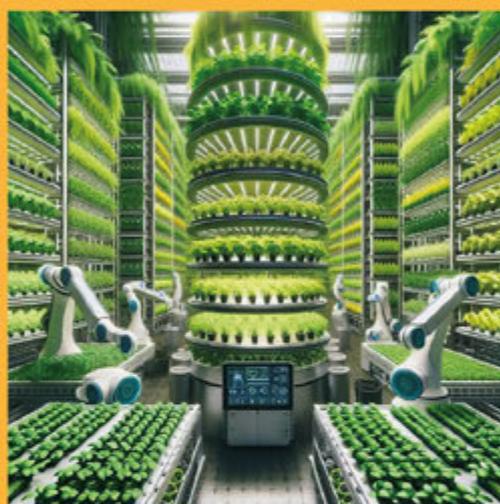


Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen I-N°1 Abril 2025

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Peru

Dr. Oscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Aplicación de Inteligencia Artificial para Mejorar la Calidad del Cemento

Sr. Jhonatan Onofre Orejon
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: jhonatan.onofre@unmsm.edu.pe

Sr. Alexis Gabriel Quispe Paccohuanca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo Electrónico: gabriel.quispe@unmsm.edu.pe

Resumen: La calidad del cemento es esencial para garantizar la resistencia y durabilidad de las estructuras, pero los métodos tradicionales de control presentan alta variabilidad debido a diferencias en materiales y procesos. Este estudio propone el uso de herramientas de inteligencia artificial (IA) como el aprendizaje automático y los gemelos digitales para optimizar el control de calidad. Estas tecnologías permiten monitorear y ajustar en tiempo real variables críticas del proceso de producción, asegurando una evaluación precisa de la composición química, la proporción agua-cemento y la resistencia del producto final. Los modelos predictivos impulsados por la IA no solo mejoran la consistencia del cemento, sino que también reducen costos, minimizan errores y promueven una producción más sostenible.

Palabras clave: Control de calidad / Cemento / Inteligencia Artificial / Herramientas de control / Concreto

Abstract: The quality of cement is essential to guarantee the strength and durability of structures, but traditional control methods present high variability due to differences in materials and processes. This study proposes the use of artificial intelligence (AI) tools such as machine learning and digital twins to optimize quality control. These technologies allow critical variables of the production process to be monitored and adjusted in real time, ensuring an accurate evaluation of the chemical composition, water-cement ratio and strength of the final product. AI-powered predictive models not only improve cement consistency, but also reduce costs, minimize errors and promote more sustainable production.

Keywords: Quality control / Cement / Artificial Intelligence / Control tools / Concrete

Résumé: La qualité du ciment est essentielle pour garantir la résistance et la durabilité des structures, mais les méthodes de contrôle traditionnelles présentent une grande variabilité en raison des différences de matériaux et de processus. Cette étude propose l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle (IA) tels que l'apprentissage automatique et les jumeaux numériques pour optimiser le contrôle qualité. Ces technologies permettent de surveiller et d'ajuster en temps réel les variables critiques du processus de production, garantissant une évaluation précise de la composition chimique, du rapport eau-ciment et de la résistance du produit final. Les modèles prédictifs basés sur

l'IA améliorent non seulement la consistance du ciment, mais réduisent également les coûts, minimisent les erreurs et favorisent une production plus durable.

Mots-clés: Contrôle qualité / Ciment / Intelligence artificielle / Outils de contrôle / Béton.

1. Introducción

La inteligencia artificial (IA) ha irrumpido en diversas industrias, incluida la del cemento y la construcción, ofreciendo nuevas oportunidades para optimizar procesos, mejorar la eficiencia y elevar los estándares de calidad. A continuación, abordaremos cómo se está utilizando la IA en la industria del cemento, su importancia en el control de calidad, las tecnologías y herramientas aplicadas, y el impacto que estas plataformas tienen en los procesos de fabricación y control.

La IA se refiere a sistemas computacionales capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana, como el análisis de datos, la toma de decisiones y el aprendizaje automático. En la industria del cemento y la construcción, la IA se está aplicando principalmente para automatizar procesos, mejorar la predicción de resultados y optimizar la producción y el uso de recursos.

Las empresas están utilizando IA para monitorear y predecir el desempeño de las plantas de producción de cemento, controlando variables críticas como la temperatura, la mezcla de materias primas y los tiempos de cocción. Además, la IA también se usa para la planificación de proyectos de construcción, optimizando el diseño estructural, reduciendo desperdicios y gestionando los tiempos de obra con mayor precisión.

El cemento es un material esencial en la construcción, y su calidad afecta directamente la durabilidad, resistencia y seguridad de las estructuras. Un control de calidad deficiente puede llevar a problemas como el agrietamiento, la disminución de la vida útil de los edificios y, en casos graves, colapsos estructurales.

Mejorar el control de calidad del cemento es fundamental para garantizar que las construcciones cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia. Un cemento de alta calidad asegura que las estructuras sean resistentes a las condiciones ambientales, tengan una mayor vida útil y requieran menos mantenimiento a largo plazo, lo que se traduce en ahorros tanto en costos como en riesgos de seguridad.

La IA ofrece una amplia gama de herramientas y tecnologías que se están utilizando para mejorar el análisis y el control de calidad en la industria del cemento:

- Aprendizaje automático (Machine Learning)
- Sistemas de visión por computadora
- Sensores inteligentes y análisis en tiempo real
- Gemelos digitales (Digital Twins)

El uso de plataformas de inteligencia artificial en la fabricación y control del cemento ha generado impactos significativos en la eficiencia y calidad de la producción. Entre los beneficios más destacables se incluyen:

- Optimización de la producción.
- Reducción de errores y mejora en la consistencia.
- Mantenimiento predictivo.
- Sostenibilidad y eficiencia energética.

Este trabajo de investigación es una revisión sistemática que procura dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cómo puede la inteligencia artificial mejorar el control de calidad del cemento a través de herramientas específicas?, la cual será reforzada a través de las siguientes preguntas específicas: ¿Conocer las inteligencias artificiales y cómo se está utilizando en la industria del cemento y construcción? ¿Por qué es importante mejorar el control de calidad del cemento en las construcciones? ¿Qué herramientas y tecnologías de inteligencia artificial se utilizan para el análisis y el control de calidad del cemento? ¿Cuál es el impacto de las plataformas de inteligencia artificial en los procesos de fabricación y control? Las respuestas a estas preguntas tendrán lugar con respaldo de otras investigaciones con similares aplicaciones y el uso de nuevas estrategias de desarrollo, así como nuevos modelos de negocios con el fin de fortalecer, innovar y mejorar el control de calidad en el proceso de fabricación de cemento.

2. Metodología

Esta metodología para la revisión literaria inicia con el planteamiento de la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las ventajas estratégicas que ofrece el control de calidad en la fabricación de cemento en Latinoamérica? Para dar respuesta a esta interrogante se iniciará con la aplicación de la metodología PICOC, donde cada uno de sus componentes nos permitirá encontrar palabras claves que posteriormente servirán para construir la ecuación.

