

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“IMPORTANCIA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE
DIGITAL TWIN EN LAS OPERACIONES MINERAS
PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA
CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL – MINERÍA
4.0”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Miguel Angel Sánchez Castillo

Deysi Maricela Rodas Cruzado

Asesor:

Ing. Danyer Stewart Girón Palomino
<https://orcid.org/0000-0001-9322-7236>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Gladys Licapa Redolfo	41379556
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

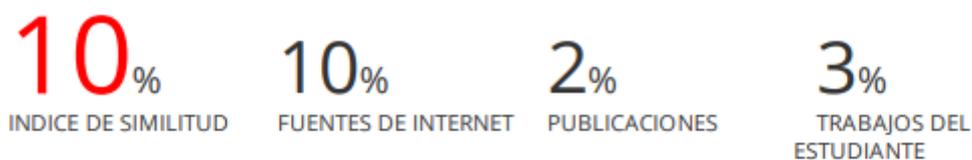
Jurado 2	Oscar Vasquez Mendoza	46795074
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Víctor Álvarez León	18034429
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

1

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	www.interempresas.net Fuente de Internet	2%
2	fch.cl Fuente de Internet	2%
3	issuu.com Fuente de Internet	1%
4	www.mvcomunicaciones.cl Fuente de Internet	1%
5	infoweek.biz Fuente de Internet	1%
6	iimp.org.pe Fuente de Internet	1%
7	camiper.com Fuente de Internet	1%
8	www.cesco.cl Fuente de Internet	1%
9	www.wwf.org.py Fuente de Internet	1%

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN.....	9
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	16
1.3. Objetivos	16
1.4. Hipótesis	17
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA	18
1.5. 2.1. Tipo de investigación.....	18
1.6. 2.2. Población y muestra	18
1.7. 2.3. Método	19
1.8. 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	19
1.9. 2.5. Procedimiento de recolección de datos	20
1.10. 2.6. Aspectos éticos:	22
CAPÍTULO III. RESULTADOS	23
1.11. 3.1. Requerimientos y funcionamiento de Digital Twin	23
1.12. 3.2. Beneficios de implementar Digital Twin en operaciones mineras actuales.....	32
1.13. 3.3. Influencia de Digital Twin en Desarrollo Sostenible.....	41
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	44
1.14. 4.1. Discusión	44
1.15. 4.2. Conclusiones	49
REFERENCIAS	51
ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos de Digital Twin	23
Tabla 2: Tecnologías 4.0 para detectar y ajustar un DT.....	28
<i>Tabla 3: Cronograma de actividades.....</i>	<i>33</i>
Tabla 4: Costos de servicios asociados a Digital Twin.	34
Tabla 5: Costos estimados de implementación de Digital Twin	35
Tabla 6: Proyecto, Desafío, Solución y beneficio de la implementación de DT en operaciones mineras.	36
Tabla 7: Beneficios económico con respecto a la implementación de Digital Twin.	40
Tabla 8: Aporte de DT en los objetivos del desarrollo sostenible de la minería en la cuarta revolución industrial.....	42
Tabla 9: Matriz de consistencia	53
Tabla 10: Matriz de Operacionalización de Variables.	54
Tabla 11: Criterios de Inclusión según palabras claves y filtros, revisión sistemática.	58
Tabla 12: Características de los estudios realizados para la revisión	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la industria	10
Figura 2: Procedimiento de análisis de datos.	21
Figura 3: Conexiones entre el mundo físico, virtual y de los usuarios para la obtención de datos de Digital Twin.	25
Figura 4: Conexión y contexto para el desarrollo de modelos digitales.....	26
Figura 5: Desarrollo de modelos digitales.....	27
Figura 6: Esquema de detección y ajuste.	29
Figura 7: Esquema de la plataforma de gestión de datos de un DT.	30
Figura 8: Conectividad de Digital Twin y el usuario a través del análisis.	31
Figura 9: Plan de Implementación de Digital Twin	32
Figura 10: Análisis porcentual de la inversión vs el porcentaje de retorno en un año.	40
Figura 11: Influencia de DT en el Desarrollo Sostenible y las nuevas características de innovación de la ingeniería.....	41
Figura 12: Diagrama de flujo de inclusión y exclusión de investigaciones	59
Figura 13: Investigaciones incluidas por año.	60
Figura 14: Porcentaje de artículos seleccionados de las diferentes bases de datos.	60

