

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Industrial

Trabajo de Suficiencia Profesional

**Implementación de mejora del proceso de  
calcinación para optimizar la producción de clínker  
de la empresa UNACEM**

Carlos Alberto Jancachagua Cajamalqui

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Industrial

Huancayo, 2024

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : HERBERT ANTONIO VILCHEZ BACA  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 19 de abril de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

**IMPLEMENTACIÓN DE MEJORA DEL PROCESO DE CALCINACIÓN PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DE CLINKER DE LA EMPRESA UNACEM**

**Autor:**

**CARLOS ALBERTO JANCACHAGUA CAJAMALQUI** – EAP. Ingeniería Industrial

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **9 %** de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 15
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



\_\_\_\_\_  
Asesor de trabajo de investigación

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>Agradecimiento</b> .....	<b>iii</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice de tablas</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de figuras</b> .....	<b>viii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>x</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>xi</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>12</b>
<b>Aspectos generales de la empresa</b> .....	<b>12</b>
1.1. Datos generales de la empresa .....	12
1.2. Actividades principales de la empresa.....	13
1.3. Reseña histórica de la empresa.....	13
1.4. Organigrama de la empresa .....	15
1.5. Visión y misión de la empresa .....	16
1.6. Bases legales o documentos administrativos .....	16
1.7. Descripción del área donde realiza sus actividades profesionales.....	16
1.8. Descripción del cargo y de las responsabilidades del bachiller en la empresa.....	17
<b>Capítulo II</b> .....	<b>19</b>
<b>Aspectos generales de las actividades profesionales</b> .....	<b>19</b>
2.1. Antecedentes .....	19
2.2. Identificación de oportunidad o necesidad en el área de actividad profesional.....	23
2.3. Objetivos de la actividad profesional .....	23
2.4. Justificación de la actividad profesional .....	24
2.5. Resultados esperados.....	24
<b>Capítulo III</b> .....	<b>25</b>
<b>Marco teórico</b> .....	<b>25</b>
3.1. Principios de combustión .....	25
3.2. Fases para obtener una combustión.....	26
3.3. Tipos de combustión .....	26
3.4. Quemador en la industria del cemento .....	26
3.5. Instrumentación .....	27
3.6. Cocción de materiales.....	29
3.7. Aspectos de control implementados en hornos rotatorios de cemento .....	31
3.8. Metodología DMAIC aplicada.....	35

<b>Capítulo IV</b> .....	<b>37</b>
<b>Descripción de las actividades profesionales</b> .....	<b>37</b>
4.1. Descripción de actividades profesionales .....	37
4.2. Enfoque de las actividades profesionales .....	53
4.3. Alcance de las actividades profesionales .....	54
4.4. Entregables de las actividades profesionales .....	55
4.5. Aspectos técnicos de la actividad profesional.....	64
4.5.1. Metodologías .....	64
4.5.2. Técnicas .....	64
4.5.3. Instrumentos.....	64
4.5.4. Equipos y materiales usados en el desarrollo de la actividad .....	64
4.6. Ejecución de las actividades profesionales.....	66
4.6.1. Proceso y secuencia operativa de las actividades profesionales .....	66
<b>Capítulo V</b> .....	<b>90</b>
<b>Resultados</b> .....	<b>90</b>
5.1. Resultados finales de las actividades realizadas.....	90
5.1.1. Resultados como proceso.....	90
5.1.2. Resultado en producción.....	91
5.2. Logros alcanzados.....	91
5.3. Dificultades encontradas .....	95
5.4. Planteamiento de mejoras.....	96
5.4.1. Metodologías propuestas .....	96
5.4.2. Descripción de la implementación.....	96
5.5. Análisis.....	96
5.6. Aporte del bachiller en la empresa.....	97
<b>Conclusiones</b> .....	<b>98</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>99</b>
<b>Lista de referencias</b> .....	<b>100</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>101</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Registro de fallas del área de mantenimiento correctivo .....	22
Tabla 2. Registro de fallas del área de mantenimiento correctivo .....	30
Tabla 3. Metodología DMAIC .....	36
Tabla 4. Herramienta para priorizar las variables independientes en el sistema de control del proceso de calcinación – horno 3 .....	48
Tabla 5. Plan de implementación de soluciones para el sistema de control del proceso de calcinación – horno 3.....	50
Tabla 6. Metodología de DMAIC .....	97
Tabla 7. Proyecto contemplando 5 pasos.....	97