Tabla N° 1: Identificación del acrónimo PICOC para la selección de palabras claves

Acrónimo	Descripción	Sector	Palabras Clave
P	Población	Industria cementera del Perú	Cemento portland
I	Intervención	Uso de las IA para el control	Inteligencia Artificial
C	Comparación	Control de calidad en otros países	Herramientas de control
O	Resultados	El mejoramiento en el control de calidad	control de calidad
C	Contexto	Uso del cemento para la construcción en el Perú	Construcción de concreto

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se escogen los criterios de elegibilidad con el fin de consolidar el contenido de la información recopilada. Dentro de los criterios de inclusión se consideró tipos de documentos como artículos y conference paper, para el rango de periodo de publicación desde el 2014 hasta la actualidad, ya que al ser un tema relativamente nuevo la literatura es reciente; asimismo, la mayoría de la búsqueda se realizó en inglés y en español de todos los tipos de disponibilidad.

Tabla N° 2: Criterios de elegibilidad para la formulación de ecuación de búsqueda

	Inclusión	Exclusión
Tipos de estudios	Artículos de estudios cuantitativos, cualitativos, observación con datos empíricos	Artículos de opinión, editoriales, resúmenes, libros, revistas no relevantes.
Fecha de publicación	Artículos con un máximo de 10 años de antigüedad	Artículos del 2014 hacia atrás
Idioma	Artículo en el idioma inglés o español	Artículos en otros idiomas que no sea inglés o español
Geografía	Sudamérica, EEUU, Germany, Japan Sweden, Sudáfrica	Artículos que no esten en la geografía seleccionada
Acceso	Open access	Artículos que no proporcionen el texto completo
Duplicación de datos	Artículos que aporten nuevas herramientas o sean relevantes en los resultados obtenidos	Artículos que tengan datos duplicados que se usaron de artículos anteriores y que no aporten análisis importantes

Fuente: Elaboración propia

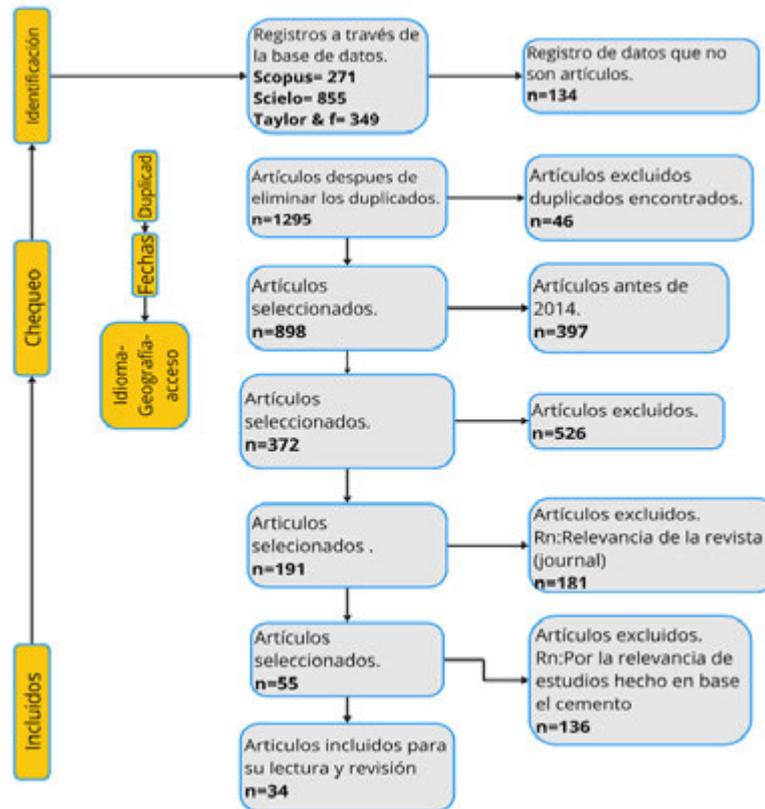
La información de la Tabla 2 sirvió para estructurar la ecuación de búsqueda, en la cual se incluyeron 15 palabras claves, cada una de ellas acompañada de comillas para una búsqueda literal de los términos deseados. Se utilizó el operador AND para realizar una intersección y OR para realizar una exclusión, por lo cual se obtuvieron 259 publicaciones de las dos bases de datos que más adelante serán reducidos al pasar el proceso de filtración correspondiente. A continuación, en la Tabla 3 se aprecian las ecuaciones que fueron utilizadas en ambas bases de datos, además de los resultados obtenidos.

Tabla N° 3: Búsqueda de ecuación elaborada a partir de palabras claves y criterios de elegibilidad

	Palabras clave	Exclusión
SCOPUS	Cemento, Inteligencia Artificial, Herramientas de control, control de calidad, Construcción de concreto	[All: "concrete construction" "quality control" "control tool"] AND [All: "artificial intelligence"] AND [All: "cement"] AND [Article Type: Article] AND [in Journal: Cogent Engineering] AND [Publication Date: (01/01/2014 TO 12/31/2024)]
SCIELO	Cemento, Inteligencia Artificial, Herramientas de control, control de calidad, Construcción de concreto	(cement) OR (concrete construction) AND (quality control) OR (control tool) AND is_citable:("is_true") AND type:("research-article") AND year_cluster:("2019" OR "2021" OR "2018" OR "2022" OR "2017" OR "2020" OR "2024" OR "2023")
TAYLOR & FRANCIS	Cemento, Inteligencia Artificial, Herramientas de control, control de calidad, Construcción de concreto	("Cement" OR "Concrete construction") AND ("Artificial intelligence" OR "AI") AND ("Control tool" OR "Quality control")

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1 se explica el diagrama de filtración y selección de artículos siguiendo la metodología Prisma, donde se registró inicialmente 1295 documentos, 528 eliminados por criterios de exclusión e inclusión definidos anteriormente. Posteriormente, se eliminan 80 por resumen, 82 por contenido, quedando finalmente 62 artículos.

Figura N° 1: Diagrama de filtrado de publicaciones siguiendo la metodología PRISMA

