

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“IMPACTO DEL EXPLOSIVO ENERGÉTICO QUANTEX 2.0
EN LA FRAGMENTACIÓN DE ROCAS DE UNA
OPERACIÓN MINERA EN CERRO DE PASCO, 2021”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título
profesional de:

Ingeniero Industrial

Autor:

Juan Ojeda Pintado

Asesor:

Mg. Manuel Enrique Malpica Rodríguez

<https://orcid.org/0000-0002-5534-5116>

Lima - Perú

2024

INFORME DE SIMILITUD

Revisión final V1

INFORME DE ORIGINALIDAD

2 %	2 %	0 %	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1 %
2	exsa.mediaimpact.digital Fuente de Internet	1 %
3	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %

Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Activo

Tabla de contenidos

INFORME DE SIMILITUD	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN EJECUTIVO	10
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	20
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA.....	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	117
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	123
REFERENCIAS.....	127
ANEXOS	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Personas involucradas en el proyecto</i>	41
Tabla 2. <i>Herramientas utilizadas en cada fase del proyecto</i>	44
Tabla 3. <i>Indicadores base para las pruebas asociadas con las mejoras en el uso del explosivo</i>	48
Tabla 4. <i>Lista de verificación para evaluar los factores que inciden en la eficiencia de la fragmentación de rocas en la operación minera</i>	50
Tabla 5. <i>Principales factores que afectan la eficiencia de la fragmentación de rocas en la operación minera</i>	57
Tabla 6. <i>Resultados del control de proceso en planta del Quantex 2.0</i>	106
Tabla 7. <i>Primera prueba de laboratorio para la creación del Quantex 2.0</i>	63
Tabla 8. <i>Segunda prueba de laboratorio para la creación del Quantex 2.0</i>	64
Tabla 9. <i>Primera prueba de planta para la creación del Quantex 2.0</i>	65
Tabla 10. <i>Segunda prueba de planta para la creación del Quantex 2.0</i>	66
Tabla 11. <i>Detalles de la Etapa 1: Quantex 2.0 sin aditivo (Emulsión + L-10)</i>	67
Tabla 12. <i>Detalles de la Etapa 2: Quantex 2.0 (Emulsión + L-10 + Aditivo)</i>	69
Tabla 13. <i>Detalles de la Etapa 1: Quantex 2.0 sin aditivo (Emulsión + L-10)</i>	71
Tabla 14. <i>Resumen comparativo de los aspectos operativos</i>	72
Tabla 15. <i>Nitrato Quantex 2.0 (densidades)</i>	73
Tabla 16. <i>Nitrato Quantex 2.0 (% de finos)</i>	74
Tabla 17. <i>Control de calidad de la Emulsión - Slurrex G NS Plus</i>	77
Tabla 18. <i>Curvas de gasificación – Quantex 2.0</i>	80
Tabla 19. <i>Control de densidades, gasificación y esponjamiento del explosivo dentro del taladro (1)</i>	83
Tabla 20. <i>Control de densidades, gasificación y esponjamiento del explosivo dentro del taladro (2)</i>	85
Tabla 21. <i>Control de densidades, gasificación y esponjamiento del explosivo dentro del taladro (3)</i>	87
Tabla 22. <i>Control de densidades, gasificación y esponjamiento del explosivo dentro del taladro (4)</i>	89
Tabla 23. <i>Resultados comparativos antes y después de la implementación</i>	97
Tabla 24. <i>Resultados de fragmentación, vibraciones y gases en etapa 1</i>	98
Tabla 25. <i>Resultados de fragmentación, vibraciones y gases en etapa 2</i>	100

