

Universidad de Lima  
Facultad de Ingeniería  
Carrera de Ingeniería Industrial



# **OPTIMIZATION OF TIME EFFICIENCY IN THE CAPEX PURCHASING CHAIN: A SIMULATION STUDY IN THE MINING INDUSTRY USING THE JUST-TIME METHOD**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

**Marcelo Adrian Arteaga Solano**

**Código 20170116**

**Johan Anibal Cajachagua Sauñi**

**Código 20170241**

**Asesor**

**Juan Carlos Quiroz Flores**

Lima – Perú

Julio 2024

### Título

OPTIMIZATION OF TIME EFFICIENCY IN THE CAPEX PURCHASING CHAIN: A SIMULATION STUDY IN THE MINING INDUSTRY USING THE JUST-TIME METHOD

### Autor(es)

Marcelo Adrian Arteaga Solano

[20170116@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20170116@aloe.ulima.edu.pe)

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Johan Anibal Cajachagua Sauñi

[20170241@aloe.ulima.edu.pe](mailto:20170241@aloe.ulima.edu.pe)

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

Juan Carlos Quiroz Flores

[jcquiroz@ulima.edu.pe](mailto:jcquiroz@ulima.edu.pe)

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Lima, Perú

**Resumen:** La presente investigación tiene como objetivo optimizar el proceso de compras CAPEX en una empresa minera polimetálica de gran envergadura, evaluando los problemas y cuellos de botella presentes en dicho proceso. La metodología presentada se centra en la recolección exhaustiva de datos cuantitativos y cualitativos, así como en la implementación de estrategias basadas en metodologías Lean como Just in Time y Muda. Como resultado, se presenta una reducción significativa en los tiempos de entrega de órdenes de compra, así como una mejora en la eficiencia y el rendimiento general del proceso, validados mediante análisis estadístico y simulaciones en el software ARENA. La conclusión es que la implementación de las estrategias Just in Time y Muda ha demostrado ser efectiva para optimizar el proceso de compras CAPEX, con impactos positivos en la eficiencia operativa y la reducción de tiempos con nivel de confianza del 95%. Se recomienda continuar explorando el potencial de la metodología Just in Time en entornos internacionales y realizar un seguimiento a largo plazo de las mejoras implementadas.

**Palabras Clave:** Proceso de Compras, CAPEX, Eficiencia, Optimización y Just in Time.

**Abstract:** The objective of this research is to optimize the CAPEX purchasing process in a large polymetallic mining company, evaluating the problems and bottlenecks present in this process. The methodology presented focuses on the exhaustive collection of quantitative and qualitative data, as well as the implementation of strategies based on Lean methodologies such as Just in Time and Muda. As a result, a significant reduction in purchase order delivery times is presented, as well as an improvement in efficiency and overall process performance, validated through statistical analysis and simulations in ARENA software. The conclusion is that the implementation of Just in Time and Muda strategies has proven to be effective in optimizing the CAPEX purchasing process, with positive impacts on operational efficiency and time reduction with 95% confidence level. It is recommended to continue exploring the potential of the Just in Time methodology in international environments and to perform a long-term follow-up of the implemented improvements.

**Translated with DeepL.com (free version)**

**Keywords:** Purchasing Process, CAPEX, Efficiency, Optimization and Just in Time.

**Línea de investigación IDIC – ULIMA:** (5) - Productividad y Empleo

**Área y Sub-áreas de Investigación:** (8) – Supply Chain Management

**Objetivo (s) de Desarrollo Sostenible (ODS):** (8) - Trabajo decente y crecimiento económico

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el proceso de compras CAPEX el principal problema es que existen deficiencias que ocasionan un alto tiempo de entrega y retraso de las Ordenes de Compra hacia los proveedores.

Este bajo índice es debido a las siguientes principales causas: correcciones de las Solicitudes de Pedido, alta demanda de Solicitudes de Pedido, licitaciones mal planificadas, el alto tiempo de homologación de proveedores y alto tiempo de procesos internos que no generan productividad en las compras.