Fuente: Elaboración propia

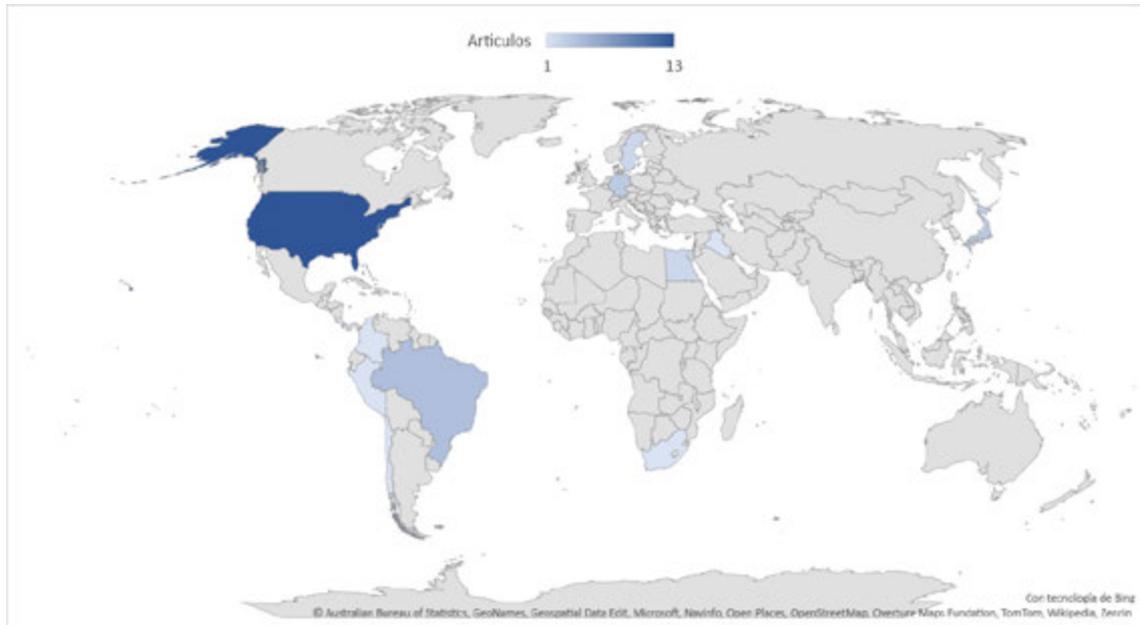
En la Tabla 4, se puede apreciar toda la información recopilada y organizada por autor, título, año de publicación y aporte. Se han enlistado los 14 artículos que serán utilizados en la construcción del trabajo de investigación.

Tabla N.º 4: Descripción de Artículos, título y año

N	Título	Año
1	Percussion-drill method for casting concrete cube samples to assess the characteristics of pre-cast zero-slump concrete	2024
2	Experimental Study of the Semicircular Bending Test for Estimating the Flexural Strength of Concrete Mixtures for Pavements	2024
3	Quality control tests of fresh 3D printable cement-based materials D cementbased cement based	2024
4	The Effect of Casein Phosphopeptide-Amorphous Calcium Phosphate Containing Bonding Agents on Dentin Shear Bond Strength and Remineralization Potential: An in Vitro Study PhosphopeptideAmorphous Phosphopeptide Amorphous Potential	2024
5	Influência da energia de mistura e do pré-cisalhamento na caracterização reológica de pastas de cimento	2022
6	Resilient Module Soil-Cement Prediction based on Setting Temperature	2020
7	Quantitative image of fluorescence of ceramic and resin-cement veneers	2019
8	Análisis comparativo de mezclas suelo cemento modificadas con materiales no biodegradables. Metodología de la portland cement association	2017
9	Prediction of concrete compressive strength using deep neural networks based on hyperparameter optimization	2024
10	A validation model to reduce non-contributory time based on Lean tools: Case of a construction company in Perú	2023
11	Multiple AI predictive models for compressive strength of recycled aggregate concrete	2024
12	Sustainability-driven model for predicting compressive strength in concrete structures	2024
13	Machine learning prediction and optimization of compressive strength for blended concrete by applying ANN and genetic algorithm	2024
14	Experimental thermophysical dependent mechanical analysis of earth bricks with <i>Canarium schweinfurthii</i> and <i>Cocos nucifera</i> bio-aggregates - A case study in Cameroon	2023
15	Dynamics of Strength Gain in Sandy Soil Stabilised with Mixed Binders Evaluated by Elastic P-Waves during Compressive Loading	2022
16	DEEP CONCRETE FLOW: Deep learning based characterisation of fresh concrete properties from open-channel flow using spatio-temporal flow fields	2024
17	Quality Control of Cement Clinker through Operating Condition Classification and Free Calcium Oxide Content Prediction	2024
18	Advances in imaging, scattering, spectroscopy, and machine learning-aided approaches for multiscale characterization of cementitious systems	2023
19	Modeling operational cement rotary kiln variables with explainable artificial intelligence methods—a “conscious lab” development	2023
20	Valorization of wasted-derived biochar in ultra-high-performance concrete (UHPC): pretreatment, characterization, and environmental benefits	2023
21	Modeling of closed-circuit ball milling of cement clinker via a PBM with a variable Tromp curve for classification	2023
22	An intelligent sensing system for estimation of efficiency of carbon-capturing unit in a cement plant	2022

23	Regional heterogeneity of sustainable wastewater sludge management in China	2024
24	Prediction of asphalt concrete flexibility index and rut depth utilising deep learning and Monte Carlo Dropout simulation	2023
25	Determination of water permeability for a moisture transport model with minimized batch effect	2018
26	Improved prediction accuracy for compressive strength of recycled aggregate concrete using optimization-based algorithms and cascade forward neural network	2024
27	Cement-based composites containing functionalized carbon fibers	2018
28	Alternative Fuels Substitution in Cement Industries for Improved Energy Efficiency and Sustainability	2023
29	Valorization of Vetiver Root Biochar in Eco-Friendly Reinforced Concrete: Mechanical, Economic, and Environmental Performance	2023
30	Association between lower-level of environmental lead exposure and reactive and proactive aggression in youth: Sex differences	2022
31	Using fiber and liquid polymer to improve the behaviour of cement-stabilized soft clay	2017
32	A Semantic Digital Twin for the Dynamic Scheduling of Industry 4.0-based Production of Pre-cast Concrete Elements	2024
33	Multivariate regression model for peak temperatures in massive elements statistically verified by artificial neural networks	2022
34	A machine learning approach for clinker quality prediction and nonlinear model predictive control design for a rotary cement kiln	2022

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2: Mapa coroplético de los artículos seleccionados

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2 se muestra que los artículos seleccionados tienen mayor presencia en Norteamérica, que nos daría mayores investigaciones en esa parte para poder investigar y realizar revisión sistemática de literatura (RLS) para obtener mejores resultados en el uso de inteligencia artificial en la calidad del cemento.

3. Resultados

a) Uso de la inteligencia artificial en la industria de construcción

La implementación de la inteligencia artificial (IA) en la industria de la construcción ha generado avances significativos en múltiples áreas, mejorando la eficiencia, sostenibilidad y precisión de los procesos. A partir de los estudios analizados, la inteligencia artificial ayuda en gran medida la gestión y planificación de proyectos, algunas medidas usadas son la planificación y pruebas de control de algunos materiales como los usados por Doerner g. (2024) el cual aplica un control de calidad en materiales cementicios en 3D bajo la supervisión por IA para garantizar su consistencia y precisión.

Igualmente el uso en el diseño y modelado inteligente para crear múltiples opciones de diseño está basado según los costos establecidos, la sostenibilidad y la estética a la cual se busca llegar. Un ejemplo de este diseño son los modelos de aprendizaje profundo y la simulación de Monte Carlo que predice propiedades clave del concreto asfáltico, para mejorar el índice de flexibilidad. Otro enfoque estudiado por Kosse S. (2024) usa la IA para la identificación de rutas sostenibles en el proceso de fabricación del cemento, priorizando en su mayoría el uso de combustibles alternativos.

El monitoreo y análisis en tiempo real se vuelve tedioso para la mayoría de trabajadores, la implementación de la IA en este campo ofrece detectar problemas estructurales gracias a la vigilancia de esta y su continuo monitoreo durante el progreso del proyecto, además de encargarse de la supervisión de los equipos y máquinas para la detección de fallos o la programación de mantenimiento preventivos en fin de mejorar la vida útil de estos.

