



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE UN MODELO DE PROGRAMACIÓN DE MANTENIMIENTO USANDO SIMULACIÓN MONTECARLO PARA PRONOSTICAR LA DISPONIBILIDAD Y LUCRO CESANTE ASOCIADO A LA FLOTA DE PALAS EX5500 DE UNA EMPRESA MINERA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO INDUSTRIAL

**Autores:**

Bach. Sharon Lizeth Castillo Bazán

Bach. Dennis Renato Perez Villena

**Asesor:**

MBA. Ing. Mylena Karen Vilchez Torres

Cajamarca - Perú

2021

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. MÉTODO.....</b>	<b>11</b>
2.1 Clasificación de la investigación .....	11
2.2 Operacionalización de variables .....	19
2.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	21
2.4 Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	21
2.5 Aspectos ético .....	21
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 Diagnóstico de la información actual del programa de mantenimiento .....	23
3.2 Diseño del modelo mediante simulación montecarlo .....	29
3.2.3 Validación .....	40
3.3 Análisis de resultados .....	41
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
4.1 Discusión.....	43
4.2 Conclusión.....	44
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Tiempo de movimiento de la pala	14
Tabla N°2: Diseño Base	16
Tabla N°3: Variable Exogena	19
Tabla N°4: Variable Endogena	20
Tabla N°5: Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	21
Tabla N°6: Tiempo en que la máquina se encuentra inoperativa	22
Tabla N°7: Tiempo en que la máquina está operativa	22
Tabla N°8: Tiempo medio para reparar la flota de palas EX5500	23
Tabla N°9: Tiempo entre fallos de la flota de palas EX5500	23
Tabla N°10: Tiempo de parada de máquina	24
Tabla N°11: Disponibilidad de la flota de palas EX5500	25
Tabla N°12: Conversión de factor	26
Tabla N°13: Conversión de factor K	26
Tabla N°14: Conversión de factor E	26
Tabla N°15: Densidad	27
Tabla N°16: Familia de servicios por código	28
Tabla N°17: Familia de servicios por acción	29
Tabla N°18: Familia de servicios por acción	31
Tabla N°19: Frecuencia de servicios	32
Tabla N°20: Frecuencia de fallos de las palas	32
Tabla N°21: Prueba #1 simulación	33
Tabla N°22: Prueba #2 simulación	34
Tabla N°23: Prueba #3 simulación	35
Tabla N°24: Prueba #4	36
Tabla N°25: Prueba final	37
Tabla N°26: Tabla del error pronóstico	38
Tabla N°27: Tabla del error cuadrático medio	38
Tabla N°28: Tabla comparativa de resultados	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Tiempo medio para reparar de la flota de palas EX5500_____	23
Figura N°2: Tiempo medio entre fallos de la flota de palas EX5500_____	24
Figura N°3: Tiempo de parada de máquina_____	24
Figura N°4: Disponibilidad de la flota de palas EX5500_____	25

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	13
Ecuación 2	13
Ecuación 3	13
Ecuación 4	14
Ecuación 5	15
Ecuación 6	15
Ecuación 7	15
Ecuación 8	16
Ecuación 9	16
Ecuación 10	18
Ecuación 11	18

## RESUMEN

En las grandes minas, las palas hidráulicas EX5500, son equipos fundamentales debido al alto costo de capital, es por ello que es fundamental tener un buen programa de mantenimiento, la disponibilidad de estos equipos depende del correcto diseño del programa, utilizando herramientas adecuadas para garantizar la disponibilidad y la menor pérdida en lucro cesante. En esta investigación se diseñó un modelo de programa de mantenimiento usando Simulación Montecarlo para pronosticar la demanda y lucro cesante. Además, este nuevo diseño ayudó a poder pronosticar otros aspectos importantes dentro del mantenimiento, como es: tipo de servicios, número de pala, tiempo de reparación, entre otros posibles. El resultado más sobresaliente fue la elaboración eficaz del diseño del programa de mantenimiento mediante Simulación Montecarlo, y este logro pronosticó de una mejor manera la disponibilidad, así como también el lucro cesante de la empresa minera. Un aspecto importante es la validación de este diseño de programa de mantenimiento por medio del cálculo de un error cuadrático, siendo este 3.97%.

**Palabras clave:** Palas hidráulicas, Simulación Montecarlo, pronóstico

## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Magdiel Ablan, Marquez, Renny, Rivas, Yuraima, Molina, Ana, y Querales, José. 2011. «Una librería en R para validación de modelos de simulación».
- Pinedo Chapa, Joely Mireilli. 2018. «Propuesta de un modelo de pronósticos de demanda y gestión de inventarios para la planeación de demanda en prendas de vestir juvenil».
- Silva, Franco Jefferds dos Santos, Herbert Ricardo García Viana, y André Nasser Aquino Queiroz. 2016. «Availability Forecast of Mining Equipment». *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 22(4):418-32. doi: 10.1108/JQME-12-2015-0067.
- Taha, Hamdy A. 2012. *Investigación de operaciones*. México, D.F., México: Pearson Educación.
- Vílchez Torres, Mylena Karen, Marina Consuelo Villar Cabellos, Jimmy Frank Oblitas Cruz, Yvan Leonidas Peláez Villanueva, y Sara Rocío Rojas Cacho. 2020. «Enfoque Holístico en la Priorización de Componentes Críticos Reparables». en *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy". Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.
- Viveros, Pablo, Raúl Stegmaier, Fredy Kristjanpoller, Luis Barbera, y Adolfo Crespo. 2013. «Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo». *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería* 21(1):125-38. doi: 10.4067/S0718-33052013000100011.
- Escudero Chávez André. (2016). Propuesta de un programa maestro de mantenimiento preventivo para reducir los costos operativos en la empresa Productos Industriales del Cuero S.A.C. - Trujillo. Universidad Privada del Norte.
- Geraldine Cristina Salazar Hernández, J. C. P. V. (2017). Optimización del stock de componentes críticos, utilizando distribuciones de probabilidad para reducir costos e incrementar la disponibilidad de palas hidráulicas en minería. Universidad Privada del Norte.
- Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, P., & Fernández Collado, C. (2014). Metodología de la investigación. McGraw-Hill Interamericana.
- Sobral, J., & Guedes Soares, C. (2016). Preventive Maintenance of Critical Assets based on Degradation Mechanisms and Failure Forecast. IFAC-PapersOnLine, 49(28), 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.017>
- SPECIFICATIONS & APPLICATION HANDBOOK Edition 27*. (s. f.). 964.
- (N.d.). Buenaventura.Com. Retrieved October 21, 2021, from <https://www.buenaventura.com/assets/memoria-2018/es/assets/pdf/operaciones.pdf>



- Dirección y Gestión de Paradas de Planta - Predictiva21. (2020, February 3). Predictiva21.Com. <https://predictiva21.com/direccion-gestion-paradas-planta-pmi/>
- Franciosi, C., Lambiase, A., & Miranda, S. (2017). Sustainable Maintenance: A Periodic Preventive Maintenance Model with Sustainable Spare Parts Management. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 13692-13697. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.2536>
- Bülbül, P., Bayındır, Z. P., & Bakal, İ. S. (2019). Exact and heuristic approaches for joint maintenance and spare parts planning. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 239-250. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.032>