... | 120 |
| 5.5. | Análisis..... | 121 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Descripción del puesto SMEB | 20 |
| Tabla 2. Reporte de uso y disponibilidad molienda y flotación circuito de Pb Zn de la Planta 2 (Clasificación: Todas, Mes; Varios)..... | 25 |
| Tabla 3. Horas de uso por arranque de planta | 32 |
| Tabla 4. Flujo de caja del proyecto | 34 |
| Tabla 5. Indicadores económicos de viabilidad del proyecto | 36 |
| Tabla 6. Beneficios cualitativos del proyecto | 37 |
| Tabla 7. Equipos usados para estudio de caso..... | 70 |
| Tabla 8. Tiempos de arranque posimplentación del proyecto..... | 107 |
| Tabla 9. Flujo de caja real | 110 |
| Tabla 10. Indicadores económicos de viabilidad del proyecto real..... | 111 |
| Tabla 11. Beneficios cualitativos del proyecto real | 111 |
| Tabla 12. Cuadro de comparación del proceso operativo | 112 |
| Tabla 13. Recuperación de inversión | 112 |
| Tabla 14. Programa de mantenimiento | 120 |
| Tabla 15. APC para arranque de circuito molienda y flotación | 121 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Organigrama Organizacional CDP-SMEB | 17 |
| Figura 2. Consulta de RUC de SMEB | 19 |
| Figura 3. Diagrama de bloques de proceso Planta 2..... | 23 |
| Figura 4. Diagrama de Pareto de las horas paradas de molienda y flotación..... | 27 |
| Figura 5. Diagrama de Ishikawa - Identificación de problemas de molienda y flotación..... | 28 |
| Figura 6. Matriz de evaluación de posibles soluciones | 30 |
| Figura 7. NSR- Cash Cost Sociedad Minera El Brocal- Planta..... | 32 |
| Figura 8. Fest 1+11 2101 v2 -Procesos Budget..... | 33 |
| Figura 9. Cálculo de tasa de descuento..... | 35 |
| Figura 10. Imagen de selección | 40 |
| Figura 11. Imagen de registro de datos..... | 41 |
| Figura 12. Imagen de examinación de datos | 41 |
| Figura 13. Imagen de objetivo..... | 42 |
| Figura 14. Imagen de proceso de evaluación..... | 42 |
| Figura 15. Imagen de validación | 43 |
| Figura 16. Imagen de implementación. | 43 |
| Figura 17. Imagen de control de objetivos. | 44 |
| Figura 18. Diagrama de Pareto..... | 45 |
| Figura 19. Diagrama de Ishikawa..... | 46 |
| Figura 20. Control centralizado | 48 |
| Figura 21. Control distribuido | 49 |
| Figura 22. Bus de campo | 50 |
| Figura 23. Pirámide de automatización | 52 |
| Figura 24. Red de bus de campo Profibus | 53 |
| Figura 25. Motor de inducción. | 54 |
| Figura 26. Arranque directo de motor de inducción..... | 55 |
| Figura 27. Arranque estrella-triángulo de motor de inducción..... | 55 |
| Figura 28. Arranque estatístico por resistencias para motor síncrono..... | 56 |
| Figura 29. Arranque electrónico por variador de frecuencia | 57 |
| Figura 30. Imagen de centro de control de motores. | 58 |
| Figura 31. Arquitectura de control ABB | 59 |
| Figura 32. Áreas funcionales en System800xA..... | 60 |
| Figura 33. Red de control System800xA..... | 62 |
| Figura 34. Diagrama de Gantt del proyecto..... | 71 |
| Figura 35. Imagen ERP SAP | 72 |
| Figura 36. ERP SAP transacción ME51N | 73 |
| Figura 37. Captura de pantalla del ERP SAP Creación de Servicios. | 73 |