En la predicción y gestión de riesgos se usan algoritmos que analizan ciertos comportamientos peligrosos o áreas de alto riesgo en tiempo real, así como la simulación dinámica basada en modelos PBM ((Population Balance Model) integran IA para evitar sobrecargas en circuitos de molienda en plantas de cemento como es investigado por Beguedou E. (2023).

Como último uso es la automatización de procesos de construcción; esto haciendo uso de máquinas autónomas para tareas diversas como ladrillar, colocar concreto y realizar demoliciones. Además hay sistemas inteligentes que monitorean la eficiencia de unidades de captura de carbono en plantas de cemento, optimizando parámetros operativos críticos como la temperatura y la presión deseada.

b) Mejora del control de calidad del cemento en las construcciones

Como mejora principal tenemos al control de la calidad de las materias primas usadas para la fabricación del cemento, ejemplo de ello es el uso de la fluorescencia de rayos X (XRF) para determinar la composición química, asegurando niveles adecuados de CaO , SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . Lo cual asegura una composición adecuada que permite una mejoría en la mezcla. Además Doerner R. (2024) desarrolla pruebas específicas para cementos impredecibles en 3D, asegurando consistencia en la resistencia y la fluidez de estos; mostrando una visión donde podemos crear la propia materia prima como base para la fabricación de cemento de mejor calidad. También los investigadores Du J. (2023) y Neve S. (2023) son partícipes del uso de materiales sostenibles como es el bio-carbón derivado de residuos en mezclas de cemento, mejorando su desempeño ambiental y mecánico; lo cual lo hace un material que ayuda en la sostenibilidad y la calidad del cemento.

Otra mejora significativa es en el control durante la molienda siendo este un proceso crucial para la fabricación del cemento; ya que se buscará la finura del acabado del cemento para su futuro uso para esto Muanpaopong N. (2023) emplea el Population Balance Model (PBM) con curvas Tromp variables para mejorar la eficiencia de la molienda y garantizar la granulometría uniforme.

Los modelos Predictivos y aprendizaje automático ayudan a la mejora de la predicción de la resistencia a la compresión del concreto, según los investigadores Ahmad T. (2024) y Andrade Valle A. I. (2024) utilizaron modelos de aprendizaje automático como Random Forest y redes neuronales para estimar la resistencia del concreto antes de realizar ensayos físicos. Esto ayuda a la reducción de costos y optimiza los tiempos de

producción, además usan las redes neuronales para aumentar la precisión en mezclas con áridos reciclados,

Como última mejora tenemos a la innovación digital, Kosse S. (2024) hace uso de gemelos digitales en la programación dinámica en la producción del concreto prefabricado, esto logrando reducir errores durante los diversos procesos para la fabricación de estos y minimizando los tiempos de respuesta para solventar estos errores lo cual genera mejores resultados. Así mismo el uso para el monitoreo en tiempo real se ha vuelto crucial por lo cual Lyu X. implementa un sistema de clasificación operativa que detecta las desviaciones en el contenido de óxido de calcio libre, lo cual es ajustado para lograr estar dentro de los parámetros establecidos de manera automática.

c) Herramientas tecnológicas de IA para la calidad del cemento

Las herramientas tecnológicas basadas en inteligencia artificial (IA) están transformando la calidad del cemento al optimizar el control y la precisión en sus procesos de producción. Modelos predictivos, como redes neuronales y algoritmos de aprendizaje automático, se aplican en la supervisión de variables operativas en hornos rotatorios, logrando un ajuste continuo de condiciones como temperatura, flujo de gases y composición del clínker.

En la Tabla 5 las herramientas son fundamentales para mejorar la calidad del cemento por ello según Ali, Tabares y McGinley (2022), "el enfoque de aprendizaje automático desarrollado "utiliza el algoritmo XGBoost para predecir el contenido de f-CaO en el clínker bajo condiciones operativas normales mientras que ResNet50 permite "la clasificación de imágenes térmicas en tiempo real para monitorear las condiciones de operación del horno" y asegurar la estabilidad y calidad en la producción del clínker. Hoy en día las herramientas se mejoran simplificando procesos y reduciendo errores.

Tabla N° 5: Herramientas donde se pueden aplicar Inteligencia Artificial

Herramienta	Función	Descripción
Redes Neuronales Artificiales (ANN)	Predicción de resistencia a la compresión	Modelos de ANN entrenados con algoritmos como Backpropagation, Gradually Reduce el Gradiente y Algoritmos Genéticos.
Programación Genética (GP)	Optimización y predicción	Algoritmo de evolución para resolver problemas de regresión y optimización en concreto.
Regresión Polinómica Evolutiva (EPR)	Predicción de resistencia	Método de regresión optimizado con algoritmos genéticos para mejorar la precisión de predicción.
Modelo de Hidratación del Cemento	Ajuste de propiedades del cemento	Considera la composición química y tasa de hidratación del cemento para mejorar la predicción de resistencia.
Modelo de Densidad de Empaque	Evaluación de densidad de agregados	Determina la densidad óptima de los agregados, reduciendo la porosidad.
Modelo de Relación Agua-Cemento	Control de poros capilares	Ajusta la resistencia en función de la cantidad de poros capilares y de aire en el concreto.
Incorporación de Microsílice	Mejora de resistencia y sostenibilidad	Uso de microsílíce como reemplazo parcial del cemento para aumentar la sostenibilidad del concreto.
Perceptrón Multicapa (MLP)	Predicción de conductividad térmica	Red neuronal para predecir la conductividad térmica del concreto según su composición y densidad.
Red Generativa Antagónica (GAN)	Generación de datos sintéticos	Genera datos sintéticos para mejorar el conjunto de datos de entrenamiento y evitar el sobreajuste.
XG Boost	Predicción de la calidad del clínker	Algoritmo supervisado utilizado para predecir el contenido de óxido de calcio libre (f-CaO) en el clínker bajo condiciones operativas controladas.
Red Neuronal ResNet50	Clasificación de condiciones operativas	Clasificación de imágenes térmicas en tiempo real para monitorear condiciones operativas normales y anómalas en el horno rotatorio.

