



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

**“ESTUDIO EXPERIMENTAL Y
MODELADO MEDIANTE REDES
NEURONALES PARA LA PREDICCIÓN DE LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL
CONCRETO $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, CAJAMARCA 2025”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Keyla Isamar Rojas Lopez

Lenin Omar Rojas Lopez

Asesor:

MCs. Ing. DENNIS EDINSSON ASENJO ALARCON

<https://orcid.org/0000-0003-1548-9788>

Cajamarca - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	SHEYLA YULIANA CORNEJO RODRIGUEZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	GONZALO HUGO DIAZ GARCIA
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	JUAN MIGUEL DE LA TORRE OSTOS
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 de 223 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: tm.cld-1:3454539202

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 16%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 223 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: tm.cld-1:3454539202

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	11
RESUMEN.....	12
ABSTRACT.....	13
NOMENCLATURA Y ABREVIATURAS.....	14
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Antecedentes.....	18
1.3. Bases teóricas.....	26
1.4. Formulación del problema.....	40
1.5. Objetivos.....	40
1.6. Hipótesis.....	41
1.7. Justificación.....	42
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	45
2.1. Tipo de investigación.....	45

2.2.	Nivel de investigación	45
2.3.	Diseño de investigación	46
2.4.	Población	47
2.5.	Muestra	48
2.6.	Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	50
2.7.	Análisis de Datos	65
2.8.	Aspectos Éticos	67
CAPÍTULO III: RESULTADOS		69
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN		143
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		155
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES		158
REFERENCIAS		160
ANEXOS		160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Distribución de probetas por edad y resistencia de diseño.</i>	49
Tabla 2	<i>Propiedades Físicas y Químicas del Cemento SOL (Cemento Sol)</i>	55
Tabla 3	<i>Datos obtenidos del repositorio UPN.</i>	69
Tabla 4	<i>Resistencias f_c esperadas por edad, para probetas.</i>	73
Tabla 5	<i>Número de datos utilizados para la red neuronal artificial</i>	74
Tabla 6	<i>Datos de entrada para ser integrados a la RNA.</i>	75
Tabla 7	<i>Resumen estadística de las variables</i>	96
Tabla 8	<i>Métricas de desempeño de los modelos de aprendizaje automático evaluados.</i>	99
Tabla 9	<i>Datos de la configuración óptima seleccionada</i>	101
Tabla 10	<i>Precisión del modelo de Red Neuronal (MLP) según la edad de curado.</i>	102
Tabla 11	<i>Contenido de humedad del Agregado fino.</i>	109
Tabla 12	<i>Contenido de humedad del Agregado grueso.</i>	111
Tabla 13	<i>Granulometría del Agregado fino.</i>	112
Tabla 14	<i>Granulometría del Agregado grueso.</i>	113
Tabla 15	<i>Peso específico y absorción del Agregado fino.</i>	115
Tabla 16	<i>Peso específico y absorción del Agregado grueso.</i>	116
Tabla 17	<i>Peso unitario del Agregado fino.</i>	118
Tabla 18	<i>Peso unitario del Agregado grueso.</i>	119
Tabla 19	<i>Diseño de mezcla de 210 kg/cm².</i>	120

Tabla 20 <i>Diseño de mezcla de 210 kg/cm².</i>	121
Tabla 21 <i>Carga máxima de probetas a los 7 días – 210 kg/cm².</i>	122
Tabla 22 <i>Carga máxima de probetas a los 14 días – 210 kg/cm².</i>	124
Tabla 23 <i>Carga máxima de probetas a los 28 días – 210 kg/cm².</i>	125
Tabla 24 <i>Resistencia a la compresión de probetas a los 7 días para 210 kg/cm².</i>	126
Tabla 25 <i>Resistencia a la compresión de probetas a los 14 días para 210 kg/cm².</i>	128
Tabla 26 <i>Resistencia a la compresión de probetas a los 28 días para 210 kg/cm².</i>	129
Tabla 27 <i>Resistencia a la compresión de probetas a los 7 día.</i>	130
Tabla 28 <i>Resistencia a la compresión de probetas a los 14 día.</i>	133
Tabla 29 <i>Resistencia a la compresión de probetas a los 28 día.</i>	135
Tabla 30 <i>Valores promedio f'_c real y f'_c pronosticada para 210 kg/cm².</i>	138
Tabla 31 <i>Comparativa de errores MAPE entre datos experimentales y conjunto de prueba para $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.</i>	140
Tabla 32 <i>Métricas de desempeño estadístico del modelo experimental.</i>	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Neurona y conexiones.</i>	34
Figura 2 <i>Neurona artificial de múltiples entradas.</i>	36
Figura 3 <i>Flujograma del modelo teórico.</i>	40
Figura 4 <i>Tipo I, Cemento Portland de uso general (Cemento Sol)</i>	54
Figura 5 <i>Flujograma de la metodología.</i>	64
Figura 6 <i>Fichas utilizadas para la recolección de datos.</i>	72
Figura 7 <i>Análisis de importancia de las variables de entrada en el modelo de Red Neuronal</i>	97
Figura 8 <i>Histograma de las variables de entrada utilizadas en la Red Neuronal Artificial (RNA).</i>	104
Figura 9 <i>Gráfico de cajas y bigotes por cantidad de días para un f_c de 210 kg/cm².</i>	105
Figura 10 <i>Gráfico de dispersión correspondiente a la etapa de entrenamiento.</i>	106
Figura 11 <i>Gráfico de Bland-Altman para la validación de concordancia entre f_c Real y f_c Predicho.</i>	108
Figura 12 <i>Análisis de la comparación entre el f_c real y el f_c pronosticado para concreto con $f_c=210$ kg/cm² a los 7 días.</i>	132
Figura 13 <i>Análisis de la comparación entre el f_c real y el f_c pronosticado para concreto con $f_c=210$ kg/cm² a los 14 días.</i>	134
Figura 14 <i>Análisis de la comparación entre el f_c real y el f_c pronosticado para concreto con $f_c=210$ kg/cm² a los 28 días.</i>	137
Figura 15 <i>Gráfico de f_c real vs f_c pronosticada para 210 kg/cm².</i>	139