Asimismo, esto genera los siguientes efectos: retraso en los proyectos CAPEX, retraso en la entrega de los suministros y los altos costos operacionales del proceso de compras.

## OBJETIVOS

A pesar de su importancia crucial, los procesos de adquisición CAPEX a menudo se topan con problemas de ineficiencia en términos de tiempo, desde la creación del requerimiento SOLPED hasta la expedición de la Orden de Compra. Estas demoras pueden tener efectos significativos, como costos exorbitantes, retrasos en la producción y la pérdida de oportunidades de negocio esenciales (Er et al., 2017).

Para tratar este asunto de forma técnica y estratégica, sugerimos la implementación del método Just-Time, una estrategia de gestión de producción que se centra en la eficiencia operacional y la reducción de desechos en los procedimientos (Zeng et al., 2022). Mediante un estudio de simulación exhaustivo, analizamos cómo este método podría ser incorporado en la cadena de adquisiciones CAPEX y las ventajas potenciales que podría aportar.

El propósito primordial de esta investigación es mejorar la eficiencia en términos de tiempo dentro de la cadena de adquisiciones CAPEX, específicamente en el marco de la industria minera. Nuestro enfoque incluye la identificación precisa de áreas de ineficiencia, la aplicación estructurada del método Just-Time y la valoración minuciosa de los resultados alcanzados, con el objetivo de mejorar sustancialmente la gestión de compras CAPEX con respecto al tiempo activo, espera, total y de licitación; evaluando sus efectos en la producción y la rentabilidad total de la empresa.

En cuanto a la inversión del CAPEX, se destaca que la compañía aprobó un total de 308 millones USD para Perú y Brasil en el año 2023, con una proyección de alcanzar los 381 millones USD para el año siguiente, lo que evidencia un alto índice de demanda de requerimientos de compras en el horizonte temporal analizado. Estos datos revelan la complejidad y el volumen de operaciones que enfrenta la empresa en términos de adquisiciones, destacando la necesidad de implementar mejoras significativas en el proceso de compras para optimizar la eficiencia y reducir los tiempos de entrega.

## JUSTIFICACIÓN

La minería en el Perú juega un papel crucial en su dinámica económica, siendo un motor importante de crecimiento. En los últimos años, su contribución al Producto Bruto Interno (PBI) ha alcanzado el 10% del total nacional, mostrando un crecimiento exponencial (Simon et al., 2023). Esto no es sorprendente considerando que el Perú es uno de los principales productores de minerales en el mundo. Además, en el año 2023, la minería representó el 62% de las exportaciones del país (Coayla et al., 2024). Esto se debe a la diversidad de minerales que se extraen en el país, como el oro, plata, cobre, zinc y otros. Estos minerales no solo son fundamentales para la economía nacional, sino que también juegan un papel crucial en el mercado global de materias primas (Rodríguez & Álvarez, 2023).

En este contexto, el Ministerio de Energía y Minas de Perú desempeña un papel fundamental al impulsar proyectos de inversión minera conocidos como CAPEX (Capital Expenditure), los cuales son vitales para el crecimiento sostenido de la industria minera y, por ende, de la economía nacional. Estos proyectos son coordinados mediante un consenso entre las autoridades, la población y el sector privado, con el objetivo de garantizar un desarrollo equilibrado y sostenible (Anuario Minero 2022, s. f.).

La importancia de los proyectos CAPEX radica en su capacidad para impulsar la producción de minerales y metales, los cuales no solo son esenciales para la economía nacional, sino que también tienen un impacto significativo en el mercado global de materias primas. En 2023 la Dirección General de promoción y Sostenibilidad presentó la cartera de proyectos CAPEX de inversión minera, la cual consta de 47 proyectos de diferentes compañías mineras con una inversión total de US\$ 53,715 millones (MINEM 2023, s. f.).