Tabla 26. <i>Resultados de fragmentación, vibraciones y gases en etapa 3</i>	103
Tabla 27. <i>Proyección del flujo de caja sin implementación</i>	106
Tabla 28. <i>Proyección del flujo de caja con implementación</i>	107
Tabla 29. <i>Proyección del flujo de caja incremental, VAN, TIR y razón costo-beneficio</i> .	108
Tabla 30. <i>Cálculo del tiempo de retorno de la inversión</i>	109
Tabla 31. <i>Lecciones aprendidas del proyecto</i>	110
Tabla 32. <i>Desarrollo de competencias y actividades</i>	115
Tabla 33. <i>Indicadores base de la eficiencia del explosivo inicial Quantex</i>	115
Tabla 34. <i>Indicadores posteriores de la eficiencia del explosivo Quantex 2.0</i>	115
Tabla 35. <i>Resumen de costos y beneficios</i>	115
Tabla 36. <i>Resultados comparativos antes y después de la implementación</i>	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación de la empresa</i>	12
Figura 2. <i>Organigrama de la empresa</i>	14
Figura 3. <i>Panel de control de pesos, cantidades de los agregados, para la preparación de las soluciones</i>	16
Figura 4. <i>Tanques de preparación de solución combustible, pesos y cantidades establecidas</i>	17
Figura 5. <i>Panel de control de flujos, temperaturas, porcentajes, presiones de las mezclas</i>	17
Figura 6. <i>Operador realizando el control en el panel durante el proceso</i>	18
Figura 7. <i>Panel del proceso en constante verificación por el operador</i>	18
Figura 8. <i>Características y especificaciones técnicas del explosivo Quantex 2.0</i>	31
Figura 9. <i>Cronograma de implementación del proyecto</i>	43
Figura 10. <i>Diagrama de causa y efecto para identificar los factores que inciden en la eficiencia de la fragmentación de rocas en la operación minera</i>	55
Figura 11. <i>Diagrama de Pareto para priorizar los problemas que afectan la eficiencia de la fragmentación de rocas en la operación minera</i>	58
Figura 12. <i>Plano de los proyectos de voladura de la Etapa 2</i>	70
Figura 13. <i>Pruebas de laboratorio de Nitrato Quantex (% de finos)</i>	74
Figura 14. <i>Solución gasificante (densidad)</i>	75
Figura 15. <i>Aditivo PI – 264 (densidad y viscosidad)</i>	76
Figura 16. <i>Curvas de gasificación muestra 1</i>	81
Figura 17. <i>Curvas de gasificación todas las muestras</i>	81
Figura 18. <i>Forma y coloración para los componentes y explosivo Quantex 2.0</i>	82
Figura 19. <i>Curvas de gasificación del explosivo dentro del taladro (1)</i>	83
Figura 20. <i>Resultados de la prueba de esponjamiento (1)</i>	84
Figura 21. <i>Curvas de gasificación del explosivo dentro del taladro (2)</i>	85
Figura 22. <i>Resultados de la prueba de esponjamiento (2)</i>	86
Figura 23. <i>Curvas de gasificación del explosivo dentro del taladro (3)</i>	87
Figura 24. <i>Resultados de la prueba de esponjamiento (3)</i>	88
Figura 25. <i>Curvas de gasificación del explosivo dentro del taladro (4)</i>	89
Figura 26. <i>Resultados de la prueba de esponjamiento (4)</i>	90
Figura 27. <i>Mediciones de velocidad de detonación (proyecto 3840-107)</i>	91

Figura 28. <i>Mediciones de velocidad de detonación (proyecto 3840-108)</i>	91
Figura 29. <i>Mediciones de velocidad de detonación (proyecto 3840-109)</i>	92
Figura 30. <i>Resultados comparativos en planta (procesamiento toneladas/hora)</i>	94
Figura 31. <i>Resultados comparativos en planta (consumo de energía específico)</i>	95
Figura 32. <i>Resultados de fragmentación, vibraciones y gases en etapa 1</i>	99
Figura 33. <i>Resultados de fragmentación, vibraciones y gases en etapa 1</i>	99
Figura 34. <i>Resultados de fragmentación, vibraciones y gases en etapa 2</i>	101
Figura 35. <i>Resultados de fragmentación consolidado con muestras representativas</i>	102
Figura 36. <i>Resultados comparativos de los resultados de fragmentación</i>	103
Figura 37. <i>Resultados de fragmentación, vibraciones y gases en etapa 3</i>	104

RESUMEN EJECUTIVO

El estudio enfocado en la implementación del explosivo energético Quantex 2.0 en una empresa de Lima durante el año 2021 tiene como meta principal describir el uso del explosivo energético Quantex 2.0 y su impacto en la fragmentación de rocas en una operación minera de Cerro de Pasco, 2021. Este objetivo comprende la evaluación técnica del explosivo, asegurando su capacidad para proporcionar una fragmentación efectiva en comparación con otros explosivos. Se contempla la planificación detallada de la logística y la capacitación del personal en el manejo y uso adecuado del Quantex 2.0, así como la adaptación de los protocolos de seguridad existentes para garantizar la integridad de los trabajadores y el cumplimiento normativo. Se realizaron tres mediciones de velocidad de detonación cuyos resultados estuvieron en el rango de [5901 a 5948] m/s, dichos valores se encuentran dentro del rango establecido para dicho producto. El análisis de fragmentación en los frentes de minado arroja, para el Quantex 2.0, valores de % finos < a 1" hasta de 57.7%, dicho valor es mayor en un 7.62% en comparación con la línea base (Explosivo Quantex), la cual tiene un valor de % finos < a 1" igual a 53.3%. La implementación exitosa de Quantex 2.0 podría resultar en una mejora significativa en la eficiencia operativa de la empresa, reduciendo costos en un 3.57% y tiempos en las operaciones de fragmentación de rocas, y estableciendo un precedente para futuras innovaciones en el campo de los explosivos.

Palabras clave: explosivo energético, fragmentación de rocas, operación minera.