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>La ecuación del coeficiente de determinación</i>	37
Ecuación 2 <i>La ecuación del coeficiente de correlación de Pearson</i>	37
Ecuación 3 <i>La ecuación del error cuadrático medio</i>	38
Ecuación 4 <i>Fórmula para poblaciones infinitas</i>	48
Ecuación 5 <i>Contenido de Humedad</i>	60
Ecuación 6 <i>Módulo de finura del agregado fino</i>	60
Ecuación 7 <i>Módulo de finura del agregado grueso</i>	60
Ecuación 8 <i>Peso específico de masa.AF</i>	61
Ecuación 9 <i>Absorción.AF</i>	61
Ecuación 10 <i>Peso específico de masa AG</i>	61
Ecuación 11 <i>Absorción AG</i>	61
Ecuación 12 <i>Peso unitario compactado y suelto</i>	61
Ecuación 13 <i>Peso unitario compactado y suelto</i>	61
Ecuación 14 <i>Contenido de vacíos</i>	62
Ecuación 15 <i>Carga máxima</i>	63

RESUMEN

La investigación abordó la optimización en la predicción de la resistencia a la compresión del concreto en Cajamarca, donde la variabilidad de agregados locales desafía los métodos convencionales. El objetivo fue determinar la precisión de un modelo de Red Neuronal Artificial (RNA) para estimar la resistencia $f_c = 210$ kg/cm². La metodología, de enfoque cuantitativo-aplicativo, empleó una fase documental con 730 registros depurados para entrenamiento y una fase experimental con 45 probetas para validación externa. El modelo se implementó en Python mediante el algoritmo MLPRegressor (dos capas ocultas, función ReLU y optimizador LBFGS).

Los resultados mostraron un R^2 de 0.9191 en entrenamiento y 0.9028 en prueba, con un RMSE de 13.64 kg/cm². En la validación experimental física, el desempeño se optimizó alcanzando un R^2 de 0.9207 y un RMSE de 6.47 kg/cm², con un MAPE de apenas 1.11% a los 28 días. La prueba de Wilcoxon ($p > 0.05$) confirmó la ausencia de diferencias significativas entre valores reales y predichos. Se concluye que la RNA es una herramienta robusta y de alta precisión para el control de calidad no destructivo en la región, permitiendo una toma de decisiones técnica basada en materiales locales.

PALABRAS CLAVES: Redes Neuronales, Resistencia a la compresión del concreto, Predicción, Ingeniería Civil, Inteligencia Artificial.

ABSTRACT

This research addresses the necessity of enhancing precision in predicting concrete compressive strength in Cajamarca, where quality control and mix design are fundamental. The main objective was to determine the predictive accuracy of an Artificial Neural Network (ANN) model to estimate the compressive strength of $f_c = 210$ kg/cm² concrete.

The methodology employed a quantitative-applied approach, structured into documentary and experimental phases. A historical database of 1012 local records was collected, which, following a data cleaning process, was reduced to 730 data points for training and testing. Additionally, 45 concrete specimens were prepared for external validation. The model was implemented in Python using the MLPRegressor algorithm, configured with two hidden layers, the ReLU activation function, and the LBFGS optimizer.