Es por ello por lo que los proyectos CAPEX al representar un alto grado de inversión, se deben realizar con un alto nivel de efectividad, ya que un error causaría problemas económicos significativos en las compañías. Por lo que la gestión de la cadena de suministro de adquisiciones de proyectos CAPEX está estrechamente ligada a la procura, ya que la entrega oportuna de Órdenes de Compra influye directamente en la ejecución conforme a lo planificado (Wang et al., 2021).

Por lo que la busca de procesos que mejoren la eficiencia de los procesos de compra dentro de la industria minera, es crucial para garantizar la rentabilidad y la competitividad en un mercado cada vez más exigente con un alto grado de inversión (Kolmakova & Lysenko, 2023). El presente estudio se centra en la cadena de compras CAPEX, un componente vital de las operaciones de la industria minera.

## DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo: Aplicada

La presente investigación fue de tipo aplicada, ya que se enfoca en la optimización de proceso de compras CAPEX por medio de la mejora de tiempos de entrega de las Órdenes de Compra y esto fue realizado bajo la aplicación de las herramientas de Just In Time y Lean.

Enfoque: Cuantitativo

El enfoque es cuantitativo a causa de realizar el proceso de evaluar, comparar e interpretar los datos obtenidos en su fase actual del Proceso AS-IS o Modelo Actual del Proceso de Compra (Sin cambio alguno de Mejora) y después de la aplicación de las herramientas en la ejecución del Proceso TO-BE o Modelo Futuro del Proceso de Compra (Con los cambios de Mejora) por medio de la simulación de procesos del programa de Arena Software.

Alcance: Causal

El alcance es casual debido a que se pretende analizar el efecto que se produce en la implementación de las mejoras de las herramientas Just In Time y Lean en los cuatros indicadores del proceso de simulación, de los cuales son Active Time , Standby Time , Total Time y Bidding Time.

Técnicas e instrumentos:

- Just In Time
- MUDA
- Modelo Pareto
- Simulación Arena
- Modelo AS-IS
- Modelo TO-BE

Etapas del desarrollo de la investigación:

El desarrollo de la investigación que se muestra en la figura 1.1 empezó con la inspección del proceso de compras CAPEX de la compañía minera bajo entrevistas al personal de compras de la compañía como el gerente de compras y jefes directos de la cadena de suministros de los proyectos, asimismo la colección de datos de la plataforma SAP ERP con la muestra de compras de Enero 2023 a Setiembre 2023. Posteriormente realizar el árbol de problemas, analizar las causas y efectos del problema principal como también identificar que herramientas Lean usar para cumplir los objetivos propuestos.