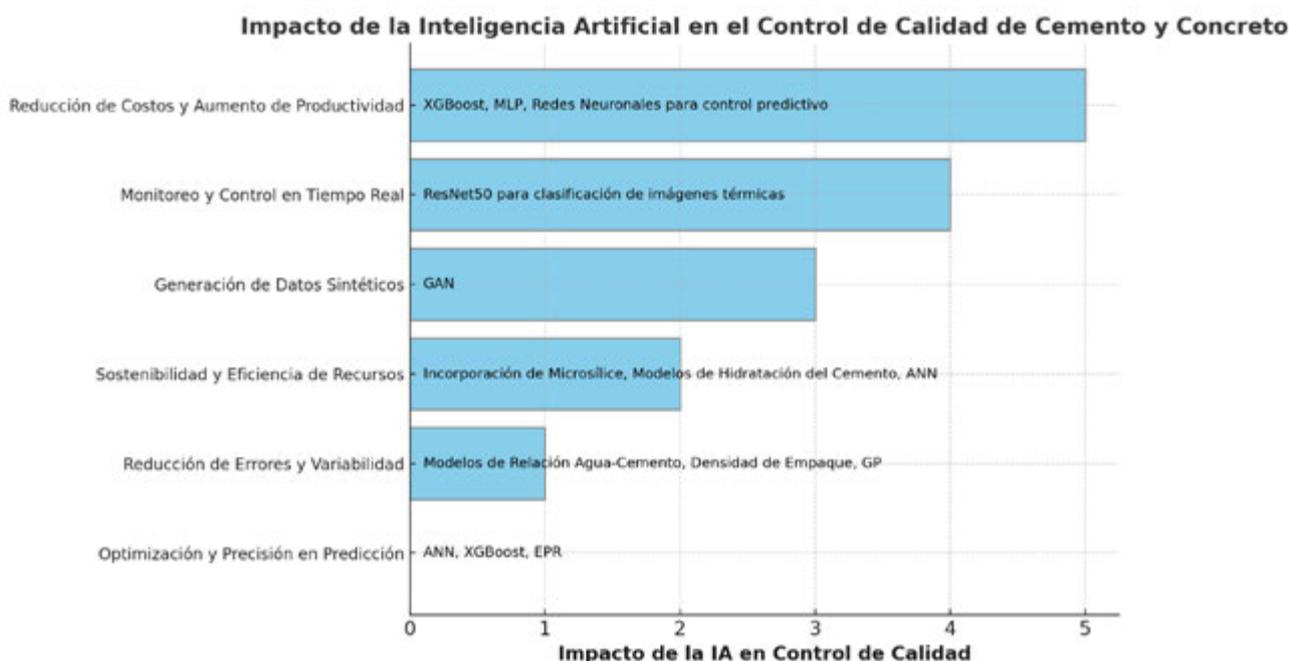
Fuente: Elaboración propia

Estos modelos permiten detectar y corregir anomalías en tiempo real, asegurando la consistencia en la calidad del cemento y reduciendo el consumo de energía. Herramientas de simulación avanzadas, integradas con IA, son cada vez más empleadas para predecir la resistencia y durabilidad del cemento, promoviendo tanto la eficiencia como la sostenibilidad en la industria cementera.

d) Impactos de plataformas de IA para el control de Calidad

Las plataformas de inteligencia artificial para el control de calidad en la industria del cemento han revolucionado la gestión de producción mediante la integración de modelos predictivos y análisis en tiempo real. Estas plataformas permiten monitorear variables críticas, como la composición química y las propiedades físicas del cemento, optimizando la precisión y reduciendo el margen de error en la producción.

Figura N° 3: Impacto de la IA en el control de calidad del cemento.



Fuente: Elaboración propia

La Figura 2 muestra cómo la inteligencia artificial (IA) influye positivamente en el control de calidad en la industria del cemento y el concreto, destacando áreas clave como la precisión en la predicción de propiedades, la reducción de errores y variabilidad, la sostenibilidad, la generación de datos sintéticos, el monitoreo en tiempo real y la reducción de costos. Cada una de estas áreas incorpora herramientas de IA específicas, como redes neuronales, XGBoost, modelos de densidad de empaque y redes generativas adversarias, que optimizan los procesos, aumentan la eficiencia y mejoran la consistencia del producto. En general, el gráfico ilustra cómo la IA no sólo aumenta la calidad del producto final, sino que también contribuye a un proceso de producción más sostenible y rentable.

4. Discusión

a) Primera

Aplicaciones de inteligencia artificial (IA) en el control de calidad:

- Artículos como los de Ahmad et al. (2024) y Ali et al. (2022) demuestran que los modelos de IA, como los bosques aleatorios y redes neuronales, están transformando el proceso de predicción de la resistencia del concreto y la calidad del clinker. Estas herramientas mejoran la precisión, reducen costos y minimizan el margen de error en el diseño y fabricación de materiales.

Modelos predictivos en mezcla y diseño de concreto:

- Andrade Valle et al. (2024) desarrollan modelos predictivos basados en IA para concretos con componentes sostenibles, destacando cómo estas herramientas permiten optimizar composiciones bio-basadas sin comprometer la resistencia mecánica.

Gestión operativa en plantas de cemento:

- Fatahi et al. (2023) y Kosse et al. (2024) aplican sistemas de IA para crear "gemelos digitales" y algoritmos explicables que mejoran la programación de producción en la industria de prefabricados. Esto fomenta el monitoreo en tiempo real y la toma de decisiones basadas en datos.

Innovaciones en propiedades térmicas y mecánicas:

- Estudios como los de Coenen et al. (2024) y Punitha et al. (2024) utilizan aprendizaje profundo para caracterizar materiales en propiedades térmicas y de flujo, mostrando que la IA puede abordar problemas complejos y multiescala en la construcción.

b) Segunda

Sostenibilidad e IA:

- Neve et al. (2023) y Du et al. (2023) integran IA para evaluar el impacto ambiental de la sustitución de materiales tradicionales por opciones sostenibles como biocarbón, enfatizando su importancia para la transición hacia una industria más verde.

Aseguramiento de la resistencia y durabilidad:

- Alexander et al. (2024) destacan la importancia de validar la resistencia del concreto en condiciones específicas (e.g., concreto de asentamiento cero), asegurando que las estructuras cumplan con los estándares de seguridad.

Reducción de riesgos estructurales:

- Doerner et al. (2024) abordan pruebas de calidad en materiales imprimibles en 3D, resaltando cómo el control de calidad asegura consistencia en propiedades mecánicas y reduce el riesgo de fallas durante y después de la construcción.

Optimización del uso de recursos:

- Lyu et al. (2024) y Muanpaopong et al. (2023) subrayan cómo el control de calidad eficiente minimiza el desperdicio en procesos como la molienda de clínker y previene problemas asociados con propiedades indeseadas del cemento, como el contenido excesivo de óxido de calcio libre.

Adaptación a materiales sostenibles:

- Beguedou et al. (2023) y Kharseh & Moutassem (2024) señalan que el uso de combustibles alternativos o agregados reciclados requiere controles más rigurosos para garantizar que las propiedades mecánicas y químicas del cemento no se vean comprometidas.