| | |
|---|-----|
| Figura 38. Captura de pantalla del flujo de aprobación ERP SAP | 74 |
| Figura 39. Arquitectura general propuesta: integración planta 1 + planta 2 SMEB | 75 |
| Figura 40. Arquitectura de red Profibus 1. Planta 2: Distribución de segmentos de comunicación - Sala eléctrica CCM002 (parte 1)..... | 77 |
| Figura 41. Arquitectura de red Profibus 2. Planta 2: Segmentos de comunicación - Sala eléctrica CCM002 (parte 2)..... | 78 |
| Figura 42. Arquitectura de red Profibus 3. Planta 2: Segmentos de comunicación - Sala eléctrica CCM002 (parte 3)..... | 79 |
| Figura 43. Arquitectura Red Profibus 4. Planta 2: Segmentos de comunicación - Sala eléctrica CCM002 (parte 4)..... | 80 |
| Figura 44. Arquitectura de red Profibus 5. Planta 2: Segmentos de comunicación - Sala eléctrica CCM002 (parte 5)..... | 81 |
| Figura 45. Diagrama de bloques Red Profibus 1 | 82 |
| Figura 46. Diagrama de bloques Red Profibus 2..... | 83 |
| Figura 47. Diagrama de bloques Red Profibus 3..... | 83 |
| Figura 48. Diagrama de bloques Red Profibus 3..... | 84 |
| Figura 49. Diagrama de bloques Red Profibus 4..... | 84 |
| Figura 50. Diagrama de bloques Red Profibus 5..... | 85 |
| Figura 51. Diagrama de bloques red Profibus 6..... | 85 |
| Figura 52. Planos de gabinetes Profihub | 86 |
| Figura 53. Fotos de soportes metalmecánicos..... | 87 |
| Figura 54. Tendido de tuberías Conduit..... | 88 |
| Figura 55. Tendido de tuberías Conduit..... | 89 |
| Figura 56. Conexión de Profibus DP..... | 89 |
| Figura 57. Conexión de terminales en VFD..... | 90 |
| Figura 58. Monitoreo de la red Profibus..... | 91 |
| Figura 59. Escaneo de red con Profitrace..... | 91 |
| Figura 60. Reporte de estado de la red Profibus..... | 92 |
| Figura 61. Fusión de fibra óptica..... | 93 |
| Figura 62. Gabinete de comunicaciones..... | 93 |
| Figura 63. Gabinete Profihub con fibra óptica..... | 94 |
| Figura 64. Reporte de red fibra óptica..... | 95 |
| Figura 65. Parámetros de configuración de variadores..... | 96 |
| Figura 66. Configuración de parámetros VFD..... | 97 |
| Figura 67. Configuración de parámetros VFD Profibus..... | 97 |
| Figura 68. Desarrollo de librería software..... | 98 |
| Figura 69. Desarrollo de programa de librería..... | 99 |
| Figura 70. Integración de variadores a control builder..... | 100 |
| Figura 71. Lógica de programación de VFD..... | 101 |
| Figura 72. Definición de parámetros de comunicación..... | 101 |

| | |
|---|-----|
| Figura 73. Lógica de programación de arranque | 102 |
| Figura 74. Diseño de pantallas de la operación de molienda..... | 103 |
| Figura 75. Desarrollo de pantallas de operación flotación. | 103 |
| Figura 76. Desarrollo de pantallas de operación celdas..... | 104 |
| Figura 77. Imagen del faceplate. Tomada de ABB..... | 104 |
| Figura 78. Pantalla de operación del proceso de molienda..... | 105 |
| Figura 79. Pantalla de operación del proceso de flotación. | 106 |
| Figura 80. Pantalla de operación de celdas..... | 106 |
| Figura 81. Tiempos de arranque de molienda y flotación | 107 |
| Figura 82. Pantalla de operación de molienda..... | 113 |
| Figura 83. Diagrama DAP de Molienda y flotación antiguo..... | 114 |
| Figura 84. Nuevo Diagrama DAP molienda y flotación | 115 |

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente proyecto, *Aplicación de mejora de métodos para optimizar el arranque del circuito de molienda y flotación Pb Zn en Sociedad Minera El Brocal*, se analizaron las causas en la demora del arranque del circuito de molienda flotación, dado que los principales problemas encontrados eran de tipo operativo y de maquinaria como, por ejemplo, la ubicación de los tableros de arranque, las constantes inundaciones, etc. Por estos aspectos, el enfoque de solución consistió en lograr el arranque remoto de molinos, fajas, bombas y sistemas auxiliares mediante la automatización, y esto permitió optimizar el tiempo de arranque del circuito de molienda y flotación que fue posible realizar el control completo desde la sala de control.

Para su implementación, se aplicaron los ocho pasos de la mejora de métodos para resolver el problema y a nivel de ingeniería se diseñó la arquitectura de red Profibus en el CCM4 de la planta 2 Pb Zn, se realizó el tendido de la red Profibus por tubería y bandejas dentro del CCM4, se instalaron gabinetes Profihub para multiplexar la señal de los variadores de frecuencia y arrancadores directos. El gabinete Profihub se encargó de transformar la red Profibus en fibra óptica para interconectar los arrancadores a la sala de control del circuito de molienda a 600 metros de distancia, esto permitió el arranque remoto de las estaciones de bombeo desde las pantallas de operación de la sala de control.

Con la automatización del arranque de molinos, fajas, bombas y sistemas auxiliares mediante la red Profibus, se logró reducir el tiempo de arranque del circuito de molienda Pb Zn en 36,6 min, lo cual representa una reducción del 86,9 %, cumpliéndose así con el objetivo propuesto: mejorar la confiabilidad del circuito. La inversión fue de 300 mil dólares y la empresa ahorró 1.2 millones de dólares.