RESUMEN

La presente investigación se desarrolla en el marco de la cuarta revolución industrial con el fin de determinar la importancia de la implementación de Digital Twin en las operaciones mineras para el desarrollo sostenible, dentro de los objetivos se destaca la identificación de los principales requerimientos y funcionamiento de Digital Twin, como también, determinar los principales beneficios en implementaciones actuales, asimismo determinar la influencia de la implementación de Digital Twin en el desarrollo sostenible de las operaciones mineras. La metodología de estudio está orientada a una investigación de enfoque cualitativa, de tipo aplicada, longitudinal no experimental. Los resultados obtenidos nos dan a conocer los requerimientos basados en datos, modelos digitales, que, con tecnologías adecuadas como sensores inteligentes asociados al Internet de las Cosas, Big Data, Cloud, y a través de Inteligencia Artificial, Machine Learning y Deep Learning cobran vida en realidad aumentada o realidad virtual dentro de una plataforma de gestión de datos en la nube, en cuanto a los beneficios determinados en implementaciones actuales se identificó la supervisión automatizada, predicción para eliminar puntos débiles y posibles fuentes de error, ahorros en Capex y Opex, Análisis y simulación de diferentes escenarios hipotéticos, optimización, mantenimiento predictivo, entre otros, asimismo la influencia de la implementación Digital Twin en el desarrollo sostenible contrarresta más del 50% de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Finalmente se concluye que la implementación de Digital Twin en las operaciones mineras facilita nuevos procedimientos de avance y efectividad obteniendo así una importancia significativa en el desarrollo sostenible de la minería en la cuarta revolución industrial, Minería 4.0.

Palabras clave: Digital Twins, Minería 4.0, Desarrollo Sostenible, Cuarta Revolución Industrial.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto**, por determinación de los propios autores amparados en el Texto Integrado del Reglamento RENATI, artículo 12.

REFERENCIAS

- Acciona. (2020). *Desarrollo Sostenible*. Obtenido de https://www.acciona.com/es/desarrollo-sostenible/?_adin=02021864894
- Andes Pacific Technology Access. (2021). *Minería del futuro para una operación inteligente y sustentable*. Chile: Publicaciones APTA.
- ANDRITZ. (2022). *Metris Digital Twin (powered by IDEAS)*. United States of America: Publicaciones Andritz.
- AZURE. (2022). *Términos de informática en la nube*. Obtenido de <https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/>
- BELOGLAZOV, I., PETROV, P., & BAZHIN, V. Y. (2020). The Concept Of Digital Twins For Tech Operator Training Simulator Design For Mining And Processing Industry. *EURASIAN MINING*, 50-54.
- BIM Machine. (11 de Agosto de 2021). *Digital Twin in Mining & Metals*. Obtenido de BIM Machine: <https://www.bim-machine.com/blog-post/digital-twin-mining-metals/>
- Bimers Chile SpA. (05 de Julio de 2020). Presentación BIMERS Chile SpA Gemelos Digitales Aplicados a la Minería -COVIDMIN 2020 [Video]. YouTube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=pO3DqpniXFA>
- ECN Automation. (2022). *Gemelo digital de molienda SAG*. Lima: Publicaciones ECN.
- Gholami Mayani, M., Rommetveit, R., Inge Odegaard, S., & Svendsen, M. (2018). Drilling Automated Realtime Monitoring Using Digital Twin. *Society of petroleum engineers*, 1-11.
- Gholami Mayani, M., Rommetveit, R., Inge Odegaard, S., & Svendsen, M. (2018). *Drilling Automated RealTime Monitoring Using Digital Twins*. Abu Dhabi: Publicaciones Society of petroleum Engineers.
- Heras García, A., Córdoba Roldán, A., Ávila Gutiérrez, M., & Aguayo González, F. (2017). SOSTENIBILIDAD 4.0: ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA INTEGRADO DEL PRODUCTO INTELIGENTE CONECTADO. *Ciencias*, 225-229.
- HEXÁGON. (2020). *The Digital Twin*. Publicaciones Hexágono.
- Innovación Chilena. (22 de Octubre de 2020). *Chile, pionero en la aplicación de tecnologías de “gemelo digital” en minería*. Obtenido de <https://innovacionchilena.cl/chile-pionero-en-la-aplicacion-de-tecnologias-de-gemelo-digital-en-mineria/>
- Insight. (2020). *IoT, Digital Twins, and AI in Mining*. Australia: Publicaciones Insight.
- Instituto de ingenieros de minas del Perú. (6 de mayo de 2021). *Las bambas avanza en su camino para convertirse en una mina del futuro*. Obtenido de <https://iimp.org.pe/noticias/las-bambas-avanza-en-su-camino-para-convertirse-en-una-mina-del-futuro>
- Klein, P., & Walsh, S. (2017). *The digital mine*. Publicaciones Deloitte.
- Moreno Cuéllar, P., & Osuna Yévenes, C. (19 de Marzo de 2021). *BIM Digital Twin: Cuando el gemelo digital integra la metodología BIM*. Obtenido de SMARTGRIDSINFO: <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/comunicacion-bim-digital-twin-cuando-gemelo-digital-integra-metodologia-bim>
- Muñoz Rivera, F., Hermosilla, P., Delgadillo, J., & Echeverría, D. (2021). *Propuesta de construcción de competencias de innovación en la formación de ingenieros en el contexto de la industria 4.0 y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)*. Chile: Formación Universitaria Vol. 14 N° 2.
- Petschen, V., Huerzeler, J.-P., & Dohmen, P. (2021). Optimización Del Mantenimiento Y La Explotación De Estructuras Subterráneas Con La Ayuda De Gemelos Digitales. *inGEOpres*, 26-34.