Mejoras en el desempeño a altas temperaturas:

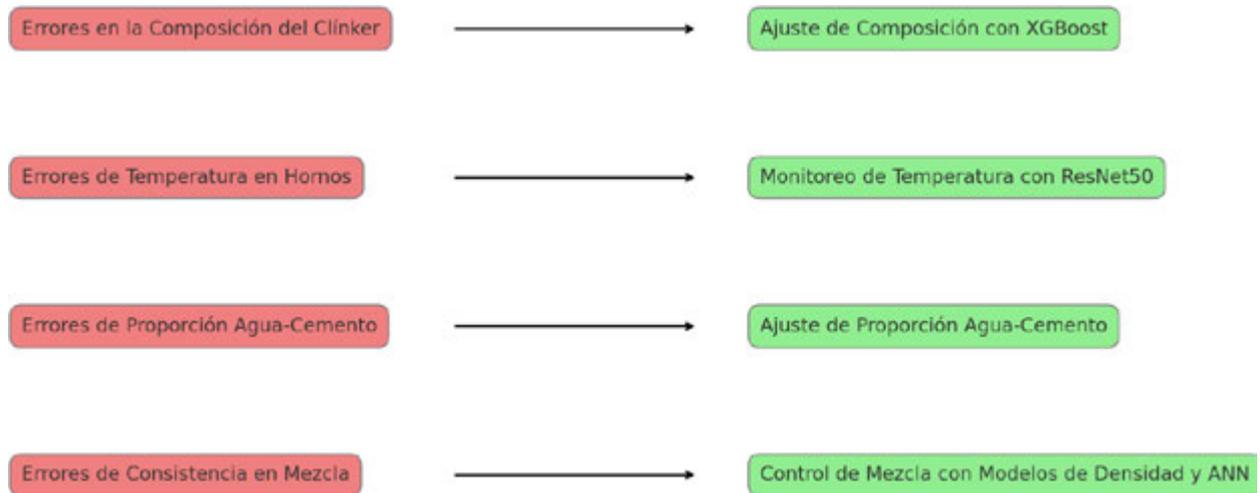
- Messan et al. (2023) exploran cómo las propiedades termomecánicas de los concretos pueden verse afectadas por condiciones extremas, enfatizando que el control de calidad permite prever fallas y adaptar mezclas para estas condiciones.

Impacto en proyectos grandes y complejos:

- Alvarez et al. (2023) destacan que un control de calidad estricto reduce tiempos improductivos y retrabajos en proyectos de construcción, optimizando costos y cronogramas.

c) Tercera

El uso de herramientas de inteligencia artificial (IA) en el control de calidad del cemento representa un avance significativo en la capacidad de la industria para asegurar productos más consistentes y eficientes y modelos como redes neuronales y algoritmos como XGBoost y ResNet50 no solo permite la predicción precisa de propiedades clave, como la resistencia y la composición del clínker, sino que también facilita una supervisión continua en tiempo real de variables operativas críticas. Esta capacidad para monitorear y ajustar condiciones operativas en los hornos rotatorios, como la temperatura y el flujo de gases, es fundamental para mantener la estabilidad de la producción, reducir variaciones en la calidad del cemento y optimizar el consumo de recursos

Figura N° 4: Atributo del cemento y herramienta que aplican.

Fuente: Elaboración propia

d) Cuarta

El impacto de la IA para mejorar la calidad mediante la predicción y corrección de desviaciones en tiempo real representa una ventaja competitiva importante. Sin embargo, su implementación también implica desafíos, como la necesidad de un entrenamiento adecuado de los modelos para evitar el sobreajuste y asegurar que las predicciones sean aplicables en diversas condiciones operativas; y a medida que estas tecnologías se desarrollan, será crucial evaluar su aplicabilidad y adaptabilidad a largo plazo en distintos entornos de producción, así como su contribución a la reducción del impacto ambiental en la industria del cemento.

5. Conclusiones

La inteligencia artificial (IA) está transformando hoy en día diversos factores y puntos de la industria de la construcción, esto debido a su gran aportación como al optimizar los procesos y operaciones en cada una de las fases de la fabricación del cemento así como su uso e implementación, mejorar la seguridad de los trabajadores del proyecto como a los usuarios de estas estructuras y reducir costos implementando de manera óptima los recursos, sin desperdiciarlos. Cumpliendo con varios roles al mismo tiempo dentro del proceso de la industria de la construcción actual.

El control de calidad en la producción del cemento es crucial para garantizar que cumpla con los estándares técnicos y estructurales requeridos en la construcción; esto mejorando en algunos aspectos físicos y químicos las composición del cemento, así como en los procesos posteriores como el mezclado ayudando a que pueda mezclarse con el agua de manera homogénea y en el momento del fraguado evitando la formación de espacios de aire. Este proceso abarca desde la selección de materias primas para la constitución de un buen cemento, hasta la supervisión del producto final teniendo en cuenta las mejoras para su uso continuo y su implementación como base de estructuras.

Las herramientas de inteligencia artificial revisadas en el artículo, como las redes neuronales y algoritmos de aprendizaje automático, han demostrado ser fundamentales para mejorar el control de calidad en la industria cementera. Estas tecnologías permiten predicciones precisas y ajustes en tiempo real, lo cual reduce errores y aumenta la consistencia en la producción del cemento y es posible supervisar variables clave en los hornos rotatorios, optimizando la composición del clínker y garantizando un producto de mayor calidad. Esto destaca cómo la IA no solo automatiza procesos, sino que también aporta un nivel de precisión que antes era difícil de alcanzar en la industria.

La inteligencia artificial está transformando el control de calidad en la industria cementera al reducir errores críticos en el proceso de producción. Las herramientas permiten ajustes precisos en la composición, temperatura, proporción agua-cemento y consistencia de la mezcla, mejorando significativamente la precisión y consistencia del cemento. Este impacto no solo asegura un producto final de mayor calidad, sino que también optimiza el uso de recursos y contribuye a la sostenibilidad y eficiencia operativa de la industria.

6. Recomendaciones

Implementar plataformas basadas en IA para gestionar cronogramas de horarios de trabajadores y de actividades para los proyectos, asignar recursos por actividad o por día dependiendo del proyecto y la disposición de estos, así como para predecir problemas en proyectos de construcción que utilicen cemento. Ejemplos incluyen software como Procure o sistemas personalizados que integren análisis de datos históricos los cuales son usados para la predicción de posibles riesgos y optimización de tiempos.

Incorporar redes neuronales y algoritmos de aprendizaje automático en las plantas cementeras para: Predecir inconsistencias en la calidad del clínker, para mejorar su granularidad y su composición, y ajustar parámetros en tiempo real para evitar riesgos que puedan surgir. Automatizar el monitoreo de las condiciones del horno, como temperatura y composición química, asegurando uniformidad. Herramientas sugeridas: Sistemas SCADA con módulos de IA o soluciones como las de FLSmidth.

Para optimizar el proceso de producción, recomendamos mantener los modelos de IA actualizados con los datos más recientes, para asegurar que las predicciones y ajustes sigan siendo precisos y útiles. Esta integración no solo facilita un control más eficaz, sino que impulsa una producción más ágil y adaptable a las necesidades del día a día.

Para mejorar la calidad y consistencia del cemento, recomendamos implementar un sistema integral de monitoreo y control en tiempo real, que permita ajustar de manera precisa las condiciones del horno, las proporciones de mezcla y la densidad de los agregados. Este enfoque optimiza la resistencia y durabilidad del cemento, reduce variabilidad y porosidad, y asegura un producto final de alta calidad y confiabilidad, alineado con los estándares actuales del mercado y las necesidades del cliente.

7. Agradecimiento

Expresamos nuestro más profundo agradecimiento a todas las autoridades de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en especial a nuestro profesor el Ing. Jorge Roca quien fue pieza fundamental para la creación de este artículo debido a sus enseñanzas y su constante guía; así mismo a quienes promueven el desarrollo continuo de la investigación, su compromiso y apoyo han sido fundamentales para la realización de este trabajo.