REFERENCIAS

- Anniyappan, M., Talawar, M., Sinha, R., & Murthy, K. (2020). Review on Advanced Energetic Materials for Insensitive Munition Formulations. *Combustion, Explosion and Shock Waves*, 56(5), 495–519. <https://doi.org/10.1134/S0010508220050019>
- Badgujar, D., Talawar, M., Asthana, S., & Mahulikar, P. (2018). Advances in science and technology of modern energetic materials: An overview. *Journal of Hazardous Materials*, 151(2–3), 289–295. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.039>
- Bamford, T., Esmaeili, K., & Schoellig, A. P. (2021). A deep learning approach for rock fragmentation analysis. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 145(1), 104839. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104839>
- Barrientos, B., & Durand, G. (2020). *Diseño de la malla de perforación para optimizar la fragmentación en el tajeo 6662 nivel 3780 veta Lilia en la Mina Socorro– Unidad Minera Uchucchacua – Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.* [Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8574/5/IV_FIN_110_TE_Barrientos_Durand_2020.pdf
- Barton, L. M., Edwards, J. T., Johnson, E. C., Bukowski, E. J., Sausa, R. C., Byrd, E. F. C., Orlicki, J. A., Sabatini, J. J., & Baran, P. S. (2019). Impact of Stereo- and Regiochemistry on Energetic Materials. *Journal of the American Chemical Society*, 141(32), 12531–12535. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b06961>
- Bergström, P., Zhang, Z., & Ylitalo, R. (2021). Effect of detonator position on rock fragmentation: Full-scale field tests at Kevitsa open pit mine. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 147(1), 104918. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104918>

- BNAmericas. (2023). *Having a blast: Peru's mining explosives market*.
<https://www.bnamericas.com/en/interviews/having-a-blast-perus-mining-explosives-market#:~:text=Gómez Sánchez%3A We're talking about,ranges from US%24600mn to US%24650mn>
- Cheong, K., Woo, K., & Hui, K. (2016). Ishikawa Diagram. *Quality Improvement in Behavioral Health*, 2(1), 119–132. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-26209-3_9
- Cruz, N. (2022). *Reducción del porcentaje de dilución, mediante el empleo de cápsulas de fragmentación de roca. Mina Consuelo - Minera Poderosa. La Libertad* [Universidad Nacional de Piura]. <https://repositorio.unp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8ccba7da-79c4-43d6-80b9-4c90c9c05389/content>
- Cueva, B., & Herrera, I. (2018). *Comparación de la productividad, fragmentación y costos del sistema de iniciación electrónica versus pirotécnica en Voladura Minera Vanacocha S.R.L.* Universidad Privada del Norte.
- Gonzales, A., & Vilca, J. (2021). *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de cápsulas plasma en el Tajo Santa Rosa de la Empresa Administradora Cerro S.A.C. Cerro de Pasco* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/657598/>
- Guo, T., Wang, Z., Tang, W., Wang, W., Bi, F., & Wang, B. (2018). A good balance between the energy density and sensitivity from assembly of bis(dinitromethyl) and bis(fluorodinitromethyl) with a single furazan ring. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 134(1), 218–230. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.06.012>
- Hosseini, S., Poormirzaee, R., & Hajihassani, M. (2022). An uncertainty hybrid model for risk assessment and prediction of blast-induced rock mass fragmentation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 160(12), 105250.

<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2022.105250>

Hossen, J., Ahmad, N., & Mithun, S. (2017). An application of Pareto analysis and cause-and-effect diagram (CED) to examine stoppage losses in TPM: a textile case from Bangladesh. *The Journal of The Textile Institute*, 108(11), 2013–2020. <https://doi.org/10.1080/00405000.2017.1308786>

Li, X., Yang, J., & Song, R. (2022). Numerical study on blast-induced fragmentation in deep rock mass. *International Journal of Impact Engineering*, 170(1), 104367. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2022.104367>

Luca, L. (2016). A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 161(1), 20–29. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012099/meta>

Mundial, B. (2021). *Mining Sector Diagnostic Peru*. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/36359?locale-attribute=es>

Rodrigues, M., & Mendes, L. (2018). Mapping of the literature on social responsibility in the mining industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 181(2), 88–101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.163>

Saenz, C. (2019). Creating shared value using materiality analysis: Strategies from the mining industry. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 26(6), 1351–1360. <https://doi.org/10.1002/csr.1751>

Talawar, M., Jangid, S., Nath, T., Sinha, R., & Asthana, S. (2015). New directions in the science and technology of advanced sheet explosive formulations and the key energetic materials used in the processing of sheet explosives: Emerging trends. *Journal of Hazardous Materials*, 300(1), 307–321. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.07.013>

Terrazas, O., & Terrazas, D. (2021). La minería y la responsabilidad social corporativa en Perú y Latinoamérica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(5), 9814–

9834.

- Wei, X., Wang, X., Cao, M., Zhang, Y., Shi, J., & Zhang, Y. (2023). Study on rock fracture mechanism based on the combustion and explosion characteristics of high-energy expansive agent. *Engineering Fracture Mechanics*, 289(1), 109428. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2023.109428>
- Yang, L., Du, W., Feng, J., Li, J., & Ma, Q. (2023). Azidoazole-1,3,4-triazine fused energetic materials: A bioinspired strategy for tuning thermal stability and sensitivity of metal-free primary explosives via hierarchical hydrogen-bond self-assembly. *Chemical Engineering Journal*, 459(1), 141689. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.141689>
- Zhang, Z., Quiao, Y., Yuan, L., & Hou, D. (2021). Experimental study of rock fragmentation under different stemming conditions in model blasting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 143(1), 104797. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2021.104797>