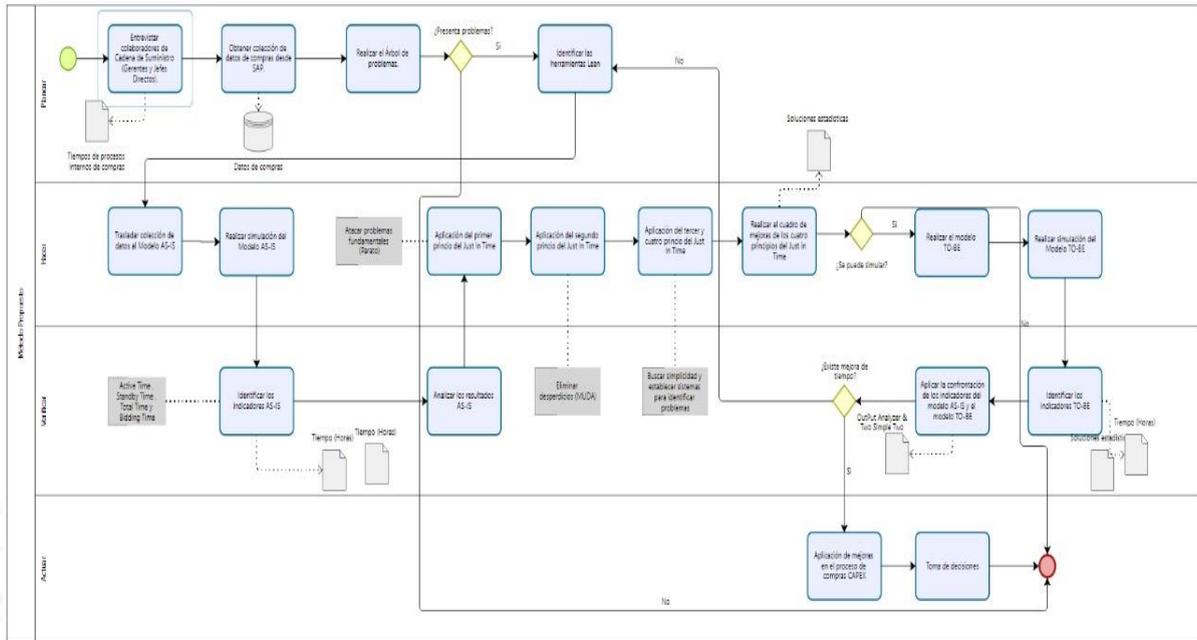
En segundo lugar, se realizó el traslado de la colección de datos en tiempo (hora) en el Modelo AS-IS (Modelo Actual del Proceso de Compra) del proceso de compras para realizar la simulación en el programa Arena y obtener cuatro indicadores (Active Time, Standby Time, Total Time y Bidding Time) para posteriormente aplicar los cuatro principios de la herramienta de Just in Time. En esta herramienta se aplicaron el Modelo Pareto, MUDA y las mejoras propuestas para optimizar el proceso de compras Capex, todo ello tuvo como objetivo proponer mejoras cuantitativas y estadísticas para modificar el proceso de compras en Arena.

En tercer lugar, el nuevo modelo TO-BE (Modelo Futuro del Proceso de Compra) propuesto con las mejoras obtenidas se ejecutó la simulación en Arena teniendo como resultado nuevos tiempos en los cuatro indicadores iniciales.

Finalmente, con los resultados obtenidos la investigación desarrolló un comparativo estadístico con la ayuda de las herramientas de Arena llamada Output Analyzer y Two-Sample-T, esto obtuvo como resultado con un 95% de confiabilidad una reducción significativa en los tiempos de entrega de las Órdenes de Compra, con ello los altos mandos de Cadena de Suministro de la compañía pueden tomar las decisiones correspondientes.

**Figura 1.1**

*Flujograma del método*



## NOTAS (AGRADECIMIENTOS)

Agradecimiento hacia nuestros padres por todo el apoyo brindado en nuestras carreras de formación profesional, a Dios por la vida y a nuestros profesores por las enseñanzas en toda nuestra etapa universitaria.