8. Literatura citada

- AHMAD, T., ASIM, M., & NAVED, M. (2024). PREDICTION OF CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH USING A RANDOM FOREST MODEL. *COGENT ENGINEERING*, 11(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/23311916.2023.2297491](https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2297491)
- ALEXANDER, M. G., BAKERA, A. T., & DU PLESSIS, P. E. (2024). PERCUSSION-DRILL METHOD FOR CASTING CONCRETE CUBE SAMPLES TO ASSESS THE CHARACTERISTICS OF PRECAST ZERO-SLUMP CONCRETE. *JOURNAL OF THE SOUTH AFRICAN INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERING*, 66(3), 42-47.
- ALI, A. M., TABARES, J. D., & MCGINLEY, M. W. (2022). UN ENFOQUE DE APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA PREDICCIÓN DE LA CALIDAD DEL CLÍNKER Y EL DISEÑO DE CONTROL PREDICTIVO NO LINEAL DE MODELOS PARA UN HORNO DE CEMENTO ROTATORIO. *JOURNAL OF ADVANCED MANUFACTURING AND PROCESSING*, 4(4), e10137. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/AMP2.10137](https://doi.org/10.1002/amp.2.10137)
- ALVAREZ, J. C., CABRERA, O., & DEMIRKOK, S. (2023). A VALIDATION MODEL TO REDUCE NON-CONTRIBUTORY TIME IN CONSTRUCTION PROJECTS. *COGENT ENGINEERING*, 10(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/23311916.2023.2236838](https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2236838)
- AMIRI, F., FARAHMANDPOUR, N., OMIDI, B. R., TAHRIRI, M., TEIMOURIAN, H., & YEGANEH, P. K. (2024). THE EFFECT OF CASEIN PHOSHOPEPTIDE-AMORPHOUS CALCIUM PHOSPHATE CONTAINING BONDING AGENTS ON DENTIN SHEAR BOND STRENGTH AND REMINERALIZATION POTENTIAL: AN IN VITRO STUDY. *PESQUISA BRASILEIRA EM ODONTOLOGIA E CLÍNICA INTEGRADA*
- ANDRADE VALLE, A. I., EBID, A. M., & MHANDU, K. (2024). MULTIPLE AI PREDICTIVE MODELS FOR COMPRESSIVE STRENGTH OF BIO-BASED CONCRETE. *COGENT ENGINEERING*, 11(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/23311916.2024.2385621](https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2385621)
- ANTUNES, R. (2022). MODELO DE REGRESIÓN MULTIVARIABLE PARA TEMPERATURAS MÁXIMAS EN ELEMENTOS MASIVOS VERIFICADO ESTADÍSTICAMENTE POR REDES NEURONALES ARTIFICIALES. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, 316, 126072. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CONBUILD-MAT.2021.126072](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126072)
- AYELDEEN, M., & KITAZUME, M. (2017). USO DE FIBRA Y POLÍMERO LÍQUIDO PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO DEL SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO CON CEMENTO. *GEOTEXTILES AND GEOMEMBRANES*, 45(6), 592-602. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.GEOTEXMEM.2017.05.005](https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2017.05.005)

- BARRETT, A. A., GERALDELI, S., NOGUEIRA, M. S., PIRES-DE-SOUZA, F. DE C. P., PRATAVEIRA, S., & SILAMI, F. D. J. (2019). QUANTITATIVE IMAGE OF FLUORESCENCE OF CERAMIC AND RESIN-CEMENT VENEERS. BRAZILIAN ORAL RESEARCH
- BEGUEDOU, E., NARRA, S., AFRAKOMA ARMOO, E., AGBOKA, K., & DAMGOU, M. K. (2023). SUSTITUCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y LA SOSTENIBILIDAD. ENERGIES, 16(8), 3533. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/EN16083533](https://doi.org/10.3390/en16083533)
- CAMPOS, R. S., CAETANO, H. M., & MACIEL, G. DE F. (2022). INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE MISTURA E DO PRÉ-CISALHAMENTO NA CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE PASTAS DE CIMENTO. MATÉRIA (RIO DE JANEIRO), 27(2).
- COENEN, M., VOGEL, C., SCHACK, T., & HAIST, M. (2024). FLUJO DE HORMIGÓN PROFUNDO: CARACTERIZACIÓN BASADA EN APRENDIZAJE PROFUNDO DE LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO A PARTIR DEL FLUJO EN CANAL ABIERTO USANDO CAMPOS DE FLUJO ESPACIO-TEMPORALES. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, 411, 134809. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.134809](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134809)
- DOERNER, G., MATOS, P. R. DE, NAZÁRIO, S. S. DA S., PRIGOL, H., SAFANELLI, N., & SCHACKOW, A. (2024). QUALITY CONTROL TESTS OF FRESH 3D PRINTABLE CEMENT-BASED MATERIALS. REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS, 17(5).
- DU, J., WANG, Y., BAO, Y., SARKAR, D., & MENG, W. (2023). VALORIZACIÓN DE BIOCARBÓN DERIVADO DE RESIDUOS EN HORMIGÓN DE ULTRA ALTO RENDIMIENTO (UHPC): TRATAMIENTO PREVIO, CARACTERIZACIÓN Y BENEFICIOS AMBIENTALES. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, 409, 133839. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.133839](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133839)
- FATAHI, R., NASIRI, H., HOMAFAR, A., KHOSRAVI, R., SIAVOSHI, H., & CHEHREH CHELGANI, S. (2023). MODELADO DE VARIABLES DE HORNO ROTATORIO DE CEMENTO OPERACIONAL CON MÉTODOS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EXPLICABLES – DESARROLLO DE UN "LABORATORIO CONSCIENTE". PARTICULATE SCIENCE AND TECHNOLOGY, 41(5), 715-724. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/02726351.2022.2135470](https://doi.org/10.1080/02726351.2022.2135470)
- GLENN, A. L., LI, Y., & LIU, J. (2022). ASOCIACIÓN ENTRE UN NIVEL MÁS BAJO DE EXPOSICIÓN AL PLOMO AMBIENTAL Y LA AGRESIÓN REACTIVA Y PROACTIVA EN LA JUVENTUD: DIFERENCIAS DE SEXO. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCE AND HEALTH, PART C: TOXICOLOGY AND CARCINOGENESIS, 40(4-MAR), 268-281. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/26896583.2022.2157183](https://doi.org/10.1080/26896583.2022.2157183)
- HERNÁNDEZ GARCÍA, L. C., & LIZARAZO SALAMANCA, N. F. (2020). RESILIENT MODULE SOIL-CEMENT PREDICTION BASED ON SETTING TEMPERATURE. INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN, 40(2), 7-13.
- JADOON, U. K., AHMAD, I., NOOR, T., KANO, M., CALISKAN, H., & AHSAN, M. (2022). UN SISTEMA DE DETECCIÓN INTELIGENTE PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA UNIDAD DE CAPTURA DE CARBONO EN UNA PLANTA DE CEMENTO. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION, 377, 134359. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JCLEPRO.2022.134359](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134359)