Results indicated that the model achieved an R^2 of 0.9191 in cross-validation and 0.9028 in the test set, with an RMSE of 13.64 kg/cm² and a MAPE of 4.86%. The Wilcoxon test demonstrated no significant differences between actual and predicted values. It is concluded that the ANN is a robust and accurate tool for concrete quality control in Cajamarca.

KEYWORDS: Neural Networks, Concrete compressive strength, Prediction, Civil Engineering, Artificial Intelligence.

NOTA

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto** por determinación de los propios autores, en concordancia con en el Texto Integrado del Reglamento RENATI (artículo 12), la Directiva N°048-2020-CONCYTEC-P que regula el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto (ALICIA) administrado por el pliego Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC y la Ley N° 29733, Ley de Protección de Datos Personales.

REFERENCIAS

- Acevedo, E., Serna, A., & Serna, E. (2017). Principios y características de las redes neuronales artificiales. *En Desarrollo e innovación en ingeniería* (pp. 173–182). Instituto Antioqueño de Investigación.
https://www.researchgate.net/publication/331498946_Principios_y_caracteristicas_de_las_redes_neuronales_artificiales
- Álvarez, L. (2018). *Manual de prácticas laboratorio de mecánica de materiales*. Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM.
<https://ingenieria.acatlan.unam.mx/media/vinculos/2018/11/MECANICA%20DE%20MATERIALES.pdf>
- Arias, J., Villasís, M. A., & Miranda, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), 201–206.
<https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Aristizábal, C. D., & Intor, K. A. (2023). *Predicción de la resistencia a la compresión de concreto de 210 Kg/cm² y 175 Kg/cm² con redes neuronales artificiales, Cajamarca 2022* [Tesis de título profesional, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33741>
- Asenjo Alarcón, D. E. (2019). *Influencia de la incorporación del aditivo bacteriano en la reparación del proceso de fisuración controlada del concreto* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3243>

- ASTM International. (2023). *ASTM C39/C39M-23: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*.
https://store.astm.org/c0039_c0039m-23.html
- B K A, M. A. R., Ngamkhanong, C., Wu, Y., & Kaewunruen, S. (2021). Recycled aggregates concrete compressive strength prediction using artificial neural networks (ANNs). *Infrastructures*, 6(2), 17. <https://www.mdpi.com/2412-3811/6/2/17>
- Bachir, R., Sidi Mohammed, A., & Habib, T. (2018). Using artificial neural networks approach to estimate compressive strength for rubberized concrete. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(4), 858–865.
<https://pp.bme.hu/ci/article/view/11928/8035>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2024). *Cajamarca: Síntesis de actividad económica, enero 2024*.
<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/2024/sintesis-cajamarca-01-2024.pdf>
- Basha, S. M., & Rajput, D. S. (2019). Survey on evaluating the performance of machine learning algorithms: Past contributions and future roadmap. En A. K. Sangaiah (Ed.), *Deep learning and parallel computing environment for bioengineering systems* (pp. 153–164). Academic Press.
<https://www.sciencedirect.com/science/chapter/edited-volume/abs/pii/B9780128167182000166?via%3Dihub>
- Bernilla Rodriguez, D. H. (2024). *Predicción de la resistencia a la compresión del concreto usando redes neuronales artificiales* [Tesis de licenciatura,

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio de Tesis USAT.

<http://hdl.handle.net/20.500.12423/7506>

Cano, J. (2022). *Manual con asistencia multimedia y checklist sobre control y calidad para ensayos de compresión a concretos estructurales, en CSA ingeniería* [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/47143>

Castañeda, W. A. (2023). Redes neuronales artificiales: Una medición de aprendizajes de pronósticos como demanda potencial. *Revista Venezolana de Gerencia*, 28(101), 178–193.
https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212023000100051

Castro, J. J., Gómez, L. K., & Camargo, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140–174.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8728928.pdf>

Colegio de Ingenieros del Perú, & SENCICO. (2021). Norma E.060: Concreto armado. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI. (2005). *Norma Técnica Peruana NTP 334.009: Cementos. Cementos Portland. Requisitos* (2.^a ed.).

Cueto Baldeon, D. G. (2023). *Influencia de la adición de ceniza de carbón de madera*

reciclada en la resistencia a la compresión y tracción por compresión diametral

del concreto $f_c = 210$ kg/cm², Lima 2023 [Tesis de titulación, Universidad

Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.

<https://hdl.handle.net/11537/33314>

Díaz, M. (2017). *Uso de las redes neuronales artificiales en el modelado del ensayo de*

resistencia a compresión de concreto de construcción según la norma ASTM

C39/C39M [Tesis de titulación, Universidad Nacional de Cajamarca].