## REFERENCIAS

- Ahmed, A. E. M., & Tuan, K. (2023). Mitigating the Bullwhip Effect and Enhancing Supply Chain Performance through Demand Information Sharing: An ARENA Simulation Study. *Journal of Economics and Sustainable Development*, 14, 78. <https://doi.org/10.7176/JESD/14-14-07>
- Alarcon, L., Baladrón, C., Gahona, P., & Long, D. (2023). Lean Methodologies and Productivity in Mining Development—A Case in a Public Company. *Revista Ingeniería de Construcción*, 38. <https://doi.org/10.7764/RIC.00085.21>
- Anuario Minero 2022. (s. f.). Recuperado 18 de abril de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4326371-anuario-minero-2022>
- Coayla, E. C., Carrion, V. L. R., & Soria, Y. T. B. (2024). Regulación económica e impacto ambiental de la gran minería cuprífera en el desarrollo de Perú. *Economía Sociedad y Territorio*, 24(74), Article 74. <https://doi.org/10.22136/est20242032>
- Er, M., Zayin, S., & Pamungkas, F. (2017). ERP Post Implementation Review with Process Mining: A Case of Procurement Process. *Procedia Computer Science*, 124, 216-223. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.149>
- Khachatryan, O. (2023). Supply chain management – evaluation of models and methods. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 2, 198-206. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.198-206](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.198-206)
- Kolmakova, O., & Lysenko, B. (2023). The Theoretical Aspects of Management of Procurement Business Processes at a Construction Enterprise. *Business Inform*, 5, 222-229. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-5-222-229>
- Lv, Y., & Shang, Y. (2023). Investigation of industry 4.0 technologies mediating effect on the supply chain performance and supply chain management practices. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29550-1>
- Merdin, D., & Ersoz, F. (2019). Evaluation of The Applicability of Industry 4.0 Processes in Businesses and Supply Chain Applications (p. 10). <https://doi.org/10.1109/ISMSIT.2019.8932830>
- MINEM presenta “Cartera de Proyectos de Inversión Minera 2023” con 47 proyectos y una inversión de US\$ 53,715 millones—Noticias—Ministerio de Energía y Minas—Plataforma del Estado Peruano. (s. f.). Recuperado 18 de abril de 2024, de <https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/692252-minem-presenta-cartera-de-proyectos-de-inversion-minera-2023-con-47-proyectos-y-una-inversion-de-us-53-715-millones>
- Mucha, K., Chaba, D., & Midor, K. (2023). Legal Aspects of the Evaluation of Tenders in Public Procurement Procedures in the Polish Mining Industry. *Sustainability*, 15. <https://doi.org/10.3390/su152115421>
- Orłowska, M. (2023). SAP ERP SOFTWARE AS A TOOL FOR MANAGING THE LOGISTICS SUBSYSTEMS OF AN ENTERPRISE. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2023.xxx.x>
- Produção, G., Lara, A., Menegon, E. M., Sehnem, S., & Kuzma, E. (2022). Relationship between Just in Time, Lean Manufacturing, and Performance Practices: A meta-analysis. *Gestão & Produção*, 29. <https://doi.org/10.1590/1806-9649-2022v29e9021>
- Rodríguez, S. A., & Álvarez, J. E. P. (2023). Future scenarios of the copper industry. A prospective

study of the sector in Peru. *Ingeniería Industrial*, 45, Article 45. <https://doi.org/10.26439/ing.ind2023.n45.6637>

Simon, W. E., Gómez, E. G., Baylon, A. R., & Ruiz, S. V. (2023). El impacto de la minería en el desarrollo económico y social de la región sur del Perú del 2007 al 2020. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 26(51), Article 51. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25261>

Wang, D., Ren, T., Zhou, X., Yuan, K., & He, Q. (2021). Dynamic Contract Design of Product-Service Supply Chain considering Consumers' Strategic Behavior and Service Quality. *Complexity*, 2021, 1-25. <https://doi.org/10.1155/2021/6848971>

Zeng, L., Du, Q., Zhou, L., Wang, X., Zhu, H., & Bai, L. (2022). Side-payment contracts for prefabricated construction supply chain coordination under just-in-time purchasing. *Journal of Cleaner Production*, 379. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134830>