- KHARSEH, M., & MOUTASSEM, F. (2024). SUSTAINABILITY-DRIVEN MODEL FOR PREDICTING COMPRESSIVE STRENGTH OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE. *COGENT ENGINEERING*, 11(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/23311916.2024.2374947](https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2374947)
- KOSSE, S., BETKER, V., HAGEDORN, P., KÖNIG, M., & SCHMIDT, T. (2024). UN GEMELO DIGITAL SEMÁNTICO PARA LA PROGRAMACIÓN DINÁMICA DE LA PRODUCCIÓN DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN PREFABRICADO BASADA EN LA INDUSTRIA 4.0. *ADVANCED ENGINEERING INFORMATICS*, 62, 102677. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.AEI.2024.102677](https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102677)
- LAVAGNA, L., MUSSO, S., FERRO, G., & PAVESE, M. (2018). COMPUESTOS A BASE DE CEMENTO QUE CONTIENEN FIBRAS DE CARBONO FUNCIONALIZADAS. *CEMENT AND CONCRETE COMPOSITES*, 88, 165-171. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CEMCONCOMP.2018.02.007](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.02.007)
- LINDH, P., & LEMENKOVA, P. (2022). DINÁMICA DE AUMENTO DE RESISTENCIA EN SUELO ARENOSO ESTABILIZADO CON AGLUTINANTES MIXTOS EVALUADA POR ONDAS P ELÁSTICAS DURANTE LA CARGA COMPRESIVA. *MATERIALS*, 15(21), 7798. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/MA15217798](https://doi.org/10.3390/ma15217798)
- LÓPEZ VELANDIA, A. M., NIEVES CASTRO, C. A., & OSPINA LOZANO, S. E. (2017). ANÁLISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS SUELO CEMENTO MODIFICADAS CON MATERIALES NO BIODEGRADABLES. *METODOLOGÍA DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION*. *INFRAESTRUCTURA VIAL*, 19(33), 5-14.
- LYU, X., CHU, D., LU, X., MU, J., ZHANG, Z., & YUN, D. (2024). CONTROL DE CALIDAD DEL CLÍNKER DE CEMENTO MEDIANTE CLASIFICACIÓN DE CONDICIONES OPERATIVAS Y PREDICCIÓN DEL CONTENIDO DE ÓXIDO DE CALCIO LIBRE. *APPLIED SCIENCES (SWITZERLAND)*, 14(3), 1119. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/APP14031119](https://doi.org/10.3390/app14031119)
- MARÍN-URIBE, C. R., RODRÍGUEZ MORENO, M. A., & SOTO-GUZMÁN, J. (2024). EXPERIMENTAL STUDY OF THE SEMICIRCULAR BENDING TEST FOR ESTIMATING THE FLEXURAL STRENGTH OF CONCRETE MIXTURES FOR PAVEMENTS. *REVISTA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN*, 39(2), 127-139.
- MESSAN, A., MICHEL, F., TCHEMOU, G., & GANOU KOUNGANG, L. (2023). EXPERIMENTAL THERMOPHYSICAL DEPENDENT MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETES AT ELEVATED TEMPERATURES. *COGENT ENGINEERING*, 10(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/23311916.2022.2159159](https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2159159)
- MUANPAOPONG, N., DAVÉ, R., & BILGILI, E. (2023). MODELADO DE MOLIENDA DE BOLAS EN CIRCUITO CERRADO DE CLÍNKER DE CEMENTO MEDIANTE UN PBM CON CURVA DE TROMP VARIABLE PARA CLASIFICACIÓN. *POWDER TECHNOLOGY*, 427, 118737. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.POWTEC.2023.118737](https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.118737)
- NEVE, S., DU, J., BARHEMAT, R., MENG, W., BAO, Y., & SARKAR, D. (2023). VALORIZACIÓN DEL BIO-CARBÓN DE RAÍZ DE VETIVER EN HORMIGÓN REFORZADO ECO-AMIGABLE: RENDIMIENTO MECÁNICO, ECONÓMICO Y AMBIENTAL. *MATERIALS*, 16(6), 2522. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/MA16062522](https://doi.org/10.3390/ma16062522)

- PUNITHA, A., KUMAR, V. C., & SATYANARAYANA, G. V. (2024). MACHINE LEARNING PREDICTION AND OPTIMIZATION OF THERMAL PROPERTIES IN CONSTRUCTION MATERIALS. *COGENT ENGINEERING*, 11(1). [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/23311916.2024.2376914](https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2376914)
- QOKU, E., XU, K., LI, J., MONTEIRO, P. J. M., & KURTIS, K. E. (2023). AVANCES EN IMÁGENES, DISPERSIÓN, ESPECTROSCOPÍA Y ENFOQUES AUXILIADOS POR APRENDIZAJE AUTOMÁTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN MULTIESCALA DE SISTEMAS CEMENTICIOS. *CEMENT AND CONCRETE RESEARCH*, 174, 107335. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CEMCONRES.2023.107335](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107335)
- RIVERA-PÉREZ, J., TALEBPOUR, A., & AL-QADI, I. L. (2023). PREDICCIÓN DEL ÍNDICE DE FLEXIBILIDAD DEL HORMIGÓN ASFÁLTICO Y LA PROFUNDIDAD DE LAS RODERAS UTILIZANDO SIMULACIÓN DE ABANDONO DE MONTE CARLO Y APRENDIZAJE PROFUNDO. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PAVEMENT ENGINEERING*, 24(1), 2253964. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/10298436.2023.2253964](https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2253964)
- ZHANG, Z., & SCHERER, G. (2018). DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA PARA UN MODELO DE TRANSPORTE DE HUMEDAD CON EFECTO DE LOTE MINIMIZADO. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, 191, 193-205. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.09.194](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.194)
- ZHOU, H., WANG, Z., LIU, B., HE, H., PENG, S., ZHANG, Y., LI, L., AI, J., YU, J., & ZHANG, W. (2024). HETEROGENEIDAD REGIONAL DE LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES EN CHINA. *RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING*, 209, 107755. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RESCONREC.2024.107755](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107755)
- ZHOU, X., ZHOU, J., & OHL, J. P. (2024). MEJORA DE LA PRECISIÓN DE LA PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN DE ÁRIDO REICLADO MEDIANTE ALGORITMOS BASADOS EN OPTIMIZACIÓN Y RED NEURONAL HACIA ADELANTE EN CASCADA. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 371, 123068. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.JENVMAN.2024.123068](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123068)

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. <https://www.kevinbriggsphotography.net/https://lavozdeperu.com/peru-en-top-ten-mundial-de-productores-de-cafe-arabica/>
2. <https://www.instagram.com/p/C8yykpGoSVo/?epik=djoyJnU9ZmM-2MHExQ1NVb3RjMFhWbUg3U1RCZIBDeFUyVTRCSTImcDowJm49eX-ZaTUd3YllmaoVGYmUzcGM3RGg1QSZoPUFBQUFBR2dQbEIJ>
3. <https://agraria.pe/noticias/la-naranja-es-el-cultivo-sensacion-en-tacna-32207>
4. <https://larepublica.pe/tag/anchoveta>
5. <https://residuosexpo.com/2025/conferencias/>
6. <https://andina.pe/agencia/noticia-en-region-junin-existe-una-poblacion-mas-88000-alpacas-517221.aspx>

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen I- N° 1 Abril 2025

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>