Repositorio Institucional UNC.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1020/TESIS%20REDES%20NEURONALES.pdf?sequence=1>

Flores, C. (2019). *Análisis granulométrico de los agregados*. Universidad Nacional del

Altiplano. [https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-altiplano-de-puno/tecnologia-del-procesamiento-de-la-informacion/analisis-granulometrico-de-los-agregados/15757442)

[altiplano-de-puno/tecnologia-del-procesamiento-de-la-informacion/analisis-](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-altiplano-de-puno/tecnologia-del-procesamiento-de-la-informacion/analisis-granulometrico-de-los-agregados/15757442)

[granulometrico-de-los-agregados/15757442](https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-altiplano-de-puno/tecnologia-del-procesamiento-de-la-informacion/analisis-granulometrico-de-los-agregados/15757442)

Gonzalez, C. (2018). *Análisis de la resistencia del concreto mediante redes neuronales*

haciendo uso del agregado de la cantera Santa Rosa Huancavelica [Tesis de

titulación, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio Institucional

UNH. [https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/f3e6159e-2001-4a84-bad9-](https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/f3e6159e-2001-4a84-bad9-3a1da0393008/download)

[3a1da0393008/download](https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/f3e6159e-2001-4a84-bad9-3a1da0393008/download)

Instituto Nacional de Calidad. (2015). *NTP 339.034: Concreto. Método de ensayo*

normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del

concreto en muestras cilíndricas (4.^a ed.).

Jaimes Estupiñan, D. F., García Caballero, J. J., & Rondón Peñaranda, J. (2020).

- Importancia del concreto en el campo de la construcción. Formación Estratégica, 2(1), 1–13. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18/14>
- Khademi, F., Jamal, S. M., Deshpande, N., & Londhe, S. (2016). Predicting strength of recycled aggregate concrete using Artificial Neural Network, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Multiple Linear Regression. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 355–369.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.09.003>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Resolución Directoral N° 18-2016-MTC/14*.
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E.060: Concreto Armado*.
- Molina Ramirez, A., & Sicha Pillaca, J. C. (2021). *Diseño estructural de viviendas de albañilería confinada mediante el uso de redes neuronales artificiales en distritos de Lima con perfil de suelo tipo SI* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655739/Molina_R_A.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Naderpour, H., Rafiean, A. H., & Fakharian, P. (2018). Compressive strength prediction of environmentally friendly concrete using artificial neural networks. *Journal of Building Engineering*, 19, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2018.01.007>
- Neira, P., Bennun, L., Pradena, M., & Gómez, J. (2020). Prediction of concrete

- compressive strength through artificial neural networks. *Građevinar*, 72(2), 103–111. <http://www.casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-72-2020-7-2-2438-EN.pdf>
- Pan, L., Wang, Y., Li, K., & Guo, X. (2023). Compressive strength prediction of green concrete using hybrid artificial neural network with genetic algorithm. *Structural Concrete*, 24(2), 2415–2429. <https://doi.org/10.1002/suco.202200034>
- Pineda Varón, A. (2020). Implementación de redes neuronales para estimar la resistencia a la compresión del concreto utilizando agregados reciclados y materiales cementantes suplementarios [Trabajo de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Escuela Colombiana de Ingeniería. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1192/Implementaci%C3%B3n%20de%20redes%20neuronales%20para%20estimar%20la%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20del%20concreto%20utilizando%20agregados%20reciclados%20y%20materiales%20cementantes%20suplementarios.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Ramos, C. A. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), 1–7. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7890336.pdf>
- Raschka, S., Patterson, J., & Nolet, C. (2020). Machine learning in Python: Main developments and technology trends in data science, machine learning, and artificial intelligence. *Information*, 11(4), 193. <https://doi.org/10.3390/info11040193>
- Sánchez, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación en Docencia*

Universitaria, 13(1), 101–122.

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-25162019000100008

Sarker, I. H. (2021). Deep learning: A comprehensive overview on techniques, taxonomy, applications and research directions. *SN Computer Science*, 2(6), 420. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00815-1>

Solís, R. G., & Alcocer, M. A. (2019). Durabilidad del concreto con agregados de alta absorción. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 20(4), 1–12. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432019000400003

Tran, V., Thai, D., & Nguyen, D. (2020). Practical artificial neural network tool for predicting axial compression capacity of circular concrete-filled steel tube columns with ultra-high strength concrete. *Thin-Walled Structures*, 151, 106720. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2020.106720>

Villegas, M. (2019). *Aplicación de redes neuronales para la predicción de la resistencia a la compresión del concreto según el ensayo de esclerometría* [Tesis de titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/626504>

Ying, X. (2019). An overview of overfitting and its solutions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1168(2), 022022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1168/2/022022>