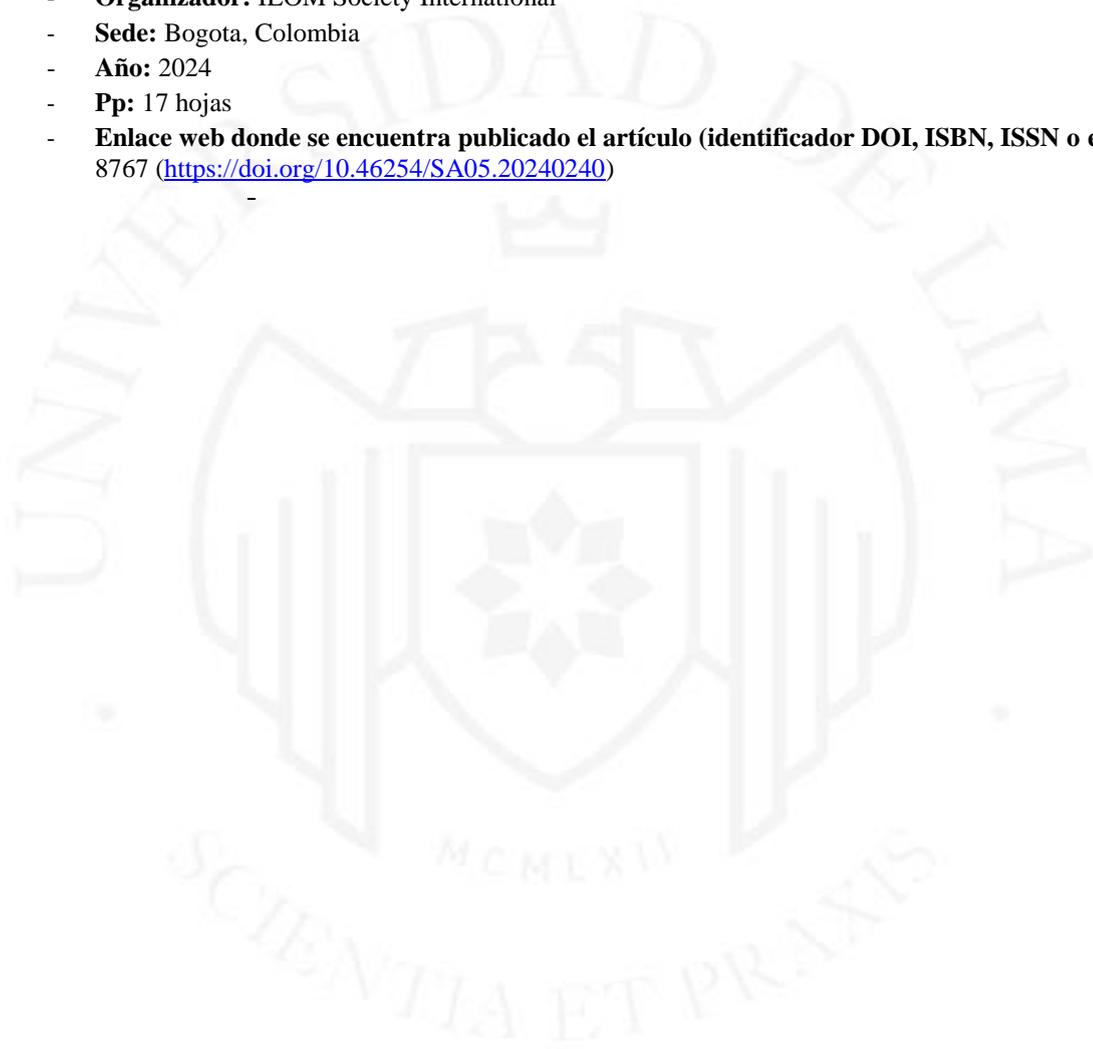


## **ANEXO. Datos del artículo publicado**

- **Nombre del artículo:** Optimization of Time Efficiency in the CAPEX Purchasing Chain: A Simulation Study in the Mining Industry Using the Just-Time Method
- **Autores:** Marcelo Adrian Arteaga Solano, Johan Anibal Cajachagua Sauñi
- **Co autor(es):** Juan Carlos Quiroz Flores

### **Presentación en congreso**

- **Nombre del congreso:** 5th South American International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bogota, Colombia , May 7-9 , 2024
- **Organizador:** IEOM Society International
- **Sede:** Bogota, Colombia
- **Año:** 2024
- **Pp:** 17 hojas
- **Enlace web donde se encuentra publicado el artículo (identificador DOI, ISBN, ISSN o equivalentes):** 2169-8767 (<https://doi.org/10.46254/SA05.20240240>)



# Paper\_Arteaga-Cajachagua

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

## ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

---

1%

★ Submitted to Letterkenny Institute of Technology

Trabajo del estudiante

---

Excluir citas

Apagado

Exclude assignment  
template

Activo

Excluir bibliografía

Activo

Excluir coincidencias

< 15 words