- Rao, S. (7 de Octubre de 2021). *Australian Mining*. Obtenido de Predictive maintenance with a digital twin: <https://www.australianmining.com.au/features/predictive-maintenance-with-a-digital-twin/>
- Rios, V., & Alistair, D. (2019). *How to Achieve Project and Operational Certainty Using a Digital Twin*. Publicaciones Society of Petroleum Engineers.
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach (4th ed)*. Publicaciones Pearson.
- Sabharwal, A. (2022). *Future-proof plant strategies - a how-to guide*. Estados Unidos.: Publicaciones AVEVA.
- Schmidtke, E. (10 de Marzo de 2021). *La Industria 4.0 la oportunidad para revertir estereotipos de género*. Obtenido de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/pulse/la-industria-40-oportunidad-para-revertir-de-g%C3%A9nero-schmidtke>
- Schneider Electric. (2020). *Digital twin: bring your data to life for better performance*. Publicaciones Schneider Electric.
- Sergey A. , D., Igor O., T., & Sergey V., Z. (2020). About some issues of developing Digital Twins for the intelligent process control in quarries. *Procedia Computer Science, vol. 176*, 3210-3216.
- Servin, M., Vesterlund, F., & Wallin, E. (2021). Digital Twins with Distributed Particle Simulation for Mine-to-Mill Material Tracking. *Minerals*, 3-16.
- Singh, M., Fuenmayor, E., Hinchy, E. P., Qiao, Y., Murray, N., & Devine, D. (2021). Digital Twin: Origin to Future. *Applied system innovation*, 2-19.
- Sircar, A., Nair, A., Bist, N., & Yadav, K. (2022). *Digital twin in hydrocarbon industry*. India: Publicaciones Petroleum Research.
- Smith, P. (21 de Marzo de 2022). *Financial Review*. Obtenido de <https://www.afr.com/technology/newcrest-mines-data-in-the-cloud-for-a-100m-virtual-goldmine-20220302-p5a15w>
- Tecnología Minera. (2021). Digital Twins: Transformación y Digitalización de Activos. *Publicaciones Tecnología Minera*, 64-73.
- Tiempo Minero. (12 de 08 de 2021). *Las Bambas proyecta un gemelo digital para el tajo Ferrobamba*. Obtenido de <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/las-bambas-proyecta-un-gemelo-digital-para-el-tajo-ferrobamba/>
- TIMining. (2022). *Digital Twins*. Obtenido de https://www.timining.com/es/technology/digital_twin/
- Valentijn de Leeuw. (2019). *Creating And Deploying Digital Twins In The Process Industries*. Publicaciones ARC Advisory Group.
- Varas Chiquito, M., García Plua, J., Bustamante Chong, M., & Bustamante Chong, C. (2020). Gemelos digitales y su evolución en la industria. *Punlicaciones Saberes del Conocimiento*, 300-308.
- Wang, B., Liu, X., & Zhang, Y. (2022). *Internet of Things*. China: Publicaciones Springer.
- Winter, S. (5 de Noviembre de 2020). *Flutura ofrece gemelos digitales escalables para casos de uso industrial*. Obtenido de Verdantix: <https://www.verdantix.com/insights/blogs/flutura-delivers-scalable-digital-twins-for-industrial-use-cases>
- Zhang, Y. (8 de Abril de 2020). *Gemelo digital: una herramienta disruptiva para afrontar los retos actuales*. Obtenido de HATCH: <https://www.hatch.com/About-Us/Publications/Blogs/2020/04/Digital-twin-a-disruptive-tool-to-meet-todays-challenges?filter=%20on%20Hatch%20Digital%20Twin&blogListingPageUrl=https://www.hatch.com/About-Us/Publications/Blogs?filterItemId=%7BC4507919-254B-484>