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama general de Unacem S. A. C. ....	15
Figura 2. Registro de fallas del departamento eléctrico y generación .....	20
Figura 3. Registro de fallas del departamento eléctrico y generación .....	21
Figura 4. Evidencia del efecto ocasionado por el corto circuito en el interior de interruptor termomagnético .....	21
Figura 5. Representación de la parte afectada en un plano eléctrico .....	22
Figura 6. Triangulo de la combustión (1) .....	25
Figura 7. Quemador para horno rotativo (2) .....	27
Figura 8. Estructura de un controlador lógico-programable (7) .....	33
Figura 9. Descripción del hardware en un controlador lógico-programable (7).....	34
Figura 10. Configuración PLC con base en arquitectura maestro-esclavo (7).....	34
Figura 11. Evidencia de intervención para reparación de ruptura de tubería de conducción... 38	
Figura 12. Intervención de instrumentista para localización de fallas .....	38
Figura 13. Registro de fallas .....	39
Figura 14. Diagrama de Pareto .....	40
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso.....	42
Figura 16. Producción de clínker de 2017 al 2021 .....	43
Figura 17. Estadísticos descriptivos del clínker t.....	44
Figura 18. Capacidad del proceso de clínker t.....	45
Figura 19. Gráfica de control para valores individuales de la producción de clínker.....	46
Figura 20. Diagrama de Ishikawa / causa – efecto .....	46
Figura 21. Producción de clínker después de implementación hasta agosto 2023 .....	51
Figura 22. Estadísticos descriptivos para clínker luego de implementación .....	52
Figura 23. Capacidad del proceso clínker post implementación.....	53
Figura 24. Gráfica de control clínker post implementación.....	53
Figura 25. Programa PLC para marcha y control .....	58
Figura 26. Proceso de calcinación del Horno 3 .....	59
Figura 27. Equipos para el proceso de calcinación.....	61
Figura 28. Cronograma de actividades .....	63
Figura 29. Equipos del proceso de calcinación.....	66
Figura 30. Elaboración del programa en PLC.....	67
Figura 31. Tablero de control.....	68
Figura 32. Planos de soportes .....	69
Figura 33. Traslado de tablero .....	70
Figura 34. Montaje de tablero eléctrico .....	71

Figura 35. Personal haciendo soldadura .....	72
Figura 36. Montaje de soporte .....	73
Figura 37. Soporte de apoyo .....	74
Figura 38. Soporte de bandejas en vigas.....	76
Figura 39. Montaje de bandejas portacables.....	77
Figura 40. Montaje de tuberías .....	78
Figura 41. Plano con especificaciones técnicas para instalación de cable desnudo de cobre para aterramiento de bandeja.....	80
Figura 42. Tendido de cable.....	81
Figura 43. Tendido de cable.....	82
Figura 44. Conexión de puntas de prueba para megado de cables de control en el tablero periferia .....	83
Figura 45. Lectura del Megóhmetro luego de una prueba del nivel del aislamiento de un conductor .....	83
Figura 46. Etiquetado de cables .....	84
Figura 47. Habilitación de terminaciones, instalación de TAG y conexionado de cables en borneras .....	84
Figura 48. Calibración de sensores desde tablero periferia.....	85
Figura 49. Sensor de presión.....	86
Figura 50. Posicionamiento y calibración de Limit switch de válvula neumática.....	87
Figura 51. Medición de corriente de arranque vacío .....	89
Figura 52. Diagrama de Pareto de resultados obtenidos luego de la mejora .....	90
Figura 53. Monitor de control – quemador H3 .....	92
Figura 54. Proceso de calcinación.....	93
Figura 55. Organigrama de la gerencia de proyectos.....	94
Figura 56. Drive con archivos técnicos para el proceso .....	95

## RESUMEN

En el presente informe de suficiencia profesional, se expone el conjunto de estrategias implementadas en la unidad Condorcocha de Unacem, empresa líder en la producción y comercialización de cemento, concreto premezclado y exportación de Clinker. El foco central del estudio radica en la optimización del proceso de producción de Clinker en el horno 3, abarcando el periodo comprendido entre 2017 y 2021. A través de un análisis detallado de los registros de producción, se identificó una variabilidad significativa en la capacidad productiva del Horno 3, fluctuando entre 24 773 toneladas y 54 000 toneladas, con una media de 47 370 toneladas. Este diagnóstico evidenció pérdidas de producción significativas al considerar un rendimiento uniforme de 54 000 toneladas mensuales.

La evaluación de la capacidad del proceso, utilizando el índice Cpk, reveló un valor de 0.05, indicativo de una incapacidad crítica y falta de control sobre el proceso, siendo los valores entre 1.3 y 2 los considerados adecuados para reflejar una capacidad real efectiva del proceso. Ante esta situación, se adoptó la metodología DMAIC por su eficacia probada en la optimización de procesos productivos industriales, permitiendo identificar y solucionar las causas raíz de la variabilidad observada.

La implementación de mejoras, realizada en octubre de 2021, fue seguida de un monitoreo continuo de la producción de Clinker durante los años subsiguientes (2021-2023), logrando incrementar la media de producción a 53 988 toneladas, con una variación entre 52 283 toneladas y 55 140 toneladas. Paralelamente, se consiguió mejorar la capacidad real del proceso de 0.05 a 0.71 en el corto plazo.

Este trabajo demuestra que la aplicación de la metodología DMAIC en el sector cementero no solo facilita la identificación eficiente de ineficiencias en los procesos de producción, sino que también conduce a una mejora sustancial en la eficiencia y disponibilidad de estos, reflejado en el aumento de la producción de Clinker, entre otros beneficios.